



# UNIVERSITAS WIDYA MATARAM

## FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Kampus Dalem Mangkubumen KT III/237 Yogyakarta 55132 Telp. (0274) 377150, 374352  
Website: widyamataram.ac.id Email: fstuwm@gmail.com

### SURAT TUGAS

No.: 274A/ST-D/FST-UWM/VIII/2025

Yang bertanda tangan dibawah ini, Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Widya Mataram menugaskan kepada Seluruh Dosen Fakultas Sains dan Teknologi yang tersebut dibawah ini:

| No. | Nama                                       | No. | Nama                              |
|-----|--------------------------------------------|-----|-----------------------------------|
| 1   | Ir. Tri Yuniastuti, M.T.                   | 11  | Drs. Jono, M.T.                   |
| 2   | Dr. Satrio Hasto Broto Wibowo, S.T., M.Sc. | 12  | Masrul Indrayana, S.T., M.T.      |
| 3   | Bayu Dwi Wismanoro, S.T., M.Eng.           | 13  | Iva Mindhayani, S.T., M.T.        |
| 4   | Istiana Adianti, S.T., M.Sc.               | 14  | Intan Permatasari, S.T., M.Sc.    |
| 5   | Ir. YE. Suharno, M.T.                      | 15  | Eman Darmawan, S.TP., M.P.        |
| 6   | Nurina Vidya Ayuningtyas, S.T., M.Sc.      | 16  | Dyah Titin Laswati, S.TP., M.P.   |
| 7   | Desy Ayu Krisna Murti, S.T., M.Sc.         | 17  | Prof. Dr. Ir. Ambar Rukmini, M.P. |
| 8   | Padmana Grady Prabasmara, S.T., M.Sc.      | 18  | Masrukan, S.TP., M.Sc.            |
| 9   | Siti Lestariningsih, S.T., M.Sc.           | 19  | Nissa Clara Firsta, S.TP., M.T.P. |
| 10  | Ir. Ilmardani Rince Ramli, M.M.            | 20  | Asepto Edi Saputro, S.T.P., M.Sc. |

Untuk **melaksanakan penelitian dan pengabdian** yang sesuai dengan bidang masing-masing pada Semester Ganjil dan Semester Genap Tahun Akademik 2025/2026.

Demikian Surat Tugas ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Dikeluarkan di : Yogyakarta  
Pada tanggal : 25 Agustus 2025

Dekan,



Eman Darmawan, S.TP., M.P.  
NPP. 510 810 167



# UNIVERSITAS WIDYA MATARAM

## FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Kampus Dalem Mangkubumen KT III/237 Yogyakarta 55132 Telp. (0274) 377150, 374352  
Website: widyamataram.ac.id Email: fstuwm@gmail.com

### SURAT TUGAS

No.: 274B/ST-D/FST-UWM/VIII/2025

Yang bertanda tangan dibawah ini, Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Widya Mataram menugaskan kepada Seluruh Dosen Fakultas Sains dan Teknologi yang tersebut dibawah ini:

| No. | Nama                                       | No. | Nama                              |
|-----|--------------------------------------------|-----|-----------------------------------|
| 1   | Ir. Tri Yuniastuti, M.T.                   | 11  | Drs. Jono, M.T.                   |
| 2   | Dr. Satrio Hasto Broto Wibowo, S.T., M.Sc. | 12  | Masrul Indrayana, S.T., M.T.      |
| 3   | Bayu Dwi Wismanoro, S.T., M.Eng.           | 13  | Iva Mindhayani, S.T., M.T.        |
| 4   | Istiana Adianti, S.T., M.Sc.               | 14  | Intan Permatasari, S.T., M.Sc     |
| 5   | Ir. YE. Suharno, M.T.                      | 15  | Eman Darmawan, S.TP., M.P.        |
| 6   | Nurina Vidya Ayuningtyas, S.T., M.Sc.      | 16  | Dyah Titin Laswati, S.TP., M.P.   |
| 7   | Desy Ayu Krisna Murti, S.T., M.Sc.         | 17  | Prof. Dr. Ir. Ambar Rukmini, M.P. |
| 8   | Padmana Grady Prabasmara, S.T., M.Sc.      | 18  | Masrukan, S.TP., M.Sc.            |
| 9   | Siti Lestariningsih, S.T., M.Sc.           | 19  | Nissa Clara Firsta, S.TP., M.T.P. |
| 10  | Ir. Ilmardani Rince Ramli, M.M.            | 20  | Asepto Edi Saputro, S.T.P., M.Sc. |

Untuk melaksanakan **Kegiatan Penunjang Tri Dharma Perguruan Tinggi** yang sesuai dengan bidang masing-masing pada Semester Ganjil dan Semester Genap Tahun Akademik 2025/2026.

Demikian Surat Tugas ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Dikeluarkan di :Yogyakarta  
Pada tanggal :25 Agustus 2025

Dekan,



Eman Darmawan, S.TP., M.P.  
NPP. 510 810 167



# UNIVERSITAS WIDYA MATARAM

## FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Kampus Dalem Mangkubumen KT III/237 Yogyakarta 55132 Telp. (0274) 377150, 374352  
Website: widyamataran.ac.id Email: fstuwm@gmail.com

### SURAT TUGAS

No.: 274C/ST-D/FST-UWM/VIII/2025

Yang bertanda tangan dibawah ini, Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Widya Mataram menugaskan kepada Seluruh Dosen Fakultas Sains dan Teknologi yang tersebut dibawah ini:

| No. | Nama                                       | No. | Nama                               |
|-----|--------------------------------------------|-----|------------------------------------|
| 1   | Ir. Tri Yuniastuti, M.T.                   | 11  | Drs. Jono, M.T.                    |
| 2   | Dr. Satrio Hasto Broto Wibowo, S.T., M.Sc. | 12  | Masrul Indrayana, S.T., M.T.       |
| 3   | Bayu Dwi Wismanoro, S.T., M.Eng.           | 13  | Iva Mindhayani, S.T., M.T.         |
| 4   | Istiana Adianti, S.T., M.Sc.               | 14  | Intan Permatasari, S.T., M.Sc.     |
| 5   | Ir. YE. Suharno, M.T.                      | 15  | Eman Darmawan, S.T.P., M.P.        |
| 6   | Nurina Vidya Ayuningtyas, S.T., M.Sc.      | 16  | Dyah Titin Laswati, S.T.P., M.P.   |
| 7   | Desy Ayu Krisna Murti, S.T., M.Sc.         | 17  | Prof. Dr. Ir. Ambar Rukmini, M.P.  |
| 8   | Padmana Grady Prabasmara, S.T., M.Sc.      | 18  | Masrukan, S.T.P., M.Sc.            |
| 9   | Siti Lestariningsih, S.T., M.Sc.           | 19  | Nissa Clara Firsta, S.T.P., M.T.P. |
| 10  | Ir. Ilmardani Rince Ramli, M.M.            | 20  | Asepto Edi Saputro, S.T.P., M.Sc.  |

Untuk **membimbing kegiatan Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dan kegiatan kemahasiswaan lainnya** yang sesuai dengan bidang masing-masing pada Semester Ganjil dan Semester Genap Tahun Akademik 2025/2026.

Demikian Surat Tugas ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Dikeluarkan di : Yogyakarta  
Pada tanggal : 25 Agustus 2025  
Dekan,



Eman Darmawan, S.T.P., M.P.  
NPP. 510 810 167



# UNIVERSITAS WIDYA MATARAM

## FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Kampus Dalem Mangkubumen KT III/237 Yogyakarta 55132 Telp. (0274) 377150, 374352  
Website: widyamatararam.ac.id Email: fstuwm@gmail.com

### SURAT TUGAS

No.: 274D/ST-D/FST-UWM/VIII/2025

Yang bertanda tangan dibawah ini, Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Widya Mataram menugaskan kepada Seluruh Dosen Fakultas Sains dan Teknologi yang tersebut dibawah ini:

| No. | Nama                                       | No. | Nama                              |
|-----|--------------------------------------------|-----|-----------------------------------|
| 1   | Ir. Tri Yuniastuti, M.T.                   | 11  | Drs. Jono, M.T.                   |
| 2   | Dr. Satrio Hasto Broto Wibowo, S.T., M.Sc. | 12  | Masrul Indrayana, S.T., M.T.      |
| 3   | Bayu Dwi Wismanoro, S.T., M.Eng.           | 13  | Iva Mindhayani, S.T., M.T.        |
| 4   | Istiana Adianti, S.T., M.Sc.               | 14  | Intan Permatasari, S.T., M.Sc.    |
| 5   | Ir. YE. Suharno, M.T.                      | 15  | Eman Darmawan, S.TP., M.P.        |
| 6   | Nurina Vidya Ayuningtyas, S.T., M.Sc.      | 16  | Dyah Titin Laswati, S.TP., M.P.   |
| 7   | Desy Ayu Krisna Murti, S.T., M.Sc.         | 17  | Prof. Dr. Ir. Ambar Rukmini, M.P. |
| 8   | Padmana Grady Prabasmara, S.T., M.Sc.      | 18  | Masrukan, S.TP., M.Sc.            |
| 9   | Siti Lestariningsih, S.T., M.Sc.           | 19  | Nissa Clara Firsta, S.TP., M.T.P. |
| 10  | Ir. Ilmardani Rince Ramli, M.M.            | 20  | Asepto Edi Saputro, S.T.P., M.Sc. |

Untuk **melaksanakan pengembangan program kuliah/bahan kuliah** yang sesuai dengan bidang masing-masing pada Semester Ganjil dan Semester Genap Tahun Akademik 2025/2026.

Demikian Surat Tugas ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Dikeluarkan di : Yogyakarta  
Pada tanggal : 25 Agustus 2025

Dekan,



Eman Darmawan, S.TP., M.P.  
NPP. 510 810 167



# UNIVERSITAS WIDYA MATARAM

## FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Kampus Dalem Mangkubumen KT III/237 Yogyakarta 55132 Telp. (0274) 377150, 374352  
Website: widyamataram.ac.id Email: fstuwm@gmail.com

### SURAT TUGAS

No.: 274E/ST-D/FST-UWM/VIII/2025

Yang bertanda tangan dibawah ini, Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Widya Mataram menugaskan kepada Seluruh Dosen Fakultas Sains dan Teknologi yang tersebut dibawah ini:

| No. | Nama                                       | No. | Nama                              |
|-----|--------------------------------------------|-----|-----------------------------------|
| 1   | Ir. Tri Yuniastuti, M.T.                   | 11  | Drs. Jono, M.T.                   |
| 2   | Dr. Satrio Hasto Broto Wibowo, S.T., M.Sc. | 12  | Masrul Indrayana, S.T., M.T.      |
| 3   | Bayu Dwi Wismanoro, S.T., M.Eng.           | 13  | Iva Mindhayani, S.T., M.T.        |
| 4   | Istiana Adianti, S.T., M.Sc.               | 14  | Intan Permatasari, S.T., M.Sc     |
| 5   | Ir. YE. Suharno, M.T.                      | 15  | Eman Darmawan, S.TP., M.P.        |
| 6   | Nurina Vidya Ayuningtyas, S.T., M.Sc.      | 16  | Dyah Titin Laswati, S.TP., M.P.   |
| 7   | Desy Ayu Krisna Murti, S.T., M.Sc.         | 17  | Prof. Dr. Ir. Ambar Rukmini, M.P. |
| 8   | Padmana Grady Prabasmara, S.T., M.Sc.      | 18  | Masrukan, S.TP., M.Sc.            |
| 9   | Siti Lestariningsih, S.T., M.Sc.           | 19  | Nissa Clara Firsta, S.TP., M.T.P. |
| 10  | Ir. Ilmardani Rince Ramli, M.M.            | 20  | Asepto Edi Saputro, S.T.P., M.Sc. |

Untuk **menulis karya ilmiah/jurnal ilmiah** yang sesuai dengan bidang masing-masing pada Semester Ganjil dan Semester Genap Tahun Akademik 2025/2026.

Demikian Surat Tugas ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Dikeluarkan di : Yogyakarta  
Pada tanggal : 25 Agustus 2025

Dekan,



Eman Darmawan, S.TP., M.P.  
NPP. 510 810 167



# UNIVERSITAS WIDYA MATARAM

## FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Kampus Dalem Mangkubumen KT III/237 Yogyakarta 55132 Telp. (0274) 377150, 374352  
Website: widyamataran.ac.id Email: fstuwm@gmail.com

### SURAT TUGAS

No.: 274F/ST-D/FST-UWM/VIII/2025

Yang bertanda tangan dibawah ini, Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Widya Mataram menugaskan kepada Seluruh Dosen Fakultas Sains dan Teknologi yang tersebut dibawah ini:

| No. | Nama                                       | No. | Nama                               |
|-----|--------------------------------------------|-----|------------------------------------|
| 1   | Ir. Tri Yuniastuti, M.T.                   | 11  | Drs. Jono, M.T.                    |
| 2   | Dr. Satrio Hasto Broto Wibowo, S.T., M.Sc. | 12  | Masrul Indrayana, S.T., M.T.       |
| 3   | Bayu Dwi Wismantoro, S.T., M.Eng.          | 13  | Iva Mindhayani, S.T., M.T.         |
| 4   | Istiana Adianti, S.T., M.Sc.               | 14  | Intan Permatasari, S.T., M.Sc.     |
| 5   | Ir. YE. Suharno, M.T.                      | 15  | Eman Darmawan, S.T.P., M.P.        |
| 6   | Nurina Vidya Ayuningtyas, S.T., M.Sc.      | 16  | Dyah Titin Laswati, S.T.P., M.P.   |
| 7   | Desy Ayu Krisna Murti, S.T., M.Sc.         | 17  | Prof. Dr. Ir. Ambar Rukmini, M.P.  |
| 8   | Padmana Grady Prabasmara, S.T., M.Sc.      | 18  | Masrukan, S.T.P., M.Sc.            |
| 9   | Siti Lestariningsih, S.T., M.Sc.           | 19  | Nissa Clara Firsta, S.T.P., M.T.P. |
| 10  | Ir. Ilmardani Rince Ramli, M.M.            | 20  | Asepto Edi Saputro, S.T.P., M.Sc.  |

Untuk **melaksanakan pengembangan diri untuk meningkatkan kompetensi/memperoleh sertifikasi profesi** yang sesuai dengan bidang masing-masing pada Semester Ganjil dan Semester Genap Tahun Akademik 2025/2026.

Demikian Surat Tugas ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Dikeluarkan di :Yogyakarta  
Pada tanggal :25 Agustus 2025

Dekan,



Eman Darmawan, S.T.P., M.P.  
NPP. 510 810 167



# SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC002026021623, 4 Februari 2026

## Pencipta

Nama : **Sarah Giovani, S.T.P., M.Sc., M.Agr.Sc., Yasmin Aulia Rachma, S.T.P., M.Sc. dkk**

Alamat : **Jl. Cakra Indah Blok B No.12-B Wisma Cakra, Limo, Kota Depok, Jawa Barat, 16515**

Kewarganegaraan : **Indonesia**

## Pemegang Hak Cipta

Nama : **Sarah Giovani, S.T.P., M.Sc., M.Agr.Sc., Yasmin Aulia Rachma, S.T.P., M.Sc. dkk**

Alamat : **Jl. Cakra Indah Blok B No.12-B Wisma Cakra, Limo, Kota Depok, Jawa Barat, 16515**

Kewarganegaraan : **Indonesia**

Jenis Ciptaan : **Buku**

Judul Ciptaan : **PANGAN FUNGSIONAL DAN NUTRASETIKAL**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : **4 Februari 2026, di Kota Depok**

Jangka waktu perlindungan : **Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.**

Nomor Pencatatan : **001129618**

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM  
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL  
u.b  
Direktur Hak Cipta dan Desain Industri

Agung Damarsasongko,SH.,MH.  
NIP. 196912261994031001



## LAMPIRAN PENCIPTA

| No | Nama                                        | Alamat                                                                             |
|----|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Sarah Giovani, S.T.P., M.Sc.,<br>M.Agr.Sc.  | Jl. Cakra Indah Blok B No.12-B Wisma Cakra<br>Limo, Kota Depok                     |
| 2  | Yasmin Aulia Rachma, S.T.P., M.Sc.          | Jl. Siroyo No.22 Gombel Lama<br>Banyumanik, Kota Semarang                          |
| 3  | Dr. Nurul Hidayah, S.Si.                    | Perumahan Banjarsari Asri No.11<br>Ngaglik, Kab. Sleman                            |
| 4  | Safinta Nurindra Rahmadhia, S.Si.,<br>M.Sc. | Perum. Permata Hijau Ketawang A17 Mejing Lor<br>Gamping, Kab. Sleman               |
| 5  | Ir. Ika Dyah Kumalasari, M.Sc.,<br>Ph.D     | Cepokojajar<br>Piyungan, Kab. Bantul                                               |
| 6  | Dr. Aprilia Fitriani, S.T.P., M.Sc.         | Pogung Lor<br>Mlati, Kab. Sleman                                                   |
| 7  | Wahidah Mahanani Rahayu, S.T.P.,<br>M.Sc.   | Saman<br>Sewon, Kab. Bantul                                                        |
| 8  | Dr. Masrukan, STP., M.Sc                    | Kertomulyo<br>Trangkil, Kab. Pati                                                  |
| 9  | Wafi Adizara Muzakki, S.T.P.,<br>M.Sc.      | Jl. Ratudibalau Gg. Cempaka II LK. II No.22<br>Tanjung Senang, Kota Bandar Lampung |
| 10 | Soraya Kusuma Putri, S.T.P., M.Sc.          | Kowangan Utama Blok E/6<br>Temanggung, Kab. Temanggung                             |
| 11 | Asepto Edi Saputro, S.T.P., M.Sc.           | Wareng III<br>Wonosari, Kab. Gunungkidul                                           |
| 12 | Hanifa Bagus, S.T.P., M.Sc.                 | Jl. Terusan Ryacudu<br>Jati Agung, Kab. Lampung Selatan                            |

## LAMPIRAN PEMEGANG

| No | Nama                                       | Alamat                                                         |
|----|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1  | Sarah Giovani, S.T.P., M.Sc.,<br>M.Agr.Sc. | Jl. Cakra Indah Blok B No.12-B Wisma Cakra<br>Limo, Kota Depok |
| 2  | Yasmin Aulia Rachma, S.T.P., M.Sc.         | Jl. Siroyo No.22 Gombel Lama<br>Banyumanik, Kota Semarang      |





|    |                                          |                                                                                    |
|----|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 3  | Dr. Nurul Hidayah, S.Si.                 | Perumahan Banjarsari Asri No.11<br>Ngaglik, Kab. Sleman                            |
| 4  | Safinta Nurindra Rahmadhia, S.Si., M.Sc. | Perum. Permata Hijau Ketawang A17 Mejing Lor<br>Gamping, Kab. Sleman               |
| 5  | Ir. Ika Dyah Kumalasari, M.Sc., Ph.D     | Cepokojajar<br>Piyungan, Kab. Bantul                                               |
| 6  | Dr. Aprilia Fitriani, S.T.P., M.Sc.      | Pogung Lor<br>Mlati, Kab. Sleman                                                   |
| 7  | Wahidah Mahanani Rahayu, S.T.P., M.Sc.   | Saman<br>Sewon, Kab. Bantul                                                        |
| 8  | Dr. Masrukan, STP., M.Sc                 | Kertomulyo<br>Trangkil, Kab. Pati                                                  |
| 9  | Wafi Adizara Muzakki, S.T.P., M.Sc.      | Jl. Ratudibalau Gg. Cempaka II LK. II No.22<br>Tanjung Senang, Kota Bandar Lampung |
| 10 | Soraya Kusuma Putri, S.T.P., M.Sc.       | Kowangan Utama Blok E/6<br>Temanggung, Kab. Temanggung                             |
| 11 | Asepto Edi Saputro, S.T.P., M.Sc.        | Wareng III<br>Wonosari, Kab. Gunungkidul                                           |
| 12 | Hanifa Bagus, S.T.P., M.Sc.              | Jl. Terusan Ryacudu<br>Jati Agung, Kab. Lampung Selatan                            |







# PANGAN FUNGSIONAL DAN NUTRASETIKAL

Sarah Giovani, S.T.P., M.Sc., M.Agr.Sc. | Yasmin Aulia Rachma, S.T.P., M.Sc.  
Dr. Nurul Hidayah, S.Si. | Safinta Nurindra Rahmadhia, S.Si., M.Sc.  
Ir. Ika Dyah Kumalasari, M.Sc., Ph.D | Dr. Aprilia Fitriani, S.T.P., M.Sc.  
Wahidah Mahanani Rahayu, S.T.P., M.Sc. | Dr. Masrukan, STP., M.Sc.  
Wafi Adizara Muzakki, S.T.P., M.Sc. | Soraya Kusuma Putri, S.T.P., M.Sc.  
Asepto Edi Saputro, S.T.P., M.Sc. | Hanifa Bagus, S.T.P., M.Sc.

Editor: Weni Yuliani, S.Si., M.M., C.Ed.



# **PANGAN FUNGSIONAL DAN NUTRASETIKAL**

## **Penulis:**

Sarah Giovani, S.T.P., M.Sc., M.Agr.Sc.  
Yasmin Aulia Rachma, S.T.P., M.Sc.  
Dr. Nurul Hidayah, S.Si.  
Safinta Nurindra Rahmadhia, S.Si., M.Sc.  
Ir. Ika Dyah Kumalasari, M.Sc., Ph.D  
Dr. Aprilia Fitriani, S.T.P., M.Sc.  
Wahidah Mahanani Rahayu, S.T.P., M.Sc.  
Dr. Masrukan, STP., M.Sc  
Wafi Adizara Muzakki, S.T.P., M.Sc.  
Soraya Kusuma Putri, S.T.P., M.Sc.  
Asepto Edi Saputro, S.T.P., M.Sc.  
Hanifa Bagus, S.T.P., M.Sc.

## **Editor:**

Weni Yuliani, S.Si., M.M., C.Ed.



# **MENARA PRESS INDONESIA**



# PANGAN FUNGSIONAL DAN NUTRASETIKAL

## Penulis:

Sarah Giovani, S.T.P., M.Sc., M.Agr.Sc.  
Yasmin Aulia Rachma, S.T.P., M.Sc.  
Dr. Nurul Hidayah, S.Si.  
Safinta Nurindra Rahmadhia, S.Si., M.Sc.  
Ir. Ika Dyah Kumalasari, M.Sc., Ph.D  
Dr. Aprilia Fitriani, S.T.P., M.Sc.  
Wahidah Mahanani Rahayu, S.T.P., M.Sc.  
Dr. Masrukan, STP., M.Sc  
Wafi Adizara Muzakki, S.T.P., M.Sc.  
Soraya Kusuma Putri, S.T.P., M.Sc.  
Aseptio Edi Saputro, S.T.P., M.Sc.  
Hanifa Bagus, S.T.P., M.Sc.

---

**Editor:** Weni Yuliani, S.Si., M.M., C.Ed.

**Penyunting:** Pegi Syahri Rahmadhianas, S.H

**Desain Sampul dan Tata Letak:** Diana Fitri, S.Ds., M.Sn.

---

## Diterbitkan oleh:

Menara Press Indonesia  
Anggota IKAPI No. 063/SBA/2024  
Perumahan Pasadena Residence Blok K No.8, Kel. Lubuk  
Minturun,  
Kec. Koto Tengah, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat  
Email: [menarapressindonesia@gmail.com](mailto:menarapressindonesia@gmail.com)  
Website: [www.menarapress.com](http://www.menarapress.com)

---

**ISBN: 978-634-7406-86-6**

---

Cetakan pertama, Februari 2026

---

©Hak cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang keras memperbanyak, memfotokopi, Sebagian atau seluruh  
isi buku tanpa izin tertulis dari penerbit.





# KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga buku berjudul *Pangan Fungsional dan Nutrasetikal* ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik. Buku ini hadir sebagai upaya untuk memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai peran pangan tidak hanya sebagai sumber energi dan zat gizi, tetapi juga sebagai komponen penting dalam menjaga kesehatan, mencegah penyakit, serta meningkatkan kualitas hidup manusia.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pangan telah mendorong lahirnya konsep pangan fungsional dan nutrasetikal yang semakin mendapat perhatian di tingkat global maupun nasional. Pangan fungsional dan nutrasetikal diyakini memiliki potensi besar dalam mendukung kesehatan masyarakat, terutama dalam menghadapi tantangan meningkatnya penyakit degeneratif dan gaya hidup modern. Oleh karena itu, pemahaman yang tepat mengenai konsep, jenis, mekanisme kerja, serta aspek keamanan dan regulasi pangan fungsional dan nutrasetikal menjadi sangat penting bagi akademisi, praktisi, maupun masyarakat umum.

Buku ini disusun secara sistematis dengan mengintegrasikan teori, hasil penelitian, serta contoh penerapan pangan fungsional dan nutrasetikal, khususnya yang berbasis sumber daya lokal. Diharapkan buku ini dapat menjadi bahan ajar, referensi ilmiah, serta sumber informasi

yang bermanfaat bagi mahasiswa, dosen, peneliti, dan pihak-pihak yang berkecimpung di bidang pangan, gizi, kesehatan, dan industri pangan.

Akhir kata, semoga buku *Pangan Fungsional dan Nutrasetikal* ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan serta peningkatan kesadaran masyarakat akan pentingnya pangan bagi kesehatan dan kesejahteraan.

Jakarta, Januari 2026

Penulis

# DAFTAR ISI

|                                                                                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                                                       | <b>i</b>   |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                                                           | <b>iii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                                                        | <b>ix</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                                         | <b>xi</b>  |
| <b>BAB 1 PENGANTAR PANGAN FUNGSIONAL DAN<br/>NUTRASETIKAL.....</b>                | <b>1</b>   |
| <b>Oleh: Sarah Giovani, S.T.P., M.Sc., M.Agr.Sc. ....</b>                         | <b>1</b>   |
| A. Pendahuluan .....                                                              | 1          |
| B. Definisi Pangan Fungsional dan Nutrasetikal .....                              | 3          |
| C. Sejarah dan Perkembangan Pangan Fungsional .....                               | 6          |
| D. Perbedaan Nutrasetikal, Pangan Fungsional, dan<br>Suplemen.....                | 9          |
| E. Klasifikasi .....                                                              | 11         |
| F. Komponen Bioaktif.....                                                         | 17         |
| G. Teknologi Pengolahan dan Formulasi .....                                       | 21         |
| H. Aplikasi.....                                                                  | 23         |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                                       | <b>30</b>  |
| <b>BAB 2 PENGEMBANGAN PANGAN FUNGSIONAL<br/>BERBASIS PANGAN TRADISIONAL .....</b> | <b>34</b>  |
| <b>Oleh: Yasmin Aulia Rachma, S.T.P., M.Sc. ....</b>                              | <b>34</b>  |
| A. Pendahuluan .....                                                              | 34         |
| B. Pangan Tradisional Indonesia sebagai Warisan<br>dan Pangan Fungsional.....     | 37         |



|                                                             |                                                                                  |            |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| C.                                                          | Pendekatan Ilmiah dalam Pengembangan Pangan Fungsional Berbasis Tradisi.....     | 43         |
| D.                                                          | Strategi Pengembangan Pangan Fungsional Berbasis Pangan Tradisional .....        | 51         |
| E.                                                          | <i>Roadmap</i> Pengembangan Pangan Fungsional Berbasis Pangan Tradisional .....  | 53         |
| F.                                                          | Kesimpulan: Menghidupkan Kembali Tradisi melalui Inovasi Pangan Fungsional ..... | 56         |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                 |                                                                                  | <b>57</b>  |
| <b>BAB 3 SENYAWA BIOAKTIF DALAM PANGAN FUNGSIONAL .....</b> |                                                                                  | <b>66</b>  |
| <b>Oleh: Dr. Nurul Hidayah, S.Si.....</b>                   |                                                                                  | <b>66</b>  |
| A.                                                          | Pendahuluan .....                                                                | 66         |
| B.                                                          | Senyawa Bioaktif.....                                                            | 67         |
| C.                                                          | Klasifikasi Senyawa Bioaktif.....                                                | 69         |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                 |                                                                                  | <b>83</b>  |
| <b>BAB 4 ANTIOKSIDAN DAN PENGUJIANNYA .....</b>             |                                                                                  | <b>92</b>  |
| <b>Oleh: Safinta Nurindra Rahmadhia, S.Si., M.Sc.....</b>   |                                                                                  | <b>92</b>  |
| A.                                                          | Pendahuluan .....                                                                | 92         |
| B.                                                          | Radikal Bebas dan Stres Oksidatif.....                                           | 94         |
| C.                                                          | Antioksidan .....                                                                | 97         |
| D.                                                          | Senyawa Antioksidan dalam Pangan.....                                            | 103        |
| E.                                                          | Metode Pengujian Aktivitas Antioksidan.....                                      | 108        |
| F.                                                          | Faktor yang Memengaruhi Aktivitas Antioksidan .....                              | 114        |
| G.                                                          | Aplikasi Antioksidan.....                                                        | 118        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                 |                                                                                  | <b>122</b> |

|                                                                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>BAB 5 SERAT PANGAN (<i>DIETARY FIBER</i>) DAN UJI ANALISISNYA .....</b> | <b>129</b> |
| <b>Oleh: Ir. Ika Dyah Kumalasari, M.Sc., Ph.D .....</b>                    | <b>129</b> |
| A. Pendahuluan .....                                                       | 129        |
| B. Serat Pangan ( <i>Dietary Fiber</i> ) .....                             | 130        |
| C. Efek Fungsional Serat Pangan Bagi Kesehatan.....                        | 134        |
| D. Metode Analisis Serat Pangan ( <i>Dietary Fiber</i> ) .....             | 148        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                                | <b>153</b> |
| <b>BAB 6 PATI RESISTEN, OLIGOSAKARIDA PREBIOTIK, DAN GULA ALKOHOL.....</b> | <b>161</b> |
| <b>Oleh: Dr. Aprilia Fitriani, S.T.P., M.Sc. ....</b>                      | <b>161</b> |
| A. Pendahuluan .....                                                       | 161        |
| B. Pati Resistensi.....                                                    | 162        |
| C. Manfaat Fisiologis Pati Resistensi.....                                 | 171        |
| D. Gula Alkohol (Poliol).....                                              | 181        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                                | <b>186</b> |
| <b>BAB 7 PROBIOTIK, PREBIOTIK, DAN SINBIOTIK SERTA PENGUJIANNYA .....</b>  | <b>201</b> |
| <b>Oleh: Wahidah Mahanani Rahayu, S.T.P., M.Sc. ....</b>                   | <b>201</b> |
| A. Pendahuluan .....                                                       | 201        |
| B. Probiotik.....                                                          | 203        |
| C. Prebiotik.....                                                          | 210        |
| D. Sinbiotik.....                                                          | 217        |
| E. Penutup.....                                                            | 221        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                                | <b>223</b> |
| <b>BAB 8 PROTEIN DAN PEPTIDA BIOAKTIF .....</b>                            | <b>228</b> |

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Oleh: Dr. Aprilia Fitriani, S.T.P., M.Sc. ....</b>            | <b>228</b> |
| A. Pendahuluan .....                                             | 228        |
| B. Definisi Peptida Bioaktif.....                                | 230        |
| C. Proses Produksi Peptida Bioaktif .....                        | 231        |
| D. Pemurnian dan Identifikasi Peptida Bioaktif.....              | 240        |
| E. Aplikasi Peptida Bioaktif.....                                | 242        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                      | <b>254</b> |
| <b>BAB 9 ASAM LEMAK FUNGSIONAL DAN<br/>FITOSTEROL.....</b>       | <b>260</b> |
| <b>Oleh: Dr. Masrukan, S.T.P., M.Sc. ....</b>                    | <b>260</b> |
| A. Pendahuluan .....                                             | 260        |
| B. Asam Lemak: Klasifikasi Dan Struktur Dasar .....              | 262        |
| C. Asam Lemak Omega.....                                         | 266        |
| D. Asam Lemak Omega-6.....                                       | 269        |
| E. Keseimbangan Omega-3 dan Omega-6.....                         | 271        |
| F. Fitosterol: Kolesterol dari Dunia Tumbuhan .....              | 273        |
| G. Sinergi Asam Lemak Fungsional dan Fitosterol.....             | 278        |
| H. Kesimpulan dan Perspektif Masa Depan .....                    | 284        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                      | <b>286</b> |
| <b>BAB 10 SENYAWA BIOAKTIF HASIL LAUT .....</b>                  | <b>289</b> |
| <b>Oleh: Wafi Adizara Muzakki, S.T.P., M.Sc. ....</b>            | <b>289</b> |
| A. Pendahuluan .....                                             | 289        |
| B. Klasifikasi Sumber Laut Penghasil Senyawa<br>Bioaktif .....   | 291        |
| C. Bioavailabilitas dan Stabilitas Senyawa Bioaktif<br>Laut..... | 301        |

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                      | <b>309</b> |
| <b>BAB 11 PERAN BIOTEKNOLOGI DALAM PANGAN</b>                    |            |
| <b>FUNGSIONAL.....</b>                                           | <b>314</b> |
| <b>Oleh: Soraya Kusuma Putri, S.T.P., M.Sc.....</b>              | <b>314</b> |
| A. Pendahuluan .....                                             | 314        |
| B. Konsep Dasar Bioteknologi Pangan .....                        | 316        |
| C. Fermentasi Sebagai Pilar Utama Pangan<br>Fungsional.....      | 319        |
| D. Probiotik dan Fermentasi .....                                | 320        |
| E. Makanan Fermentasi dan Komponen Bioaktif .....                | 324        |
| F. Produk Pangan Fungsional Berasal dari Nabati ....             | 326        |
| G. Produk Pangan Fungsional Berasal dari Hewani ..               | 331        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                      | <b>334</b> |
| <b>BAB 12 GMO DAN REGULASI KEAMANAN HAYATI.....</b>              | <b>342</b> |
| <b>Oleh: Asepito Edi Saputro, S.T.P., M.Sc.....</b>              | <b>342</b> |
| A. Pendahuluan .....                                             | 342        |
| B. Konsep Dasar GMO .....                                        | 344        |
| C. Teknologi Rekayasa Genetika .....                             | 348        |
| D. Aplikasi GMO dalam Pangan Fungsional dan<br>Nutrasetikal..... | 350        |
| E. Manfaat dan Risiko GMO .....                                  | 353        |
| F. Kerangka Regulasi Keamanan Hayati Global .....                | 356        |
| G. Regulasi Keamanan Hayati di Indonesia.....                    | 358        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                      | <b>363</b> |
| <b>BAB 13 REGULASI DAN STANDARISASI PANGAN</b>                   |            |
| <b>FUNGSIONAL.....</b>                                           | <b>368</b> |



|                                                            |            |
|------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Oleh: Hanifa Bagus, S.T.P., M.Sc.</b>                   | <b>368</b> |
| A. Pendahuluan                                             | 368        |
| B. Konsep Regulasi dan Standarisasi Pangan                 | 370        |
| C. Kerangka Regulasi Pangan Fungsional dan<br>Nutrasetikal | 373        |
| D. Standar Keamanan dan Mutu                               | 379        |
| E. Regulasi Klaim Kesehatan dan Pelabelan                  | 383        |
| F. Tantangan dan Prospek Regulasi Pangan<br>Fungsional     | 387        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>                                      | <b>390</b> |
| <b>BIODATA PENULIS</b>                                     | <b>394</b> |

# DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 1. 1 Stempel Persetujuan FOSHU .....                                                                                                                                                                                                                        | 7   |
| Gambar 1. 2 Pangan Fungsional (Yogurt Probiotik),<br>Nutrasetikal (Kapsul Minyak Ikan Omega-3),<br>dan Suplemen (Tablet Vitamin C) .....                                                                                                                           | 9   |
| Gambar 2. 1 Bubur India .....                                                                                                                                                                                                                                      | 39  |
| Gambar 2. 2 Sambel Tumpang .....                                                                                                                                                                                                                                   | 40  |
| Gambar 2. 3 <i>Roadmap</i> Pengembangan Pangan Fungsional<br>Berbasis Pangan Tradisional.....                                                                                                                                                                      | 54  |
| Gambar 3. 1 Klasifikasi polifenol.....                                                                                                                                                                                                                             | 70  |
| Gambar 4. 1 Klasifikasi antioksidan.....                                                                                                                                                                                                                           | 100 |
| Gambar 4. 2 Struktur flavonoid .....                                                                                                                                                                                                                               | 104 |
| Gambar 4. 3 Mekanisme vitamin A dalam menangkal<br>radikal bebas .....                                                                                                                                                                                             | 105 |
| Gambar 4. 4 Mekanisme antioksidan pada vitamin C.....                                                                                                                                                                                                              | 106 |
| Gambar 4. 5 Mekanisme penangkapan radikal bebas<br>dengan metode a) DPPH, b) ABTS dan<br>c) FRAP.....                                                                                                                                                              | 112 |
| Gambar 5. 1 <i>Direct effects of fibers on epithelial and<br/>immune cells</i> .....                                                                                                                                                                               | 144 |
| Gambar 5. 2 <i>Mechanisms of SCFAs generation and<br/>interactions with the immune system</i> .....                                                                                                                                                                | 146 |
| Gambar 5. 3 <i>Schematic representation of the steps<br/>involved in OMA 991.43</i> .....                                                                                                                                                                          | 150 |
| Gambar 6. 1 Klasifikasi fraksi pati berdasarkan sifat<br>kecernaannya. (a) Kecernaan <i>In vitro</i><br>menggunakan <i>Englyst assay</i> , dan<br>(b) Respon glikemik pada masing-masing<br>fraksi pati berdasarkan respon glikemik<br>secara <i>in vivo</i> ..... | 164 |
| Gambar 7. 1 Skema mekanisme probiotik, prebiotik, dan<br>sinbiotik di usus manusia .....                                                                                                                                                                           | 203 |

|                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 7. 2 Diagram mekanisme fungsional probiotik ..                                                                                                                | 205 |
| Gambar 7. 3 Karakteristik probiotik ideal.....                                                                                                                       | 206 |
| Gambar 7. 4 Pertanyaan kriteria untuk mengidentifikasi<br>prebiotik.....                                                                                             | 211 |
| Gambar 7. 5 Klasifikasi prebiotik.....                                                                                                                               | 212 |
| Gambar 7. 6 Kriteria probiotik dan prebiotik yang dapat<br>dikombinasikan menjadi sinbiotik .....                                                                    | 218 |
| Gambar 8. 1 Proses Produksi Peptida Bioaktif dan<br>Bioaktivitasnya .....                                                                                            | 232 |
| Gambar 8. 2 Enzim protease dan spesifisitas pemutusan<br>ikatan peptida .....                                                                                        | 234 |
| Gambar 8. 3 Mekanisme kerusakan membran atau<br>translokasi oleh peptida antimikrobia.<br>Peptida antimikrobia (AMP) dengan bagian<br>hidrofobik berwarna biru ..... | 244 |
| Gambar 8. 4 Mekanisme Aktivitas ACE pada Regulasi<br>Tekanan Darah.....                                                                                              | 250 |
| Gambar 8. 5 Model Pengikatan Interaksi antara Substrat<br>sebagai Inhibitor Kompetitif dengan Sisi<br>Aktif pada ACE .....                                           | 252 |
| Gambar 8. 6 Struktur Obat-obatan Penghambat Aktivitas<br>ACE dan Korelasinya dengan Peptida.....                                                                     | 253 |
| Gambar 9. 1 Pembentukan trigliserida.....                                                                                                                            | 263 |
| Gambar 9. 2 Struktur molekul asam lemak omega-3 dan<br>omega-6 .....                                                                                                 | 265 |
| Gambar 9. 3 Struktur kimia $\beta$ -sitosterol, stigmasterol,<br>campesterol, dan brassicasterol .....                                                               | 275 |
| Gambar 9. 4 Jalur metabolisme kolesterol dalam tubuh<br>manusia .....                                                                                                | 276 |

# DAFTAR TABEL

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 1. 1 Pengelompokan ingredien pangan berdasarkan klaim FOSHU di Jepang.....                 | 14  |
| Tabel 3. 1 Kandungan polifenol dalam berbagai makanan.....                                       | 71  |
| Tabel 3. 2 Probiotik, prebiotic, sinbiotik, sumber makanan utama, dan manfaat kesehatan.....     | 81  |
| Tabel 4. 1 Kelebihan dan kekurangan dari antioksidan sintetis dan alami .....                    | 99  |
| Tabel 4. 2 Kelebihan dan kekurangan metode DPPH, ABTS dan FRAP .....                             | 112 |
| Tabel 5. 1 Tipe serat pangan dan deskripsi struktur kimiawi.....                                 | 132 |
| Tabel 5. 2 Sifat fisikokimia serat pangan dan efeknya terhadap kesehatan .....                   | 135 |
| Tabel 5. 3 Oligosakarida yang tidak dapat tercerna/non digestible oligosaccharides (NDO) .....   | 138 |
| Tabel 5. 4 Metode baku dari AOAC dengan bermacam serat pangan .....                              | 149 |
| Tabel 5. 5 Akronim, fraksi serat pangan dan komponen serat pangan .....                          | 151 |
| Tabel 6. 1 Sumber gula alkohol di alam.....                                                      | 182 |
| Tabel 7. 1 Strain utama mikroorganisme probiotik .....                                           | 205 |
| Tabel 7. 2 Jenis, sumber bahan pangan, mekanisme kerja, dan manfaat kesehatan prebiotik.....     | 213 |
| Tabel 7. 3 Jenis analisis karakteristik prebiotik pangan .....                                   | 216 |
| Tabel 7. 4 Contoh produk sinbiotik beserta jenis probiotik dan prebiotik yang digunakan.....     | 218 |
| Tabel 8. 1 Enzim, buffer, dan kondisi reaksi yang digunakan pada hidrolisis sampel kolagen ..... | 237 |



|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 9. 1 Perbandingan karakteristik omega-3 dan<br>omega-6 dan fitosterol .....                         | 279 |
| Tabel 9. 2 Kandungan Omega-3, Omega-6, dan<br>Fitosterol pada berbagai bahan makanan<br>(per 100 g) ..... | 281 |
| Tabel 9. 3 Kebutuhan Omega-3, Omega-6, dan<br>Fitosterol berdasarkan kelompok usia .....                  | 283 |

# **BAB 1**

## **PENGANTAR PANGAN FUNGSIONAL DAN NUTRASETIKAL**

**Oleh: Sarah Giovani, S.T.P., M.Sc., M.Agr.Sc.**

### **A. Pendahuluan**

Perubahan pola hidup masyarakat modern yang ditandai oleh urbanisasi, industrialisasi pangan, serta meningkatnya konsumsi pangan olahan tinggi gula, garam, dan lemak jenuh telah berdampak signifikan terhadap kesehatan publik, yang tercermin dari meningkatnya prevalensi penyakit tidak menular seperti obesitas, diabetes melitus tipe 2, penyakit kardiovaskular, dan kanker. Pola konsumsi yang rendah serat dan tinggi energi berkontribusi besar terhadap risiko PTM, sehingga diperlukan strategi intervensi komprehensif melalui pendekatan nutrisi berbasis bukti ilmiah. Dalam konteks ini, peran pangan tidak lagi terbatas pada pemenuhan kebutuhan gizi dasar, tetapi juga sebagai sarana promotif dan preventif kesehatan, yang melahirkan konsep pangan fungsional dan nutrasetikal. Pangan fungsional didefinisikan sebagai makanan atau minuman yang mengandung komponen bioaktif, seperti antioksidan, polifenol, serat, dan senyawa fitokimia lainnya, yang

memberikan manfaat fisiologis spesifik di luar fungsi nutrisinya dan berpotensi menurunkan risiko penyakit kronis (Sharma et al., 2024; Risa et al., 2024).

Di negara berkembang seperti Indonesia, proses transisi gizi berlangsung relatif cepat dan ditandai oleh terjadinya beban ganda gizi, yaitu keberlanjutan masalah kekurangan gizi bersamaan dengan meningkatnya prevalensi kelebihan berat badan, obesitas, dan penyakit degeneratif. Kondisi ini menimbulkan tantangan kompleks bagi sistem kesehatan, sekaligus menegaskan perlunya pendekatan gizi yang tidak hanya berfokus pada kecukupan asupan zat gizi, tetapi juga pada kualitas, fungsi, dan nilai kesehatan pangan yang dikonsumsi masyarakat. Dalam konteks tersebut, pengembangan pangan fungsional berbasis sumber daya lokal Indonesia menjadi strategi yang relevan dan berkelanjutan, karena dapat mendukung pencegahan penyakit tidak menular, meningkatkan status kesehatan masyarakat, serta memperkuat ketahanan pangan nasional melalui pemanfaatan bahan pangan tradisional yang kaya akan komponen bioaktif (FAO, 2022; WHO, 2023; Galanakis, 2023).

Selain itu, nutrasetikal merupakan komponen pangan yang dikonsumsi dalam bentuk terkonsentrasi, seperti kapsul, serbuk, atau cairan, dengan tujuan memberikan manfaat kesehatan yang lebih spesifik sebagai bagian dari strategi promotif dan preventif kesehatan. Nutrasetikal berada pada irisan antara pangan dan farmasi karena berasal dari bahan pangan alami, namun diformulasikan

untuk mendukung fungsi fisiologis tertentu atau menurunkan risiko penyakit. Berbagai komponen bioaktif dalam nutrasetikal, seperti flavonoid, polifenol, asam lemak esensial, probiotik, dan prebiotik, telah dilaporkan memiliki aktivitas antioksidan, antiinflamasi, serta membantu menjaga keseimbangan metabolisme dan daya tahan tubuh.

Dalam konteks Indonesia, keanekaragaman hayati yang tinggi memberikan potensi besar bagi pengembangan nutrasetikal berbasis bahan lokal, seperti kurkuminoid dari kunyit dan temulawak, xanton dari kulit manggis, senyawa fenolik dari daun kelor, serta polisakarida dan senyawa bioaktif dari rumput laut. Pemanfaatan bahan-bahan lokal tersebut tidak hanya berpotensi mendukung pencegahan penyakit tidak menular, tetapi juga meningkatkan nilai tambah komoditas pangan nasional dan mendorong kemandirian industri nutrasetikal berbasis sumber daya lokal. Oleh karena itu, pengembangan nutrasetikal di Indonesia perlu didukung oleh pendekatan berbasis bukti ilmiah, termasuk kajian keamanan, bioavailabilitas, dan efektivitas klinis, agar manfaat kesehatan yang dihasilkan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah (Santini et al., 2022; Galanakis, 2023).

## **B. Definisi Pangan Fungsional dan Nutrasetikal**

### **1. Definisi Pangan Fungsional**

Pangan fungsional saat ini dipahami sebagai makanan atau minuman yang memenuhi kebutuhan gizi dasar, mengandung komponen bioaktif yang memberikan manfaat

fisiologis tambahan bagi kesehatan manusia ketika dikonsumsi sebagai bagian dari pola makan sehari-hari (Foods review, 2025). Secara khusus, definisi ini menekankan bahwa pangan fungsional bukan sekadar makanan biasa, tetapi juga memiliki fungsi kesehatan yang dapat berkontribusi pada pencegahan penyakit kronis dan peningkatan status kesehatan. Definisi pangan fungsional menurut beberapa organisasi di dunia seperti:

- a. *The Institute of Medicine's Food & Nutrition Board*: adalah setiap pangan atau komponen pangan yang dapat memberikan keuntungan kesehatan di luar manfaat zat-zat gizi yang dikandungnya (IOM/NAS, 1994).
- b. *The International Life Sciences Institute (ILSI)*: adalah pangan yang karena mengandung senyawa yang aktif secara fisiologis, dapat memberikan keuntungan kesehatan di luar zat-zat gizi dasar (ILSI, 1999).
- c. *The American Dietetic Association (ADA)*: adalah pangan yang dapat berbentuk utuh (*whole*), diperkaya (*enriched*), difortifikasi (*fortified*) atau ditingkatkan (*enhanced*) nilai gizinya, tetapi juga ditekankan bahwa pangan fungsional harus dikonsumsi sebagai makanan sehari-hari dengan dosis efektif agar konsumen dapat memperoleh manfaat kesehatan (ADA, 1999).
- d. Badan Peneliti Obat dan Makanan (BPOM) di Indonesia: adalah pangan olahan yang mengandung satu atau lebih komponen fungsional yang berdasarkan kajian ilmiah mempunyai fungsi fisiologis tertentu, terbukti tidak



membahayakan dan aman bagi kesehatan (BPOM, 2005).

Berbeda dengan suplemen atau obat, pangan fungsional dikonsumsi dalam bentuk makanan utuh atau olahan makanan sehari-hari, tidak melalui bentuk kapsul atau tablet, sehingga tetap mempertahankan karakteristik sensori seperti rasa, tekstur, dan aroma yang dapat diterima sebagai bagian dari diet biasa (Foods review, 2025). Komponen bioaktif mencakup senyawa seperti polifenol, serat pangan, probiotik, dan prebiotik yang telah terbukti melalui studi ilmiah memiliki efek biologis yang bermanfaat bagi manusia. Sejumlah penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa konsumsi pangan fungsional yang kaya akan komponen bioaktif dapat membantu mengontrol kadar gula darah, melindungi tubuh dari kerusakan akibat radikal bebas, memperbaiki profil lipid darah, serta menjaga kesehatan mikrobiota usus.

## **2. Definisi Nutrasetikal**

Nutrasetikal merupakan produk yang berasal dari pangan atau komponen pangan yang dikonsumsi dalam bentuk terkonsentrasi dan memiliki manfaat fisiologis atau efek protektif terhadap kesehatan manusia (Martirosyan & Singh, 2021). Berbeda dengan pangan fungsional yang dikonsumsi sebagai bagian dari diet sehari-hari dalam bentuk pangan konvensional, nutrasetikal umumnya diformulasikan dalam bentuk sediaan khusus seperti kapsul, tablet, serbuk, atau cairan. Bentuk ini memungkinkan pengaturan dosis yang lebih terkontrol serta peningkatan

stabilitas dan ketersediaan hayati komponen bioaktif. Oleh karena itu, nutrasetikal sering diposisikan pada area peralihan antara pangan dan obat, meskipun secara regulasi tidak diklasifikasikan sebagai obat (Santini et al., 2023).

## **C. Sejarah dan Perkembangan Pangan Fungsional**

Pangan fungsional, baik dalam bentuk makanan maupun minuman, pertama kali diperkenalkan secara resmi oleh pemerintah Jepang pada awal dekade 1980-an melalui pengembangan sistem *Foods for Specified Health Uses* (FOSHU). Inisiatif ini muncul sebagai respons terhadap perubahan struktur demografi Jepang yang ditandai dengan peningkatan pesat populasi lanjut usia (*aging society*). Kondisi tersebut memicu meningkatnya prevalensi penyakit kronis terkait usia, seperti diabetes melitus tipe 2, penyakit kardiovaskular, hipertensi, osteoporosis, dan kanker, sehingga diperlukan pendekatan preventif berbasis pangan untuk mendukung kesehatan masyarakat secara berkelanjutan (MHLW Japan, 2023; Shimizu, 2021).

Konsep FOSHU dirancang untuk mengakomodasi pangan yang mengandung komponen bioaktif dengan fungsi fisiologis spesifik dan telah dibuktikan secara ilmiah melalui uji keamanan dan efektivitas pada manusia. Produk yang memperoleh persetujuan FOSHU diizinkan mencantumkan klaim kesehatan tertentu yang berkaitan dengan pemeliharaan atau peningkatan fungsi tubuh, namun tetap dikonsumsi sebagai bagian dari pola makan normal, bukan

sebagai obat atau suplemen farmasi (Kwak & Jukes, 2020; MHLW Japan, 2024). Pangan ini diberi tanda persetujuan dari Kementerian Kesehatan dan Kesejahteraan Jepang dan diberi label FOSHU.



**Gambar 1. 1** Stempel Persetujuan FOSHU

(Sumber: MHLW Japan, 2024)

Perkembangan sistem FOSHU menegaskan peran Jepang sebagai pelopor regulasi pangan fungsional berbasis bukti ilmiah, dengan ratusan produk telah memperoleh persetujuan hingga akhir dekade 2000-an dan klaim kesehatan yang mencakup pengendalian glukosa darah dan indeks glikemik, tekanan darah, absorpsi mineral, kadar trigliserida dan kolesterol, serta kesehatan gigi dan tulang (Yamada *et al.*, 2008). Dalam lima tahun terakhir, Jepang memperluas kerangka regulasinya melalui sistem *Foods with Function Claims* (FFC) yang memberikan fleksibilitas lebih besar bagi industri sambil tetap menekankan transparansi ilmiah dan tanggung jawab produsen. Perkembangan ini mencerminkan tren global menuju pendekatan pangan fungsional yang lebih adaptif, berbasis

bukti ilmiah, dan berorientasi pada pencegahan penyakit tidak menular, sekaligus menjadikan Jepang sebagai rujukan bagi banyak negara di Asia dan Eropa dalam perumusan kebijakan pangan berbasis kesehatan (Shimizu & Watanabe, 2022; Santini et al., 2022; Galanakis, 2023).

Di Indonesia, pangan fungsional mulai diperkenalkan pada tahun 2002. Pengaturan mengenai pangan fungsional mulai diberlakukan sejak tahun 2005 melalui Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) Nomor HK.00.05.52.0685 tentang Ketentuan Pokok Pengawasan Pangan Fungsional yang isinya pengertian, kriteria, persyaratan produksi, klaim, dan label. Dalam lima tahun terakhir, perhatian terhadap pangan fungsional di Indonesia semakin meningkat seiring dengan tingginya prevalensi penyakit tidak menular serta kesadaran masyarakat terhadap pola hidup sehat. Hal ini mendorong pemanfaatan bahan pangan lokal seperti rempah-rempah, umbi-umbian, sereal, dan hasil laut sebagai sumber senyawa bioaktif untuk pengembangan produk pangan fungsional berbasis kearifan lokal. Pemerintah melalui BPOM terus memperkuat sistem pengawasan klaim kesehatan dan keamanan pangan fungsional, sehingga pengembangannya diharapkan tidak hanya mendukung kesehatan masyarakat, tetapi juga meningkatkan daya saing industri pangan nasional (BPOM RI, 2021; BPOM RI, 2023).

## D. Perbedaan Nutrasetikal, Pangan Fungsional, dan Suplemen

Dalam kajian gizi dan kesehatan, pangan fungsional, nutrasetikal, dan suplemen sama-sama dikembangkan untuk mendukung kesehatan, tetapi masing-masing memiliki karakteristik dan ruang lingkup yang berbeda. Pangan fungsional dikonsumsi sebagai bagian dari diet sehari-hari dan memberikan manfaat kesehatan tambahan di luar gizi dasar, seperti yoghurt probiotik, susu tinggi kalsium, dan teh kaya antioksidan. Nutrasetikal berada di antara pangan dan obat karena mengandung senyawa bioaktif dalam bentuk lebih terkonsentrasi dan digunakan untuk tujuan kesehatan tertentu, terutama pencegahan atau sebagai terapi pendukung, tanpa dimaksudkan menggantikan obat. Sementara itu, suplemen makanan berfungsi melengkapi asupan zat gizi harian yang mungkin tidak tercukupi dari pola makan biasa, seperti vitamin dan mineral, dan tidak selalu memiliki klaim fisiologis spesifik di luar pemenuhan kebutuhan nutrisi. Perbedaan ketiganya terletak pada bentuk konsumsi, tujuan penggunaan, serta dasar klaim kesehatan yang memengaruhi regulasi dan pengawasannya (Galanakis, 2021; Islam & Bellah, 2025).



**Gambar 1. 2** Pangan Fungsional (Yogurt Probiotik), Nutrasetikal (Kapsul Minyak Ikan Omega-3), dan Suplemen (Tablet Vitamin C)

## 1. Kriteria dan Karakteristik Pangan Fungsional

Karakteristik pangan fungsional mencakup keamanan konsumsi, stabilitas dan bioavailabilitas komponen bioaktif, manfaat kesehatan yang spesifik, serta penerimaan sensoris yang baik. Pangan fungsional harus aman dikonsumsi sebagai bagian dari pola makan sehari-hari dan memberikan efek fisiologis yang menguntungkan, dengan klaim kesehatan yang didukung oleh bukti ilmiah berjenjang mulai dari uji *in vitro*, *in vivo*, hingga uji klinis pada manusia. Selain itu, komponen bioaktif harus tetap stabil selama pengolahan dan penyimpanan serta dapat diserap secara optimal oleh tubuh, sehingga penerapan teknologi formulasi seperti enkapsulasi dan fermentasi terkontrol menjadi penting dalam pengembangan pangan fungsional modern (McClements, 2020; Galanakis, 2021; Santini et al., 2022; Shahidi & Ambigaipalan, 2022).

Dalam konteks regulasi internasional, Jepang merupakan salah satu negara yang menerapkan sistem pengawasan pangan fungsional yang ketat melalui konsep *Foods for Specified Health Uses* (FOSHU). Produk pangan yang mengajukan permohonan penggunaan logo FOSHU harus memenuhi sejumlah kriteria yang ditetapkan oleh otoritas terkait. Kriteria tersebut meliputi: (1) adanya bukti ilmiah yang jelas dan konsisten mengenai manfaat fungsional produk terhadap kesehatan manusia; (2) jaminan keamanan konsumsi, termasuk hasil evaluasi toksikologi dan tidak adanya efek samping yang merugikan; (3) komposisi produk yang sesuai dengan prinsip gizi seimbang,



tanpa kandungan komponen tertentu dalam jumlah berlebihan, seperti natrium atau gula; (4) kesesuaian antara karakteristik produk dengan informasi yang dicantumkan pada label, termasuk klaim kesehatan; serta (5) penerapan sistem pengendalian mutu yang mencakup spesifikasi produk, komposisi bahan, proses produksi, dan metode analisis yang tervalidasi (Shimizu & Watanabe, 2022).

Menurut Surat Keputusan Badan Peneliti Obat dan Makanan (2005) pangan fungsional memiliki kriteria (karakteristik) sebagai berikut: (a) menggunakan bahan yang memenuhi standar mutu dan persyaratan keamanan serta standar dan persyaratan lain yang ditetapkan; (b) mempunyai manfaat bagi kesehatan yang dinilai dari komponen pangan fungsional berdasarkan kajian ilmiah Tim Mitra Bestari; (c) disajikan dan dikonsumsi sebagaimana layaknya makanan atau minuman; (d) memiliki karakteristik sensori seperti penampakan, warna, tekstur atau konsistensi dan cita rasa yang dapat diterima konsumen.

## **E. Klasifikasi**

### **1. Klasifikasi Pangan Fungsional**

Berdasarkan sumber bahan bakunya, pangan fungsional diklasifikasikan menjadi pangan fungsional nabati dan hewani. Pangan fungsional nabati berasal dari bahan tumbuhan yang kaya fitokimia, serat pangan, polifenol, dan senyawa antioksidan, seperti buah, sayuran, sereal, kacang-kacangan, serta produk kedelai, yang berperan

dalam menurunkan risiko penyakit tidak menular melalui mekanisme antioksidan dan antiinflamasi (Galanakis, 2021; Shahidi & Ambigaipalan, 2022). Sebaliknya, pangan fungsional hewani mengandung komponen bioaktif spesifik, seperti asam lemak omega-3 pada ikan, peptida bioaktif pada susu, serta mikroorganisme bermanfaat pada produk fermentasi, yang berkontribusi terhadap kesehatan kardiovaskular, metabolisme lipid, dan sistem imun (Santini et al., 2022).

Berdasarkan bentuk dan cara konsumsinya, pangan fungsional diklasifikasikan menjadi pangan fungsional alami, fortifikasi, dan fermentasi. Pangan fungsional alami secara intrinsik mengandung komponen fungsional, seperti buah, sayuran, rempah, dan biji-bijian utuh. Pangan fungsional fortifikasi diperkaya dengan zat gizi atau komponen bioaktif tertentu, misalnya kalsium, vitamin D, serat pangan, atau fitosterol, untuk meningkatkan manfaat kesehatannya. Sementara itu, pangan fungsional fermentasi dihasilkan melalui aktivitas mikroorganisme yang meningkatkan ketersediaan hayati zat gizi atau menghasilkan metabolit bioaktif, sebagaimana pada tempe, yoghurt, kimchi, dan kombucha (Marco et al., 2021; Rezac et al., 2023).

Berdasarkan jenis komponen fungsionalnya, pangan fungsional diklasifikasikan menjadi pangan kaya serat, probiotik dan prebiotik, fitokimia, serta asam lemak fungsional. Serat pangan berperan dalam kesehatan pencernaan serta pengendalian glukosa dan kolesterol,

sedangkan probiotik dan prebiotik mendukung keseimbangan mikrobiota usus yang berpengaruh pada sistem imun dan metabolisme. Fitokimia, seperti flavonoid dan polifenol, berfungsi sebagai antioksidan dan antiinflamasi, sementara asam lemak fungsional, terutama omega-3, berperan penting dalam kesehatan kardiovaskular dan fungsi saraf (Slavin, 2022; Sanders et al., 2023; Shahidi & Ambigaipalan, 2022).

Pangan fungsional juga dapat diklasifikasikan berdasarkan manfaat fisiologis atau klaim kesehatannya, seperti pengendalian glukosa darah dan indeks glikemik, penurunan kolesterol dan trigliserida, pengaturan tekanan darah, peningkatan absorpsi mineral, pemeliharaan kesehatan tulang dan gigi, serta dukungan fungsi imun. Klasifikasi berbasis manfaat kesehatan ini banyak diterapkan dalam sistem regulasi pangan fungsional, termasuk konsep *Foods for Specified Health Uses* (FOSHU) di Jepang, yang mensyaratkan klaim kesehatan didukung oleh bukti ilmiah dan uji klinis pada manusia (Shimizu & Watanabe, 2022; Galanakis, 2023).

Berdasarkan tingkat pengolahannya, pangan fungsional diklasifikasikan menjadi pangan dengan pengolahan minimal dan pangan hasil inovasi teknologi. Pangan dengan pengolahan minimal mempertahankan karakteristik serta kandungan bioaktif alami bahan baku, sedangkan pangan hasil inovasi teknologi melibatkan proses lanjutan seperti fortifikasi, fermentasi terkontrol, mikroenkapsulasi, atau teknologi nano untuk meningkatkan

stabilitas, bioavailabilitas, dan efektivitas komponen bioaktif. Pendekatan teknologi ini menjadi fokus utama dalam pengembangan pangan fungsional modern untuk memastikan efektivitas dan keamanan produk (McClements, 2020; Galanakis, 2021).

**Tabel 1. 1** Pengelompokan ingredien pangan berdasarkan klaim FOSHU di Jepang

| <b>Fungsional Kesehatan</b>                                  | <b>Bahan-Bahan yang Memiliki Fungsi Kesehatan</b>                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pangan untuk Kesehatan saluran pencernaan (gastrointestinal) | Probiotik seperti bifidobakteria dan BAL (bakteri asam laktat), prebiotik oligosakarida, dekstrin yang tercerna, serat pangan, guar gum, polidekstrol, laktosa, biji pelapis <i>psillium</i> , dan sebagainya |
| Pangan untuk mengendalikan kadar kolesterol darah            | Protein soya, Na-alginat, kitosan                                                                                                                                                                             |
| Pangan untuk mengendalikan kadar gula darah                  | Polyphenol dari jambu dan teh, L-arabiosa, dekstrin tidak tercerna, albumin gandum, dan sebagainya                                                                                                            |
| Pangan untuk mengendalikan kadar tekanan darah               | Laktotripeptida, asam geniposidik, kasein dodekanepetida peptide sarden, dan sebagainya                                                                                                                       |
| Pangan untuk kesehatan gigi                                  | Maltitiosa, paratinosa, <i>erythritol</i> , dan sebagainya                                                                                                                                                    |

| <b>Fungsional Kesehatan</b>                                                                   | <b>Bahan-Bahan yang Memiliki Fungsi Kesehatan</b>                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pangan untuk kesehatan saluran pencernaan (gastrointestinal), kolesterol, dan triasilgliserol | Na-alginat, serat pangan dari dedak biji <i>psyllium</i> , dan sebagainya                                   |
| Pangan yang berkaitan dengan absorpsi mineral                                                 | Ca-sitrat malat, kasein fosfopeptida, zat besi dan daging (hem), FOS (frakto-oligosakarida), dan sebagainya |
| Pangan berhubungan dengan osteogenesis                                                        | Isoflavon kedelai, protein susu, dan sebagainya                                                             |
| Pangan berhubungan dengan triasilgliserol                                                     | MCFA ( <i>medium chain fatty acid</i> ), dan sebagainya                                                     |

(Sumber: MHLW Japan, 2024)

## 2. Klasifikasi Nutrasetikal

Nutrasetikal merupakan produk yang berasal dari bahan pangan atau komponen pangan yang diproses dan diformulasikan dalam bentuk non-pangan, seperti kapsul, tablet, serbuk, cairan, atau *soft gel*, dengan tujuan memberikan manfaat kesehatan serta mendukung pencegahan dan pengelolaan penyakit. Mengingat keragaman sumber, bentuk, dan fungsi kesehatannya, nutrasetikal dapat diklasifikasikan berdasarkan sumber bahan baku, bentuk sediaan, jenis komponen bioaktif, serta fungsi atau target fisiologisnya (Santini et al., 2022; Galanakis, 2023).

Berdasarkan sumbernya, nutrasetikal dikelompokkan menjadi nutrasetikal nabati, hewani, dan mikroba.

Nutrasetikal nabati berasal dari tanaman seperti buah, sayuran, rempah, dan biji-bijian yang kaya fitokimia, termasuk polifenol, flavonoid, karotenoid, dan fitosterol, dengan aktivitas antioksidan, antiinflamasi, dan kardioprotektif. Nutrasetikal hewani mencakup asam lemak omega-3 (EPA dan DHA) dari ikan, kolagen dan peptida bioaktif dari jaringan hewani, serta komponen bioaktif susu dan telur yang berperan dalam kesehatan kardiovaskular, tulang, sendi, dan fungsi kognitif. Sementara itu, nutrasetikal berbasis mikroba meliputi probiotik, postbiotik, dan metabolit fermentasi yang berkontribusi terhadap kesehatan saluran cerna dan sistem imun (Shahidi & Ambigaipalan, 2022; Aguilar-Toalá et al., 2021; Galanakis, 2023).

Berdasarkan bentuk sediaannya, nutrasetikal umumnya tersedia dalam bentuk kapsul, tablet, serbuk, cairan, dan *soft gel*, dengan kapsul dan tablet paling banyak digunakan karena stabilitas dan kemudahan dosis. Serbuk dan cairan lazim diaplikasikan dalam produk siap konsumsi, sedangkan *soft gel* digunakan untuk senyawa lipofilik seperti minyak ikan dan vitamin larut lemak. Perkembangan teknologi formulasi mendorong munculnya sistem penghantaran inovatif, seperti nanoemulsi, *liposomal delivery*, dan *controlled-release systems*, untuk meningkatkan bioavailabilitas dan efektivitas biologis komponen bioaktif (McClements, 2020; Santini et al., 2022; Galanakis, 2023).



Klasifikasi nutrasetikal juga dapat didasarkan pada jenis komponen bioaktif utama, meliputi fitokimia, asam lemak bioaktif, peptida dan protein bioaktif, serat pangan dan prebiotik, serta vitamin dan mineral dengan fungsi fisiologis spesifik. Selain itu, pendekatan berbasis fungsi kesehatan semakin banyak digunakan, seperti nutrasetikal untuk kesehatan kardiovaskular, pencernaan, pengendalian glukosa dan metabolisme, peningkatan imunitas, kesehatan tulang dan sendi, serta dukungan fungsi kognitif. Pendekatan ini sejalan dengan konsep evidence-based nutrition, di mana klaim manfaat nutrasetikal harus didukung oleh bukti ilmiah dan uji klinis yang relevan dengan target kesehatan yang dituju (Santini et al., 2022; Galanakis, 2023).

## **F. Komponen Bioaktif**

### **1. Komponen Bioaktif Pangan Fungsional**

Komponen bioaktif merupakan senyawa alami dalam pangan fungsional yang memberikan manfaat kesehatan dan dapat berasal dari sumber nabati maupun hewani. Senyawa ini mencakup komponen zat gizi, seperti mineral (kalsium dan iodium) dan vitamin (asam folat dan vitamin E), serta komponen non-zat gizi berupa fitokimia dan biokomponen lain, termasuk terpenoid, flavonoid, senyawa sulfur, isoflavin, polifenol, serat pangan, mikroorganisme fungsional, dan oligosakarida. Komponen bioaktif berperan penting dalam pangan fungsional karena memberikan efek fisiologis spesifik, seperti aktivitas antioksidan dan

antiinflamasi, modulasi metabolisme, serta dukungan terhadap sistem imun dan mikrobiota usus (Martirosyan, 2025).

a. Fitokimia

Fitokimia merupakan kelompok komponen bioaktif yang paling banyak dikaji dalam pangan fungsional. Senyawa ini terutama ditemukan dalam bahan pangan nabati seperti buah, sayuran, rempah, dan biji-bijian. Fitokimia meliputi polifenol, flavonoid, karotenoid, stilbenes, dan tanin, yang diketahui memiliki sifat antioksidan dan antiinflamasi yang kuat. Polifenol seperti quercetin, resveratrol, dan antosianin dapat membantu mengurangi stres oksidatif, menurunkan risiko penyakit kardiovaskular, dan memodulasi jalur metabolisme yang berkaitan dengan diabetes serta obesitas.

b. Asam Lemak Esensial

Asam lemak tak jenuh ganda, terutama omega-3 (misalnya EPA dan DHA), termasuk komponen bioaktif yang signifikan dalam pangan fungsional hewani dan beberapa sumber nabati (seperti biji chia atau kenari). Omega-3 berperan penting dalam kesehatan kardiovaskular, pengaturan inflamasi, dan fungsi neurologis. Bukti mutakhir menunjukkan bahwa konsumsi asam lemak ini dapat membantu menurunkan kadar trigliserida darah serta mendukung respon antiinflamasi sistemik.

c. Serat Pangan dan Prebiotik

Serat pangan terutama ditemukan pada buah, sayuran, dan sereal utuh, serta memiliki efek positif terhadap kesehatan pencernaan serta metabolisme glukosa dan lipid. Prebiotik adalah jenis serat yang tidak dicerna oleh tubuh manusia tetapi difermentasi oleh mikrobiota usus, sehingga merangsang pertumbuhan bakteri menguntungkan. Kedua kelompok ini berkontribusi terhadap keseimbangan mikrobiota usus, yang berkaitan erat dengan sistem imun dan metabolisme tubuh.

d. Probiotik dan Metabolitnya

Probiotik adalah mikroorganisme hidup yang, bila dikonsumsi dalam jumlah yang cukup, memberikan benefit kesehatan, terutama bagi sistem pencernaan dan imun. Produk fermentasi seperti yoghurt, kefir, tempe, dan kombucha tidak hanya menyediakan probiotik tetapi juga menghasilkan metabolit bioaktif seperti asam organik, peptida bioaktif, dan *gamma-aminobutyric acid* (GABA), yang dikaitkan dengan efek positif terhadap tekanan darah, suasana hati, dan modulasi inflamasi.

e. Peptida Bioaktif

Peptida bioaktif adalah fragmen protein yang dilepaskan selama proses pencernaan atau fermentasi, yang dapat menunjukkan aktivitas biologis seperti penghambatan enzim ACE (*angiotensin-converting enzyme*), modulasi tekanan darah, serta aktivitas

antioksidan. Produk fermentasi susu dan kedelai merupakan sumber penting peptida ini, dan senyawa-senyawa semacam VPP dan IPP telah tereksplorasi dalam berbagai studi klinis.

f. Vitamin, Mineral & Senyawa Minor Lainnya

Selain kelas bioaktif di atas, sejumlah vitamin (misalnya vitamin C, E) dan mineral (misalnya selenium) juga dapat berperan sebagai antioksidan dan kofaktor enzim penting dalam metabolisme tubuh. Senyawa minor ini sering kali berkontribusi pada efek kesehatan pangan fungsional melalui sinergisme dengan fitokimia lainnya.

## **2. Komponen Bioaktif Nutrasetikal**

Komponen bioaktif nutrasetikal merupakan senyawa alami dari bahan pangan yang memiliki aktivitas fisiologis spesifik dan memberikan manfaat kesehatan di luar fungsi gizi dasar. Kelompok utamanya meliputi fitokimia (polifenol, flavonoid, karotenoid, fitosterol), asam lemak bioaktif terutama omega-3 (EPA dan DHA), peptida dan protein bioaktif, serat pangan serta oligosakarida prebiotik, serta vitamin dan mineral dengan fungsi biologis tertentu. Fitokimia menjadi kelompok yang paling banyak diteliti dalam lima tahun terakhir karena aktivitas antioksidan dan antiinflamasi serta perannya dalam modulasi stres oksidatif dan jalur sinyal seluler yang terkait dengan pencegahan penyakit degeneratif (Shahidi & Ambigaipalan, 2022; Galanakis, 2023).

Selain itu, peptida bioaktif, probiotik, dan postbiotik semakin berkembang karena kontribusinya terhadap

kesehatan saluran cerna, sistem imun, dan metabolisme, sementara omega-3 mendukung kesehatan kardiovaskular dan fungsi kognitif. Penelitian terkini juga menekankan pentingnya bioavailabilitas komponen bioaktif, sehingga teknologi formulasi seperti enkapsulasi dan sistem penghantaran berbasis nano menjadi kunci untuk memastikan efektivitas biologis nutrasetikal setelah dikonsumsi (Aguilar-Toalá et al., 2021; McClements, 2020; Santini et al., 2022).

## **G. Teknologi Pengolahan dan Formulasi**

### **1. Teknologi Pengolahan dan Formulasi Pangan Fungsional**

Pengembangan pangan fungsional modern tidak hanya mengandalkan bahan baku yang kaya komponen bioaktif, tetapi juga memerlukan teknologi pengolahan dan formulasi yang tepat untuk mempertahankan stabilitas, efektivitas, serta bioavailabilitas senyawa bioaktif tersebut dalam produk akhir. Tantangan utama dalam pengolahan pangan fungsional adalah menjaga integritas komponen bioaktif yang rentan terhadap degradasi oleh panas, pH, oksidasi, cahaya, serta proses mekanis selama produksi, distribusi, dan penyimpanan (Zhao et al., 2025; Mehta et al., 2025).

Teknologi pengolahan pangan fungsional bertujuan untuk: (1) Mengoptimalkan ekstraksi dan ketersediaan komponen bioaktif dari bahan baku; (2) Mempertahankan stabilitas dan aktivitas biologis selama pengolahan dan penyimpanan; (3) Meningkatkan bioavailabilitas saat

dikonsumsi; (4) Mengendalikan sensori (rasa, aroma, tekstur) sehingga produk diterima konsumen; dan (5) Menjamin keamanan dan kualitas produk sesuai regulasi pangan fungsional. Pendekatan ini penting karena senyawa bioaktif, misalnya polifenol atau vitamin, sering mengalami degradasi saat terkena panas tinggi atau oksidasi selama proses termal. Teknik pengolahan yang dipilih harus mempertimbangkan karakteristik fisikokimia bahan serta tujuan kesehatan yang diinginkan.

Dalam praktik industri, teknologi pengolahan dan formulasi ini tidak berdiri sendiri, tetapi sering diintegrasikan dalam satu alur produksi pangan fungsional: (1) *Pre-treatment* bahan baku (pembersihan, pemotongan, pre-soaking); (2) Ekstraksi komponen bioaktif menggunakan MAE, UAE atau teknik lain; (3) Pemurnian dan konsentrasi komponen bioaktif; (4) Formulasi dan proteksi senyawa menggunakan mikro/nano-enkapsulasi; (5) Penerapan *controlled release* untuk tujuan *bioavailability*; (6) Pengemasan dan penyimpanan yang mempertahankan stabilitas kimia dan sensoris. Pendekatan sistematis ini penting untuk menghasilkan produk pangan fungsional yang tidak hanya aman dan bernutrisi, tetapi juga efektif secara biologis dan diterima konsumen secara sensoris.

## **2. Teknologi Pengolahan dan Formulasi Nutrasetikal**

Teknologi pengolahan dan formulasi nutrasetikal berperan penting dalam menjaga stabilitas serta efektivitas senyawa bioaktif yang terkandung di dalamnya. Berbagai komponen bioaktif, seperti polifenol, flavonoid, peptida bioaktif, dan

asam lemak esensial, diketahui sensitif terhadap panas, cahaya, oksigen, dan kondisi lingkungan tertentu. Oleh karena itu, pemilihan metode pengolahan yang tepat, seperti pengeringan bersuhu rendah, ekstraksi terkontrol, fermentasi, serta penerapan teknologi non-termal, diperlukan untuk meminimalkan degradasi senyawa aktif dan mempertahankan aktivitas biologisnya (Shahidi & Ambigaipalan, 2015).

Selain proses pengolahan, formulasi produk juga menjadi faktor kunci dalam pengembangan nutrasetikal agar senyawa bioaktif dapat dikonsumsi secara efektif dan terserap dengan baik oleh tubuh. Berbagai teknik formulasi, seperti mikroenkapsulasi, penggunaan matriks pembawa, dan kombinasi bahan fungsional, banyak diterapkan untuk meningkatkan stabilitas, melindungi senyawa aktif dari kerusakan selama penyimpanan dan pencernaan, serta meningkatkan ketersediaan hayatnya. Dengan penerapan teknologi pengolahan dan formulasi yang tepat, produk nutrasetikal diharapkan mampu memberikan manfaat kesehatan secara optimal dan konsisten (Augustin et al., 2013; McClements, 2018).

## **H. Aplikasi**

### **1. Aplikasi Produk Pangan Fungsional**

Aplikasi produk pangan fungsional meliputi berbagai kategori pangan dan minuman yang dikembangkan dalam berbagai bentuk sesuai dengan kebiasaan konsumsi masyarakat, kemudahan distribusi, serta tujuan manfaat



kesehatan. Secara umum, aplikasi pangan fungsional meliputi:

a. Minuman Fungsional

Minuman fungsional *ready to drink* berbahan baku tujuh jenis rempah lokal (temulawak, asam jawa, kunyit, kapulaga, sereh, cengkeh, dan kayu manis) dikembangkan sebagai alternatif pangan fungsional praktis yang memanfaatkan kekayaan hayati Indonesia dengan kandungan senyawa bioaktif berkhasiat kesehatan. Rempah-rempah tersebut diketahui mengandung kurkumin, fenol, dan senyawa antioksidan yang berperan dalam aktivitas antioksidan, antiinflamasi, serta peningkatan imunitas tubuh, sehingga berpotensi diaplikasikan dalam produk minuman fungsional modern.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi terpilih berdasarkan uji organoleptik dan stabilitas fisik adalah minuman dengan konsentrasi ekstrak rempah 15% dan penambahan CMC 0,1%, yang dinilai paling disukai panelis serta memiliki stabilitas fisik yang baik dengan tinggi endapan hanya 0,04 cm pada hari ke-16 penyimpanan. Secara kimia, produk terpilih memiliki pH 3,44, kandungan kurkumin sebesar 13,70 ppm, total fenol 31 ppm, serta aktivitas antioksidan sebesar 2,97 ppm, yang mengindikasikan bahwa produk ini berpotensi kuat sebagai aplikasi pangan fungsional berbasis rempah lokal dengan nilai kesehatan dan penerimaan konsumen yang baik (Mardiah et al., 2019).

b. Makanan Ringan (*Snack*) Fungsional

Labu kuning (*Cucurbita moschata*) merupakan bahan nabati potensial yang kaya serat dan senyawa bioaktif, namun rentan mengalami kerusakan pascapanen sehingga perlu diolah menjadi produk yang lebih awet dan bernilai ekonomi, salah satunya dalam bentuk cookies. Untuk meningkatkan nilai fungsionalnya, *cookies* labu kuning diperkaya dengan bakteri probiotik yang berperan dalam menjaga kesehatan pencernaan dan imunitas tubuh, meskipun tantangan utama pengembangannya adalah rendahnya viabilitas probiotik akibat paparan suhu tinggi selama proses pemanggangan.

Hasil kajian menunjukkan bahwa penerapan teknologi mikroenkapsulasi menggunakan kombinasi bahan penyalut susu skim 10% dan maltodekstrin mampu melindungi probiotik selama proses pemanasan, di mana peningkatan konsentrasi maltodekstrin memberikan viabilitas bakteri yang lebih tinggi, dengan nilai terbaik mencapai 98% pada penggunaan maltodekstrin 20%. Temuan ini membuktikan bahwa *cookies* labu kuning probiotik dapat diaplikasikan sebagai produk pangan fungsional nabati yang stabil, praktis, dan bernilai kesehatan, serta berpotensi dikembangkan sebagai inovasi diversifikasi pangan lokal berbasis teknologi pengolahan modern (Wardani & Dewi, 2021).

c. Produk *Bakery* dan Sereal

Pangan fungsional berbasis pangan lokal merupakan alternatif strategis untuk mendukung perbaikan status gizi

kelompok rentan, khususnya ibu hamil, yang masih menghadapi permasalahan ketidaksesuaian kenaikan berat badan selama kehamilan. Salah satu inovasi yang berpotensi dikembangkan adalah roti fungsional berbasis dadih, yaitu produk fermentasi tradisional Minangkabau yang kaya bakteri asam laktat probiotik dan memiliki peran dalam menjaga keseimbangan mikrobiota usus. Pemanfaatan dadih dalam bentuk roti fungsional bertujuan menghasilkan pangan yang praktis, mudah diterima, dan bernilai kesehatan.

Hasil uji klinis terkontrol secara acak menunjukkan bahwa konsumsi roti fungsional dadih selama tiga bulan pada ibu hamil secara signifikan meningkatkan kenaikan berat badan kehamilan dibandingkan kelompok kontrol, dengan selisih rata-rata sekitar 2 kg dan nilai  $p < 0,001$ , meskipun asupan energi dan zat gizi harian kedua kelompok relatif serupa. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan kenaikan berat badan tidak semata-mata dipengaruhi oleh asupan gizi, tetapi juga oleh peran probiotik dalam meningkatkan efisiensi pemanfaatan zat gizi melalui modulasi mikrobiota usus. Temuan ini menegaskan bahwa roti fungsional dadih dapat diaplikasikan sebagai produk pangan fungsional berbasis kearifan lokal yang aman, praktis, dan berpotensi mendukung peningkatan status gizi ibu hamil (Helmizar et al., 2025).

### d. Produk Fermentasi

Pengembangan kombucha berbasis berbagai jenis daun lokal menjadi upaya penting untuk meningkatkan

pemanfaatan bahan nabati yang kaya senyawa fenolik, seperti daun teh, daun jambu biji, daun sirih, dan daun kopi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses fermentasi memberikan pengaruh nyata terhadap karakteristik fungsional kombucha, terutama peningkatan aktivitas antioksidan dan total fenol hingga mencapai kondisi optimum. Aktivitas antioksidan cenderung meningkat selama fermentasi awal dan mencapai nilai tertinggi pada fermentasi hari ke-8, kemudian menurun seiring meningkatnya keasaman pada fermentasi yang lebih lama. Peningkatan aktivitas ini berkaitan dengan proses biotransformasi senyawa fenolik oleh mikroorganisme selama fermentasi. Perlakuan terbaik diperoleh pada kombucha daun teh dengan lama fermentasi 8 hari, yang menunjukkan keseimbangan optimal antara aktivitas antioksidan, total fenol, dan keamanan produk. Dengan demikian, kombucha berbasis daun lokal dapat diaplikasikan sebagai produk pangan fungsional nabati yang mendukung diversifikasi pangan dan peningkatan nilai tambah sumber daya lokal (Suhardini & Zubaidah, 2016).

e. Produk Praktis Siap Saji (*Instant / Jelly / Serbuk*)

Kulit buah naga merah dan bunga rosella merupakan sumber senyawa bioaktif, khususnya antosianin dan flavonoid, yang berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku pangan fungsional berbasis nabati. Pemanfaatan kedua bahan tersebut dalam bentuk minuman fungsional *jelly drink* menjadi alternatif aplikasi yang praktis, mudah dikonsumsi, dan memiliki daya terima yang baik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi *jelly drink* dengan perbandingan sari kulit buah naga merah dan rosella sebesar 50%:50% serta penambahan karagenan dan konjak glukomanan 60%:40% menghasilkan karakteristik fungsional terbaik. Produk tersebut memiliki aktivitas antioksidan tinggi sebesar 85,95%, total antosianin 68,08 ppm, nilai  $IC_{50}$  196,27 ppm, serta kandungan serat 0,52%, disertai sifat fisik dan sensoris yang dapat diterima. Temuan ini menunjukkan bahwa *jelly drink* kulit buah naga merah dan rosella berpotensi diaplikasikan sebagai produk pangan fungsional nabati untuk membantu menurunkan stres oksidatif sekaligus meningkatkan nilai tambah limbah pertanian (Karismawati et al., 2015).

## **2. Aplikasi Produk Nutrasetikal**

Produk nutrasetikal diaplikasikan dalam berbagai bentuk sediaan yang mengandung senyawa bioaktif terkonsentrasi dan dikonsumsi dalam dosis terkontrol untuk memberikan manfaat kesehatan tertentu. Aplikasi nutrasetikal meliputi kapsul atau tablet ekstrak bahan alam seperti kunyit, rosella, teh hijau, dan kulit buah yang kaya senyawa fenolik dan antioksidan; serbuk minuman instan berbasis buah, sayur, dan herbal; ekstrak cair atau sirup konsentrat; serta *softgel* minyak nabati yang mengandung asam lemak esensial. Selain itu, produk nutrasetikal juga banyak dikembangkan dalam bentuk probiotik dan sinbiotik terenkapsulasi untuk mendukung kesehatan saluran pencernaan dan sistem imun. Berbagai penelitian di Indonesia menunjukkan bahwa bahan lokal seperti rosella, kulit buah naga, kelor, dan

rempah-rempah memiliki potensi besar sebagai sumber nutrasetikal karena kandungan antioksidan dan fitokimianya yang tinggi, sehingga berpeluang dikembangkan menjadi produk bernilai tambah berbasis sains dan kearifan lokal (Widyaningsih et al., 2011; Nuraida, 2015; Karismawati et al., 2015).

## DAFTAR PUSTAKA

- Aguilar-Toalá, J.E. *et al.* (2021). Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends in Food Science & Technology*, 114, pp. 407-418.
- Foods Review. (2025). Functional foods: Definition, classification, and health benefits. *Foods*, 14(2), pp. 1–20.
- Galanakis, C.M. (2021). *Nutraceutical and Functional Food Components*. Cambridge: Academic Press.
- Galanakis, C.M. (2023). *Innovation Strategies in the Food Industry: Tools for Implementation*. 2nd edn. London: Elsevier.
- Helmizar, H., dkk. (2025). Pengaruh Roti Fungsional Dadih terhadap Kenaikan Berat Badan Ibu Hamil di Padang, Indonesia: *a Randomized Controlled Trial*. *Amerta Nutrition*, 9(2), pp. 340-349.
- Islam, M.T. and Bellah, S.F. (2025). Nutraceuticals, functional foods, and dietary supplements: Regulatory and scientific perspectives. *Journal of Functional Foods*, 105, 105546.
- Karismawati, A. S., Nurhasanah, N., & Widyaningsih, T. D. (2015). Pengaruh minuman fungsional *jelly drink* kulit buah naga merah dan rosella terhadap stres oksidatif. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 3(2), 407-416.



- Kwak, N.S. and Jukes, D.J. (2020). Functional foods. Part 1: The development of a regulatory concept. *Food Control*, 11(2), pp. 99–107.
- Marco, M.L. *et al.* (2021). Health benefits of fermented foods: Microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 70, pp. 140–148.
- Mardiah, dkk. (2019). Minuman fungsional *ready to drink* berbahan baku rempah lokal. *Jurnal Pangan Halal*, 1(2), pp. 48-54.
- Martirosyan, D. (2025). Bioactive compounds in functional foods. *Functional Foods in Health and Disease*, 15(1), pp. 1–12.
- Martirosyan, D. (2025). Bioactive compounds in functional foods. *Functional Foods in Health and Disease*, 15(1), pp. 1–12.
- Martirosyan, D. and Singh, J. (2021). A new definition of nutraceuticals. *Functional Foods in Health and Disease*, 11(6), pp. 274–285.
- McClements, D.J. (2020). Encapsulation, Protection, and Delivery of Bioactive Compounds in Foods. Boca Raton: CRC Press.
- Mehta, N. *et al.* (2025). Processing effects on stability of bioactive compounds. *Food Chemistry*, 421, 136144.
- MHLW Japan. (2023). Food for Specified Health Uses (FOSHU): Current status and regulation. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare.

- MHLW Japan. (2024). Foods with Function Claims (FFC) Guidelines. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare.
- Nuraida, L. (2015). Probiotik dan pangan fungsional. *Jurnal Ilmu Pangan dan Gizi*, 10(2), 1–8.
- Rezac, S. *et al.* (2023). Fermented foods as functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(5), pp. 678–695.
- Risa, M. *et al.* (2024). Bioactive compounds in functional foods and chronic disease prevention. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2024, 8892345.
- Santini, A. *et al.* (2022). Nutraceuticals: Classification, safety, and efficacy. *Nutrients*, 14(5), 1107.
- Santini, A. *et al.* (2023). Nutraceuticals and regulatory challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 134, pp. 1–12.
- Shahidi, F. and Ambigaipalan, P. (2022). Phenolics and polyphenolics in foods. *Journal of Functional Foods*, 94, 105106.
- Sharma, P. *et al.* (2024). Functional foods and prevention of non-communicable diseases. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1298453.
- Shimizu, T. (2021). Health claims on functional foods in Japan. *Journal of Nutrition Science and Vitaminology*, 67(Suppl.), pp. S1–S5.

- Shimizu, T. and Watanabe, S. (2022). Regulatory frameworks for functional foods in Japan. *Nutrients*, 14(18), 3810.
- Slavin, J. (2022). Dietary fiber and human health. *Nutrition*, 102, 111720.
- Suhardini, P.N. dan Zubaidah, E. (2016). Studi Aktivitas Antioksidan Kombucha dari Berbagai Jenis Daun Selama Fermentasi. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 4(1), pp. 221-229.
- Wardani, M.A. dan Dewi, L. (2021). Pemanfaatan probiotik dalam *cookies* labu kuning sebagai strategi pengembangan produk biskuit fungsional. *Jurnal TEKNOLOGI PANGAN : Media Informasi dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 12(2), pp. 239-249.
- Widyaningsih, T. D., Wijayanti, N., & Nugrahini, N. I. P. (2011). Pangan fungsional: aspek kesehatan, evaluasi, dan regulasi. *Jurnal Pangan*, 20(2), 141–152.
- Yamada, K. *et al.* (2008). Health claims of functional foods in Japan. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 54(5), pp. 383–390.
- Zhao, Y. *et al.* (2025). Advanced processing technologies for functional foods. *Food Research International*, 181, 114012.

# **BAB 2**

## **PENGEMBANGAN PANGAN FUNGSIONAL BERBASIS PANGAN TRADISIONAL**

**Oleh: Yasmin Aulia Rachma, S.T.P., M.Sc.**

### **A. Pendahuluan**

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara dengan kekayaan biodiversitas terbesar di dunia. Kekayaan tersebut tercermin dalam tradisi kuliner Indonesia yang sangat beragam. Dari ujung Sumatra hingga Papua, selama berabad-abad masyarakat Nusantara telah mengembangkan ribuan jenis pangan tradisional yang tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi, tetapi juga sarat dengan makna budaya, nilai simbolik, dan praktik kesehatan empiris. Namun, kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi pangan kini memungkinkan kita untuk melihat pangan tradisional dari perspektif yang lebih luas, bukan sekadar warisan kuliner, melainkan sebagai sumber yang potensial bagi pengembangan pangan fungsional modern yang memiliki dampak kesehatan spesifik.

Di tengah peningkatan prevalensi penyakit tidak menular seperti diabetes, obesitas, hipertensi, dan penyakit kardiovaskular, terjadi pergeseran paradigma masyarakat

global khususnya Indonesia terhadap pangan. Makanan tidak lagi dipandang hanya sebagai kebutuhan dasar, tetapi sebagai mediator kesehatan, gaya hidup, dan upaya pencegahan penyakit. Inilah yang melahirkan konsep pangan fungsional, kategori pangan yang mampu memberikan manfaat fisiologis tambahan di luar kandungan nutrisi dasarnya (Shaikh 2022). Berbagai negara maju telah lama mengembangkan produk pangan fungsional sebagai bagian dari inovasi industri dan strategi kesehatan Masyarakat (McCarthy and Zeegers 2013; Paucar et al. 2024). Namun, bagi Indonesia, langkah tersebut memiliki kekhasan tersendiri karena memiliki landasan kuat berupa pengetahuan terkait kuliner tradisional yang telah terbukti secara empiris.

Saat ini pengembangan produk pangan fungsional berbasis pangan tradisional Indonesia menemui sebuah masalah, yaitu sebagian besar pangan tradisional Indonesia belum dioptimalkan atau belum dikonversikan menjadi produk modern yang memenuhi standar ilmiah global (Isnain, Apriyanditra, and Afni 2025). Banyak pangan tradisional yang selama berabad-abad digunakan sebagai obat atau asupan makanan kesehatan, misalnya jamu, tempe, dadih, rebusan rempah, atau pangan fermentasi alami, namun belum semuanya didukung oleh bukti ilmiah yang terukur, standardisasi proses, maupun formulasi yang konsisten (Djalal et al. 2022; Gokhale, Lele, and Ananthanarayan 2021). Selain itu, kondisi perkembangan gaya hidup modern saat ini membuat generasi muda semakin jauh dari pengaruh produk pangan tradisional,

digantikan oleh makanan instan, produk impor, atau minuman berenergi yang kemasannya lebih menarik dan dianggap lebih “kekinian”.

Dalam konteks ini, pengembangan pangan fungsional berbasis pangan tradisional bukan hanya persoalan inovasi teknologi, tetapi juga upaya strategis untuk menghubungkan kembali masyarakat dengan kekayaan pangan lokalnya. Tantangannya tidak sederhana, dibutuhkan pendekatan multidisiplin yang menggabungkan etnografi, kimia pangan, mikrobiologi, teknologi proses, biokimia, nutrisi, hingga regulasi dan pemasaran. Pendekatan ilmiah diperlukan untuk memvalidasi klaim fungsi kesehatan, memahami mekanisme molekuler bioaktif, menentukan stabilitas senyawa selama pemrosesan, serta memastikan keamanan produk akhir (González-Ferrero and Sáiz-Abajo 2015).

Lebih jauh, pengembangan pangan fungsional berbasis tradisi memberikan peluang ekonomi yang sangat besar. Pasar global untuk produk pangan fungsional dan suplemen kesehatan terus berkembang pesat, diproyeksikan mencapai ratusan miliar dolar dalam beberapa tahun mendatang (Essa et al. 2023). Jika Indonesia mampu memanfaatkan biodiversitas pangan tradisional sebagai bahan baku inovasi, kita bukan hanya akan memperkuat ketahanan pangan dan kesehatan masyarakat, tetapi juga membuka peluang industri berbasis kearifan lokal yang berkelanjutan, berdaya saing, dan mengakar pada identitas bangsa.

Bab ini disusun untuk memberikan pemahaman komprehensif mengenai bagaimana pangan tradisional Indonesia dapat dikembangkan menjadi pangan fungsional modern. Pembahasan dimulai dari karakteristik dan potensi pangan tradisional, dilanjutkan dengan pendekatan ilmiah yang diperlukan untuk menilai dan meningkatkan nilai fungsionalnya. Pada bagian akhir, disajikan *roadmap* strategis pengembangan pangan fungsional berbasis pangan tradisional sebagai panduan masa depan, sebelum ditutup dengan refleksi mengenai pentingnya menghidupkan kembali tradisi melalui inovasi pangan yang relevan dan berdaya guna.

## **B. Pangan Tradisional Indonesia sebagai Warisan dan Pangan Fungsional**

Pangan tradisional Indonesia tidak hanya mencerminkan keberagaman bahan pangan dan teknik pengolahan yang berkembang secara turun-temurun dan mengakar budaya, tetapi juga merepresentasikan sistem pengetahuan lokal yang telah beradaptasi dengan kondisi ekologis, sosial, dan budaya setempat. Banyak di antaranya secara empiris terbukti berkontribusi pada kesehatan masyarakat melalui kandungan bioaktif alami, proses fermentasi spontan, maupun praktik pengolahan yang secara tidak disengaja menghasilkan pangan dengan sifat fungsional.

### **1. Makna dan Karakteristik Pangan Tradisional**

Pangan tradisional merupakan cerminan paling nyata dari hubungan manusia dengan lingkungan, budaya, dan

sejarahnya. Makna pangan tradisional tidak hanya terletak pada bentuk fisik makanan, tetapi juga pada pengetahuan kolektif yang diwariskan antargenerasi, mulai dari pemilihan bahan baku, teknik pengolahan, penggunaan bumbu, hingga konteks sosial dan religi dalam penyajiannya. Di Indonesia, pangan tradisional berfungsi sebagai medium pembawa nilai budaya, identitas lokal, dan sejarah interaksi sosial yang panjang. Setiap hidangan lahir dari proses adaptasi masyarakat terhadap kondisi alam, ketersediaan sumber daya, dan kebutuhan gizi, sehingga menciptakan keragaman pangan yang tidak hanya kaya rasa tetapi juga sarat makna (Rila Setyaningsih, Andre Noevi Rahmanto, and Pawito 2024).

Karakteristik pangan tradisional Indonesia terlihat dari penggunaan bahan baku lokal seperti umbi-umbian, sereal lokal, kacang-kacangan, rempah, serta produk fermentasi yang tumbuh dan berkembang sesuai ekosistem setempat. Bahan-bahan tersebut memiliki profil gizi dan senyawa bioaktif yang khas, sehingga berkontribusi pada cita rasa dan fungsi kesehatan tertentu. Metode pengolahan tradisional seperti fermentasi, perebusan lama, pengasapan, penyangraian, dan pengeringan matahari tidak hanya berperan sebagai teknik pengawetan, tetapi juga memicu perubahan biokimia yang dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi dan membentuk senyawa bioaktif baru (Song et al. 2022). Proses inilah yang membuat banyak pangan tradisional memiliki kompleksitas rasa sekaligus potensi fungsional.



Selain aspek gizi dan teknologi, pangan tradisional Indonesia memiliki nilai budaya dan religi yang kuat. Salah satu contohnya adalah bubur India di Semarang, hidangan kaya rempah yang disajikan dan dinikmati bersama-sama pada bulan Ramadan atau hari besar keagamaan. Hidangan ini tidak hanya berfungsi sebagai makanan, tetapi juga mencerminkan nilai kebersamaan, sejarah masuknya pengaruh Islam, serta jejak perdagangan rempah Nusantara yang membentuk identitas kuliner pesisir Semarang (Maziyah, Alamsyah, and Widodo 2021). Contoh hidangan lain adalah sambel tumpang yang berbahan dasar tempe semangit (busuk), mencerminkan filosofi kesederhanaan, penghormatan terhadap bahan pangan, dan nilai memuliakan makanan agar tidak terbuang sia-sia (Gardjito, Harmayani, and Santoso 2018).



**Gambar 2. 1** Bubur India  
(Sumber: [jatengprof.go.id](http://jatengprof.go.id) 2022)



**Gambar 2. 2** Sambel Tumpang  
(Sumber:suaramerdeka.com 2020)

Secara umum, pangan tradisional Indonesia mengedepankan keseimbangan antara rasa, kesehatan, dan keberlanjutan. Penggunaan rempah dan tanaman lokal yang memiliki efek fisiologis seperti antioksidan, antiinflamasi, atau probiotik alami menunjukkan bahwa konsep pangan fungsional sebenarnya telah lama hadir dalam praktik kuliner tradisional (Dini 2018). Variasi teknik pengolahan yang bersifat lokal dan manual juga menghasilkan keragaman sensori yang unik antar wilayah. Dengan memahami makna, karakteristik, serta nilai budaya dan religi yang melekat pada pangan tradisional, pengembangan pangan fungsional berbasis tradisi dapat dilakukan secara lebih bijak, menghargai warisan budaya, dan tetap terbuka terhadap inovasi ilmiah yang terstruktur.

## **2. Kekayaan Pangan Tradisional Nusantara**

Kekayaan pangan tradisional Nusantara terbentuk dari pertemuan panjang antara keanekaragaman hayati tropis

Indonesia dan praktik kuliner yang berkembang di berbagai wilayah. Sebagai salah satu negara dengan tingkat biodiversitas tertinggi di dunia, Indonesia memiliki sumber bahan pangan yang sangat beragam, mulai dari umbi-umbian dan sereal lokal, kacang-kacangan, kelapa, rempah, hingga hasil laut dan tanaman obat. Keragaman ini menghasilkan lanskap pangan yang kaya secara sensoris sekaligus mengandung berbagai komponen bioaktif yang berpotensi mendukung kesehatan. Beragam produk seperti tempe dan oncom di Jawa, dadih di Sumatera Barat, papeda dan sagu lempeng di Papua dan Maluku, rendang di Sumatera Barat, lawar di Bali, tinoransak di Sulawesi, serta jamu tradisional berbasis rempah seperti kunyit, jahe, dan temulawak mencerminkan pemanfaatan sumber daya alam lokal secara adaptif dan berkelanjutan.

Keunggulan pangan Nusantara juga terlihat pada variasi teknik pengolahan yang khas di setiap daerah. Fermentasi menjadi salah satu teknik yang paling penting, menghasilkan pangan seperti tempe, tape singkong, tape ketan, bekasam, peda, dan wadi, yang tidak hanya meningkatkan daya simpan tetapi juga membentuk metabolit baru dengan potensi probiotik dan bioaktif (R. Sharma et al. 2022). Selain fermentasi, teknik pengasapan pada ikan asap Papua dan Maluku, perebusan lama pada rendang, serta penyangraian dan pengeringan pada berbagai olahan umbi dan biji-bijian memberikan pengaruh signifikan terhadap karakter rasa, tekstur, dan stabilitas produk. Meskipun berkembang secara tradisional, teknik-teknik ini secara ilmiah terbukti memicu perubahan

fisikokimia yang relevan dalam pengembangan pangan fungsional modern (Michel, Meunier, and Jelen 2025).

Kekayaan pangan tradisional Indonesia juga mencakup hasil laut dan pesisir yang beragam, seperti rumput laut, ikan fermentasi, terasi, dan petis, yang kaya mineral, asam lemak fungsional, dan senyawa bioaktif khas seperti peptida bioaktif, karagenan, dan pektin (Shahidi and Rahman 2018; Xing et al. 2022). Produk seperti rumput laut kering, dodol rumput laut, dan olahan agar tradisional menunjukkan potensi besar sebagai sumber pangan fungsional berbasis laut yang ramah lingkungan. Keanekaragaman ini memperluas spektrum bahan baku fungsional di luar pangan darat dan memperkuat posisi Indonesia sebagai negara maritim dengan potensi nutrasetikal yang tinggi.

Di luar aspek bahan dan teknologi, kekayaan pangan tradisional Nusantara juga memiliki dimensi sosial yang kuat. Banyak pangan tradisional hadir dalam konteks kebersamaan dan tradisi, seperti tumpeng dalam acara syukuran, lempang pada perayaan adat Melayu dan Minangkabau, serta baro-baro dalam tradisi Bugis. Nilai sosial ini menjadikan pangan tradisional memiliki posisi strategis sebagai aset budaya sekaligus sumber potensi ekonomi dan kesehatan. Dalam pengembangan pangan fungsional, kedekatan budaya dan familiaritas produk menjadi faktor penting dalam meningkatkan penerimaan masyarakat terhadap inovasi berbasis tradisi.

Secara keseluruhan, kekayaan pangan tradisional Nusantara menyediakan ruang yang sangat luas untuk inovasi berbasis sains tanpa harus melepaskan akar budayanya. Dengan pendekatan ilmiah dan teknologi pangan yang tepat, bahan lokal dan teknik tradisional dapat dikembangkan menjadi pangan fungsional yang tidak hanya relevan bagi kebutuhan kesehatan masyarakat modern, tetapi juga mampu memperkuat identitas kuliner Indonesia di tingkat global.

### **C. Pendekatan Ilmiah dalam Pengembangan Pangan Fungsional Berbasis Tradisi**

Pengembangan pangan fungsional berbasis tradisi memerlukan pendekatan ilmiah yang mampu menjembatani pengetahuan lokal dengan bukti empiris modern, sehingga setiap klaim manfaat kesehatan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah dan memenuhi ketentuan regulatif. Tahap awal pengembangan dapat dimulai dengan mengkaji profil nutrisi dan fitokimia bahan baku, dimana komposisi zat gizi dan kandungan metabolit bioaktif merupakan dasar utama dalam memahami potensi sifat fungsional suatu pangan tradisional. Selanjutnya, asesmen difokuskan pada stabilitas dan bioavailabilitas senyawa aktif untuk memastikan bahwa komponen fungsional tidak hanya hadir dalam produk, tetapi juga tetap stabil selama pengolahan dan mampu diserap serta dimanfaatkan oleh tubuh (Rafaqat et al. 2025). Efek fisiologis dari komponen tersebut kemudian perlu divalidasi melalui pengujian yang terukur, sehingga manfaat

kesehatan yang diklaim benar-benar dapat dibuktikan pada tingkat biologis. Di samping itu, aspek keamanan pangan harus dievaluasi secara menyeluruh, baik dari sisi mikrobiologi maupun potensi toksisitas, mengingat pangan fungsional ditujukan untuk konsumsi jangka panjang. Seluruh rangkaian pendekatan ini pada akhirnya harus diselaraskan dengan regulasi yang berlaku di Indonesia, terutama yang berkaitan dengan klaim kesehatan dan standar mutu, agar produk yang dikembangkan dapat diterima oleh konsumen, industri, serta otoritas pengawas. Aspek-aspek tersebut menjadi landasan utama dalam pembahasan mengenai prinsip ilmiah dalam menghasilkan pangan fungsional.

### **Teknologi Pengolahan Pangan Tradisional**

Teknologi pengolahan pangan tradisional merupakan elemen kunci dalam membentuk mutu, keamanan, serta potensi fungsional pangan berbasis tradisi. Berbagai teknik seperti fermentasi, perebusan, penyangraian, pengasapan, hingga pemasakan bertekanan (*presto*) telah lama digunakan oleh masyarakat sebagai bentuk adaptasi terhadap karakter bahan baku dan kebutuhan penyimpanan. Fermentasi terkontrol, seperti pada *tempe*, melibatkan inokulum spesifik yang memodifikasi struktur protein dan karbohidrat sehingga menghasilkan pangan dengan daya cerna lebih tinggi dan kandungan metabolit bioaktif yang meningkat (Starzyńska-Janiszewska et al. 2012). Sedangkan fermentasi spontan seperti pada pembuatan *gatot* dari singkong melibatkan mikroflora alami

dari lingkungan yang secara bertahap menguraikan pati dan serat, membentuk cita rasa khas, serta berpotensi meningkatkan ketersediaan nutrisi tertentu (Ambarsari, Wibowo, and Kartasasmita 2021).

Seiring perkembangan teknologi pangan, teknik-teknik tradisional tersebut mulai dikaji dan dikembangkan secara ilmiah agar prosesnya lebih terkendali, aman, dan konsisten tanpa menghilangkan karakter khas produk. Pendekatan ini memungkinkan pangan tradisional ditingkatkan nilainya sebagai pangan fungsional yang terstandar dan relevan dengan kebutuhan kesehatan modern. Oleh karena itu, pemahaman terhadap profil nutrisi dan fitokimia bahan baku, stabilitas serta bioavailabilitas senyawa fungsional selama dan setelah pengolahan, serta efek fisiologis yang dihasilkan pada sistem biologis menjadi tahapan penting yang saling terkait dalam pengembangan pangan fungsional berbasis pangan tradisional.

## **1. Profil Nutrisi dan Fitokimia**

Profil nutrisi dan fitokimia merupakan fondasi utama dalam pengembangan pangan fungsional, karena menentukan potensi manfaat kesehatan yang dapat dihasilkan dari suatu bahan pangan. Pangan tradisional Indonesia umumnya tersusun dari bahan baku lokal seperti umbi-umbian, sereal non-beras, kacang-kacangan, rempah, sayuran, serta hasil fermentasi, yang memiliki komposisi makronutrien dan mikronutrien yang khas. Umbi-umbian seperti singkong, ganyong, dan talas kaya akan karbohidrat kompleks dan serat pangan, sementara kacang-kacangan

dan produk fermentasinya, seperti tempe dan oncom, merupakan sumber protein nabati dengan kualitas asam amino yang relatif baik. Kandungan vitamin dan mineral, termasuk vitamin B kompleks, vitamin C, zat besi, kalsium, dan magnesium, turut berkontribusi pada nilai gizi pangan tradisional sebagai bagian dari pola konsumsi harian Masyarakat (Marcus 2013).

Selain komponen gizi dasar, pangan tradisional Nusantara juga dikenal kaya akan senyawa fitokimia yang berperan penting dalam aktivitas biologis dan fisiologis. Rempah-rempah seperti kunyit, jahe, lengkuas, dan kayu manis mengandung polifenol, flavonoid, kurkuminoid, serta senyawa fenolik lain yang memiliki aktivitas antioksidan dan antiinflamasi (Xu et al. 2020). Bahan pangan berbasis tanaman lokal, termasuk daun-daunan, biji-bijian, dan tanaman obat, juga mengandung alkaloid, saponin, tanin, serta fitosterol yang berpotensi memberikan efek hipoglikemik, hipolipidemik, dan modulasi sistem imun (D. Sharma and Yusuf 2025). Keberadaan senyawa-senyawa ini menjadikan pangan tradisional tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi, tetapi juga sebagai matriks alami pembawa komponen fungsional.

Pendekatan ilmiah dalam memetakan profil nutrisi dan fitokimia dilakukan melalui analisis komposisi kimia yang sistematis dan terstandar. Analisis proksimat biasa digunakan untuk menentukan kandungan makronutrien, sementara analisis mineral, vitamin, dan serat pangan memberikan gambaran nilai gizi mikro. Untuk senyawa



bioaktif, metode kromatografi dan spektroskopi, seperti HPLC, GC-MS, atau LC-MS, banyak diterapkan untuk mengidentifikasi dan mengkuantifikasi komponen fitokimia utama. Data ini menjadi dasar penting dalam menentukan potensi fungsional suatu pangan tradisional, memilih bahan baku unggulan, serta merancang proses pengolahan yang mampu mempertahankan atau bahkan meningkatkan kandungan senyawa aktif (Rohit Saxena 2023; Shemishere et al. 2018).

Dengan demikian, pemahaman yang komprehensif terhadap profil nutrisi dan fitokimia memungkinkan pengembangan pangan fungsional berbasis tradisi dilakukan secara lebih terarah dan berbasis bukti ilmiah. Informasi ini tidak hanya mendukung penetapan klaim kesehatan yang rasional, tetapi juga menjadi landasan untuk mengkaji bagaimana proses pengolahan memengaruhi kestabilan dan ketersediaan hayati senyawa fungsional, yang akan dibahas lebih lanjut pada sub-bab berikutnya.

## **2. Stabilitas dan Bioavailabilitas Senyawa Fungsional**

Stabilitas dan bioavailabilitas suatu senyawa fungsional menentukan efektivitas sifat fungsional suatu produk pangan, karena efek kesehatan hanya dapat dicapai apabila senyawa bioaktif tidak hanya hadir dalam bahan pangan, tetapi juga bertahan, tersedia, dan dapat diserap oleh tubuh pada jumlah yang memadai. Dalam konteks pangan tradisional Nusantara yang kaya senyawa fenolik, flavonoid, karotenoid, kurkuminoid, serat larut, serta berbagai metabolit sekunder lainnya, kajian terhadap stabilitas dan

bioavailabilitas menjadi semakin penting mengingat keragaman teknik pengolahan, kondisi penyimpanan, dan jenis matriks pangan khas daerah. Secara ilmiah, stabilitas senyawa fungsional dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti pH, suhu, aktivitas air ( $a_w$ ), cahaya, oksigen, enzim oksidatif, serta interaksi dengan komponen makromolekul (protein, lipid, dan polisakarida). Senyawa polifenol misalnya, rentan terhadap degradasi oksidatif melalui mekanisme autokatalitik yang dipicu adanya ion logam, sedangkan karotenoid mudah terisomerisasi dan mengalami bleaching akibat paparan cahaya dan panas (Ghorband and Kulkarni 2024; Lee, Kim, and Jang 2024).

Dalam ilmu pangan, stabilitas juga dikaitkan dengan ketahanan selama proses (*process stability*), seperti pemanasan tinggi pada pengolahan rendang, fermentasi pada tempe, atau ekstraksi termal pada jamu; serta ketahanan pascaproduksi (*storage stability*), terutama pada produk berbasis rempah yang sensitif oksidasi (Ghorband and Kulkarni 2024). Aplikasi teori kinetika reaksi (Arrhenius model) digunakan untuk memprediksi laju degradasi senyawa bioaktif selama pemanasan, sementara model difusi-partisi relevan untuk menjelaskan perpindahan senyawa lipofilik selama proses penggorengan atau penyangraian (Petrou, Roulia, and Tampouris 2002; Seçmeler and Güçlü Üstündağ 2019). Interaksi matriks pangan dapat bersifat protektif dalam masakan tradisional atau justru menghambat pelepasan senyawa saat pencernaan.

Sementara itu, bioavailabilitas menggambarkan proporsi senyawa fungsional yang dapat diserap dan dimanfaatkan tubuh setelah melewati hambatan fisiologis, termasuk pencernaan lambung-usus, metabolisme hepatik, serta transformasi oleh mikrobiota usus (Zhang et al. 2020). Senyawa polifenol dari bahan tradisional sering mengalami bioavailability rendah karena rendahnya kelarutan, keberadaan  $\beta$ -glycoside, atau konjugasi cepat di hati, sehingga diperlukan pendekatan *enhancement strategies* seperti enkapsulasi nanoemulsi, kompleksasi dengan protein, atau bioenhancer alami (El Monfalouti and Eddine Kartah 2024). Teori *food matrix effect* menjelaskan bahwa komponen penyerta (misalnya lipid pada kari, asam organik dalam fermentasi, atau serat larut pada bubur tradisional) dapat meningkatkan atau menurunkan absorbansi senyawa bioaktif melalui mekanisme modifikasi kelarutan, peningkatan permeabilitas mukosa, atau penghambatan enzim metabolik (de Castro Cogle et al. 2024).

Bioavailabilitas dipelajari melalui model *in vitro* pencernaan simulatif, model seluler (Caco-2 *permeability*), serta *in vivo* pada hewan atau manusia untuk menilai parameter farmakokinetik seperti  $C_{max}$ ,  $T_{max}$ , dan area under curve (AUC) (Li et al. 2007; Luo et al. 2018). Kombinasi pendekatan tersebut memberi gambaran menyeluruh mengenai bagaimana pengolahan pangan tradisional dapat dimodifikasi agar senyawa bioaktif tetap stabil dan dapat terserap optimal tanpa menghilangkan karakter budaya aslinya. Pada akhirnya, pemahaman mendalam mengenai stabilitas dan bioavailabilitas

memungkinkan peneliti merancang pangan fungsional berbasis tradisi yang tidak hanya lezat dan autentik, tetapi juga benar-benar efektif secara fisiologis.

### **3. Efek Fisiologis Pangan Fungsional Tradisional**

Efek fisiologis pangan fungsional tradisional mencerminkan kemampuan komponen bioaktif di dalamnya untuk memengaruhi proses biologis tubuh secara positif, baik melalui mekanisme molekuler langsung maupun melalui modulasi sistem metabolik, imunologis, dan mikrobiota usus. Dalam konteks pangan Nusantara, beragam bahan lokal mulai dari rempah seperti kunyit, jahe, temulawak, hingga hasil fermentasi seperti tempe, tape, dadih, dan ikan fermentasi telah lama digunakan sebagai pangan yang tidak hanya memberikan nutrisi, tetapi juga memberi manfaat kesehatan empiris yang kini dapat dijelaskan melalui pendekatan ilmiah modern. Efek-efek tersebut baru dianggap valid secara akademik apabila dibuktikan melalui pengujian terukur menggunakan metode antioksidan, uji inhibisi enzim, model pencernaan *in vitro*, kultur seluler, hingga studi *in vivo* (Zengin et al. 2024). Dengan demikian, pangan tradisional dapat dikategorikan sebagai pangan fungsional hanya jika manfaat fisiologisnya dapat direproduksi dan diverifikasi secara objektif.

Secara biokimia, banyak pangan tradisional menunjukkan aktivitas antioksidan yang kuat, terutama yang kaya polifenol, flavonoid, antosianin, atau kurkuminoid. Senyawa ini bekerja menetralkan radikal bebas, menghambat pembentukan ROS (*Reactive Oxygen*

*Species*), serta meningkatkan enzim antioksidan endogen melalui aktivasi jalur Nrf2–ARE (Moratilla-Rivera et al. 2023). Misalnya, kunyit dan temulawak mengandung kurkumin dan xanthorrhizol yang terbukti menurunkan peroksidasi lipid dan meningkatkan kapasitas antioksidan plasma (Jantan et al. 2012). Produk fermentasi seperti tempe juga menghasilkan isoflavon aglikon yang memiliki kapasitas redoks lebih tinggi dibanding bentuk glikosidanya (Liu et al. 2023).

#### **D. Strategi Pengembangan Pangan Fungsional Berbasis Pangan Tradisional**

Strategi pengembangan pangan fungsional berbasis pangan tradisional perlu dirancang secara holistik dengan mengintegrasikan aspek ilmiah, teknologi, sosial budaya, dan regulasi agar produk yang dihasilkan tidak hanya unggul secara fungsional, tetapi juga relevan dan dapat diterima oleh masyarakat. Langkah awal yang krusial adalah pemilihan pangan tradisional yang memiliki dasar empiris kuat, baik melalui sejarah konsumsi jangka panjang maupun indikasi manfaat kesehatan yang telah dikenal secara turun-temurun. Pendekatan ini memungkinkan proses pengembangan dimulai dari produk yang telah memiliki legitimasi budaya dan sosial, sehingga risiko penolakan konsumen dapat diminimalkan.

Strategi berikutnya adalah penguatan basis ilmiah melalui karakterisasi nutrisi, fitokimia, dan aktivitas biologis pangan tradisional secara sistematis. Data ilmiah yang

diperoleh menjadi landasan dalam merumuskan klaim fungsional yang rasional serta menentukan arah modifikasi proses atau formulasi. Pada tahap ini, teknologi pangan berperan penting untuk mengoptimalkan kandungan senyawa bioaktif, meningkatkan stabilitas dan bioavailabilitasnya, serta memastikan keamanan produk tanpa menghilangkan karakter sensoris khas yang menjadi identitas pangan tradisional. Pendekatan teknologi yang adaptif dan kontekstual, seperti pengendalian fermentasi, modifikasi tekstur, atau pengemasan fungsional, menjadi strategi kunci dalam menjembatani tradisi dan inovasi.

Selain aspek teknis, strategi pengembangan juga harus memperhatikan penerimaan konsumen dan keberlanjutan sosial ekonomi. Reformulasi produk sebaiknya mempertahankan cita rasa, aroma, dan bentuk penyajian yang familiar, sambil menyesuaikan dengan kebutuhan konsumen modern seperti kepraktisan, umur simpan, dan konsistensi mutu. Pelibatan pelaku usaha kecil, komunitas lokal, dan UMKM dalam rantai pengembangan dapat memperkuat keberlanjutan ekonomi sekaligus menjaga otentisitas produk. Pendekatan ini mendorong pangan fungsional berbasis tradisi tidak hanya sebagai produk kesehatan, tetapi juga sebagai instrumen pemberdayaan lokal.

Strategi terakhir yang tidak kalah penting adalah kesesuaian terhadap regulasi dan standar mutu pangan fungsional. Setiap inovasi perlu diselaraskan dengan ketentuan keamanan pangan, pelabelan, serta klaim

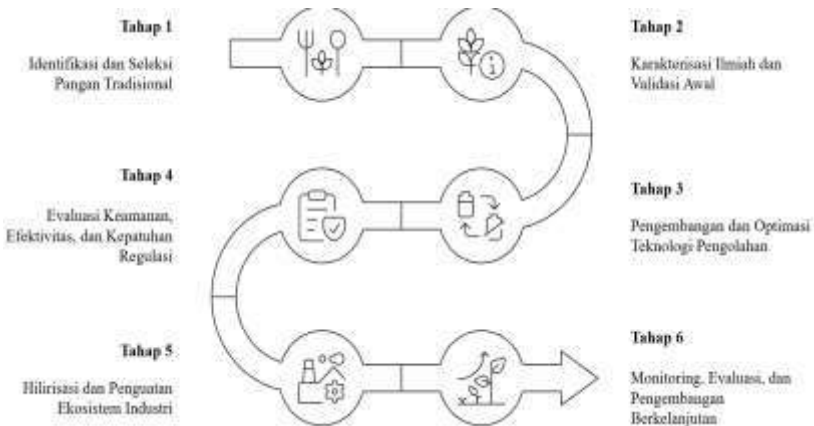
kesehatan yang berlaku, sehingga produk memiliki peluang lebih besar untuk masuk ke pasar yang lebih luas, termasuk industri dan perdagangan modern. Dengan strategi yang terintegrasi antara kearifan lokal, bukti ilmiah, teknologi pangan, dan regulasi, pengembangan pangan fungsional berbasis pangan tradisional dapat menjadi model inovasi yang berkelanjutan, berdaya saing, dan berakar kuat pada identitas budaya Nusantara.

### **E. Roadmap Pengembangan Pangan Fungsional Berbasis Pangan Tradisional**

*Roadmap* pengembangan pangan fungsional berbasis pangan tradisional disusun sebagai panduan strategis yang mengintegrasikan tahapan ilmiah, teknologi, sosial, dan regulatif secara berkelanjutan. *Roadmap* ini bertujuan memastikan bahwa proses pengembangan tidak hanya berorientasi pada inovasi produk, tetapi juga pada pelestarian nilai budaya, peningkatan kesehatan masyarakat, serta penguatan daya saing pangan lokal di tingkat nasional maupun global.

Tahap awal *roadmap* dimulai dari identifikasi dan seleksi pangan tradisional unggulan yang memiliki nilai historis kuat, tingkat konsumsi yang luas, serta indikasi manfaat kesehatan berdasarkan pengetahuan empiris masyarakat. Pada tahap ini, eksplorasi dilakukan terhadap bahan baku lokal, teknik pengolahan khas, dan konteks sosial budaya yang menyertainya. Pendekatan etnobotani dan etnogastronomi berperan penting untuk memetakan

potensi pangan tradisional sebagai kandidat pangan fungsional.



**Gambar 2. 3** *Roadmap* Pengembangan Pangan Fungsional Berbasis Pangan Tradisional

Tahap berikutnya adalah karakterisasi ilmiah dan validasi awal, yang mencakup analisis profil nutrisi, fitokimia, dan aktivitas biologis bahan maupun produk olahan. Pengujian *in vitro* dan *in vivo* awal dilakukan untuk mengidentifikasi potensi efek fisiologis yang relevan, seperti aktivitas antioksidan, antidiabetik, atau modulasi sistem pencernaan. Hasil tahap ini menjadi dasar dalam menentukan arah pengembangan teknologi dan peluang klaim fungsional yang realistis.

Tahap ketiga berfokus pada pengembangan dan optimasi teknologi pengolahan, dengan tujuan meningkatkan stabilitas, bioavailabilitas, keamanan, dan konsistensi mutu produk. Teknologi tradisional seperti fermentasi, pemasakan bertekanan, atau pengeringan



dikombinasikan dengan pendekatan teknologi pangan modern agar proses lebih terkontrol dan terstandar. Pada tahap ini juga dilakukan reformulasi produk untuk menyesuaikan dengan kebutuhan konsumen modern tanpa menghilangkan identitas sensoris dan budaya pangan tradisional.

Tahap keempat adalah evaluasi keamanan, efektivitas, dan kesesuaian regulasi, yang mencakup pengujian mikrobiologi, toksisitas, serta penilaian risiko konsumsi jangka panjang. Penyusunan klaim kesehatan dilakukan berdasarkan bukti ilmiah yang tersedia dan diselaraskan dengan regulasi pangan fungsional yang berlaku. Tahap ini menjadi kunci dalam memastikan bahwa produk aman, legal, dan siap memasuki pasar yang lebih luas.

Tahap selanjutnya adalah hilirisasi dan penguatan ekosistem industri, dengan melibatkan UMKM, industri pangan, akademisi, dan pemerintah. Pendampingan teknologi, peningkatan kapasitas produksi, serta pengembangan sistem mutu dan pemasaran menjadi fokus utama. Pendekatan berbasis kolaborasi ini memungkinkan pangan fungsional berbasis tradisi berkembang secara inklusif dan berkelanjutan.

Tahap akhir dalam *roadmap* adalah monitoring, evaluasi, dan pengembangan berkelanjutan, yang dilakukan melalui pemantauan mutu produk, penerimaan konsumen, serta dampak kesehatan dan sosial ekonomi. Umpan balik dari pasar dan penelitian lanjutan digunakan untuk memperbaiki formulasi, teknologi, maupun strategi

pengembangan. Dengan *roadmap* yang terstruktur dan adaptif, pengembangan pangan fungsional berbasis pangan tradisional dapat menjadi proses dinamis yang terus berkembang, berakar pada tradisi, dan bergerak maju melalui inovasi ilmiah.

## **F. Kesimpulan: Menghidupkan Kembali Tradisi melalui Inovasi Pangan Fungsional**

Pengembangan pangan fungsional berbasis pangan tradisional merupakan upaya strategis untuk menghidupkan kembali warisan kuliner Nusantara melalui integrasi kearifan lokal dengan pendekatan ilmiah dan teknologi pangan modern. Pangan tradisional tidak hanya mencerminkan identitas budaya dan sejarah, tetapi juga menyimpan potensi sifat fungsional yang bernilai bagi kesehatan, sehingga perlu dikaji secara sistematis mulai dari profil nutrisi dan fitokimia, stabilitas dan bioavailabilitas, hingga efek fisiologis dan keamanannya. Meskipun dihadapkan pada tantangan variabilitas bahan, keterbatasan data ilmiah, dan regulasi, strategi serta *roadmap* pengembangan yang terstruktur memungkinkan transformasi pangan tradisional menjadi produk fungsional yang aman, terstandar, dan berdaya saing. Dengan kolaborasi lintas sektor dan pendekatan berbasis sains yang tetap menghargai nilai budaya, inovasi pangan fungsional dapat menjadi sarana pelestarian tradisi sekaligus kontribusi nyata bagi kesehatan masyarakat dan keberlanjutan sistem pangan Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ambarsari, Imas, Marlia Singgih Wibowo, and Rahmana Emran Kartasasmita. 2021. "Identifikasi Mikroba Dan Analisis Kandungan Gizi Dari Bahan Pangan Tradisional Gatot Dan Modifikasinya." *Acta Pharmaceutica Indonesia* 46(1): 12–18. doi:10.5614/api.v46i1.13052.
- de Castro Cogle, Kevin, Mirian T. K. Kubo, Franck Merlier, Alexandra Josse, Maria Anastasiadi, Fady R. Mohareb, and Claire Rossi. 2024. "Probabilistic Modelling of the Food Matrix Effects on Curcuminoid's In Vitro Oral Bioaccessibility." *Foods* 13(14): 2234. doi:10.3390/foods13142234.
- Dini, Irene. 2018. "Spices and Herbs as Therapeutic Foods." In *Food Quality: Balancing Health and Disease*, Elsevier, 433–69. doi:10.1016/B978-0-12-811442-1.00014-6.
- Djalal, Muspirah, Jamyang Tashi Wangdi, Andi Dirpan, Februadi Bastian, Rindam Latief, Andi Fadiah Ainani, and Dewi Sisilia Yolanda. 2022. "Traditional Indonesian Food: A Bibliometric Review from 2013-2022." *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary Journal*: 172–82. doi:10.20956/canrea.v5i2.736.
- Essa, Musthafa Mohamed, Muhammed Bishir, Abid Bhat, Saravana Babu Chidambaram, Buthaina Al-Balushi, Hamdan Hamdan, Nagamaniammai Govindarajan, Robert P. Freidland, and M. Walid Qoronfleh. 2023. "Functional Foods and Their Impact on Health." *Journal*

*of Food Science and Technology* 60(3): 820–34.  
doi:10.1007/s13197-021-05193-3.

Gardjito, Murdijati., Eni. Harmayani, and Umar. Santoso. 2018. *Makanan Tradisional Indonesia. Seri 3, Makanan Tradisional Yang Populer : Menu Sepiring Lengkap Dan Makanan Berbasis Buah-Buahan.* Gadjah Mada University Press.

Ghorband, Anil S, and Suvidha P Kulkarni. 2024. “Thermal and Structural Influences on Stability of Bioactive Compounds in Freeze-Dried Fruits.” *Journal of Food and Biotechnology* 5(1): 25–29.  
doi:10.51470/FAB.2024.5.1.25.

Gokhale, Jyoti S., S. S. Lele, and Laxmi Ananthanarayan. 2021. “Indian Traditional Foods and Diets: Combining Traditional Wisdom with Modern Science of Nutraceuticals and Functional Foods.” In , 357–92.  
doi:10.1007/978-3-030-83017-5\_18.

González-Ferrero, Carolina, and María-José Sáiz-Abajo. 2015. “Characterization and Stability Studies of Bioactive Compounds and Food Matrices as Evidence in Support of Health Claims.” *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 66(sup1): S4–12.  
doi:10.3109/09637486.2015.1042843.

Isnain, Fuad Sauqi, Wiwin Apriyanditra, and Nur Afni. 2025. “Potensi Pangan Fungsional Tradisional Lombok: Tinjauan Literatur Gizi, Bioaktivitas, Dan Peluang Pengembangan.” *Jurnal Informasi, Sains dan Teknologi*

8(1): 195–234. doi:10.55606/isaintek.v8i1.338.

Jantan, Ibrahim, Fadlina Chany Saputri, Muhammad Naeem Qaisar, and Fhataheya Buang. 2012. “Correlation between Chemical Composition of Curcuma Domestica and Curcuma Xanthorrhiza and Their Antioxidant Effect on Human Low-Density Lipoprotein Oxidation.” *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2012: 1–10. doi:10.1155/2012/438356.

jatengprof.go.id. 2022. “Ini Bubur India Masjid Pekojan, Menu Ramadan Hampir 100 Tahun.” <https://jatengprov.go.id/beritaopd/ini-bubur-india-masjid-pekojan-menu-ramadan-hampir-100-tahun/>.

Lee, Min Hyeock, Hyeong Do Kim, and Yun Jae Jang. 2024. “Delivery Systems Designed to Enhance Stability and Suitability of Lipophilic Bioactive Compounds in Food Processing: A Review.” *Food Chemistry* 437: 137910. doi:10.1016/j.foodchem.2023.137910.

Li, Cheng, Tongtong Liu, Xiaoming Cui, Annette S. Uss, and K.-C. Cheng. 2007. “Development of In Vitro Pharmacokinetic Screens Using Caco-2, Human Hepatocyte, and Caco-2/Human Hepatocyte Hybrid Systems for the Prediction of Oral Bioavailability in Humans.” *SLAS Discovery* 12(8): 1084–91. doi:10.1177/1087057107308892.

Liu, Wei-Ting, Chia-Liang Huang, Ronghua Liu, Tso-Chi Yang, Chin-Lung Lee, Rong Tsao, and Wen-Ju Yang. 2023. “Changes in Isoflavone Profile, Antioxidant Activity, and

Phenolic Contents in Taiwanese and Canadian Soybeans during Tempeh Processing.” *LWT* 186: 115207. doi:10.1016/j.lwt.2023.115207.

Luo, Li-Yu, Miao-Xuan Fan, Hai-Yu Zhao, Ming-Xing Li, Xu Wu, and Wen-Yuan Gao. 2018. “Pharmacokinetics and Bioavailability of the Isoflavones Formononetin and Ononin and Their in Vitro Absorption in Ussing Chamber and Caco-2 Cell Models.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 66(11): 2917–24. doi:10.1021/acs.jafc.8b00035.

Marcus, Jacqueline B. 2013. “Vitamin and Mineral Basics: The ABCs of Healthy Foods and Beverages, Including Phytonutrients and Functional Foods.” In *Culinary Nutrition*, Elsevier, 279–331. doi:10.1016/B978-0-12-391882-6.00007-8.

Maziyah, Siti, Alamsyah Alamsyah, and Sutejo Kuwat Widodo. 2021. “Bubur India Di Masjid Jami’ Pekojan Semarang: Kuliner Sebagai Sarana Islamisasi.” *Anuva: Jurnal Kajian Budaya, Perpustakaan, dan Informasi* 5(2): 341–52. doi:10.14710/anuva.5.2.341-352.

McCarthy, Mark, and Paget Dineke Zeegers. 2013. “Public Health Innovation and Research in Europe: Introduction to the Supplement.” *The European Journal of Public Health* 23(suppl 2): 2–5. doi:10.1093/eurpub/ckt147.

Michel, Martin, Vincent Meunier, and Pavel Jelen. 2025. “Foods, 2. Food Technology.” In *Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley, 1–46.

doi:10.1002/14356007.a11\_523.pub2.

- El Monfalouti, Hanae, and Badr Eddine Kartah. 2024. "Enhancing Polyphenol Bioavailability through Nanotechnology: Current Trends and Challenges." doi:10.5772/intechopen.1005764.
- Moratilla-Rivera, Ignacio, Marta Sánchez, Jose Antonio Valdés-González, and María Pilar Gómez-Serranillos. 2023. "Natural Products as Modulators of Nrf2 Signaling Pathway in Neuroprotection." *International Journal of Molecular Sciences* 24(4): 3748. doi:10.3390/ijms24043748.
- Paucar, Dina Ruth Ccosi, Gladys Vilma Ccosi Paucar, Erwin William Ccosi Paucar, Hilda Zenaida Ccosi Paucar, and Cristian Gumeriendo Medina Sotelo. 2024. "Innovation and Technology in Health: Current Perspectives from Latin American Public Policies and the SDGs." *Journal of Lifestyle and SDGs Review* 5(1): e04090. doi:10.47172/2965-730X.SDGsReview.v5.n01.pe04090.
- Petrou, Athinoula L., Maria Roulia, and Konstantinos Tampouris. 2002. "The Use of the Arrhenius Equation in the Study of Deterioration and of Cooking of Foods; Some Scientific and Pedagogic Aspects." *Chem. Educ. Res. Pract.* 3(1): 87–97. doi:10.1039/B1RP90042K.
- Rafaqat, Shiraz, Hafiz Muhammad Junaid Saqib, Muhammad Hashaam Yasir, Muhammad Mudassir Rasheed, Fatima, Mah Noor Fatima, and Farheen Malik. 2025. "A

Comprehensive Review on the Sources, Stability, and Health Implications of Bioactive Compounds Present in Foods.” *Indus Journal of Bioscience Research* 3(8): 112–18. doi:10.70749/ijbr.v3i8.2007.

Rila Setyaningsih, Andre Noevi Rahmanto, and Widodo Muktiyo Pawito. 2024. “Food Communication to Strengthen Cultural Identity: A Case Study on Saparan Bekakak Traditions in Indonesia.” *EVOLUTIONARY STUDIES IN IMAGINATIVE CULTURE*: 871–84. doi:10.70082/esiculture.vi.977.

Rohit Saxena. 2023. “EXPLORING APPROACHES FOR INVESTIGATING PHYTOCHEMISTRY: METHODS AND TECHNIQUES.” *MEDALION JOURNAL: Medical Research, Nursing, Health and Midwife Participation* 4(2): 65–73. doi:10.59733/medalion.v4i2.76.

Seçmeler, Özge, and Özlem Güçlü Üstündağ. 2019. “Partitioning of Predominant Lipophilic Bioactives (Squalene, A-tocopherol and B-sitosterol) during Olive Oil Processing.” *International Journal of Food Science & Technology* 54(5): 1609–16. doi:10.1111/ijfs.14029.

Shahidi, Feriedoon, and Md. Jiaur Rahman. 2018. “Bioactives in Seaweeds, Algae, and Fungi and Their Role in Health Promotion.” *Journal of Food Bioactives*: 58–81. doi:10.31665/JFB.2018.2141.

Shaikh, Saijuddin. 2022. “Sources and Health Benefits of Functional Food Components.” In *Current Topics in Functional Food*, IntechOpen.



doi:10.5772/intechopen.104091.

Sharma, Deepa, and Mohd Yusuf. 2025. "Phytochemical Analysis of *Gymnema Sylvestre* and *Vigna Unguiculata*." *Journal of Engineering, Science and Sustainability* 1(1): 1–7. doi:10.55559/jess.v1i1.446.

Sharma, Rohit, Bhawna Diwan, Brij Pal Singh, and Saurabh Kulshrestha. 2022. "Probiotic Fermentation of Polyphenols: Potential Sources of Novel Functional Foods." *Food Production, Processing and Nutrition* 4(1): 21. doi:10.1186/s43014-022-00101-4.

Shemishere, U.B., J.E. Taiwo, N. Erhunse, and E.S. Omoregie. 2018. "Comparative Study on the Proximate Analysis and Nutritional Composition of <I>Musanga Cercropioides</I> and <I>Maesobotyra Barteri</I> Leaves." *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* 22(2): 287. doi:10.4314/jasem.v22i2.22.

Song, Xunyu, Esra Capanoglu, Jesus Simal-Gandara, Fang Chen, and Jianbo Xiao. 2022. "Different Food Processing Technologies: A General Background." In , 37–89. doi:10.1007/978-3-030-96885-4\_2.

Starzyńska-Janiszewska, A, B Stodolak, R Duliński, and B Mickowska. 2012. "The Influence of Inoculum Composition on Selected Bioactive and Nutritional Parameters of Grass Pea Tempeh Obtained by Mixed-Culture Fermentation with *Rhizopus Oligosporus* and *Aspergillus Oryzae* Strains." *Food Science and*

*Technology International* 18(2): 113–22.  
doi:10.1177/1082013211414771.

suaramerdeka.com. 2020. “Sambel Tumpang, Tersaji Berbeda Di Dua Daerah.” <https://www.suaramerdeka.com/kuliner/pr-04126988/sambel-tumpang-tersaji-berbeda-di-dua-daerah>.

Xing, Lujuan, Zixu Wang, Yuejing Hao, and Wangang Zhang. 2022. “Marine Products As a Promising Resource of Bioactive Peptides: Update of Extraction Strategies and Their Physiological Regulatory Effects.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 70(10): 3081–95. doi:10.1021/acs.jafc.1c07868.

Xu, Baojun, Kumar Ganesan, Suresh Mickymaray, Faiz Abdulaziz Alfaiz3, Rajarajan Thatchinamoorthi, and Mohammed Saleh Al Aboody. 2020. “Immunomodulatory and Antineoplastic Efficacy of Common Spices and Their Connection with Phenolic Antioxidants.” *Bioactive Compounds in Health and Disease* 3(2): 15. doi:10.31989/bchd.v3i2.687.

Zengin, Gokhan, Milena Terzić, Nurgul Abul, Ilhami Gulcin, Ismail Koyuncu, Mustafa Kemal Basarali, Tatjana Đorđević, et al. 2024. “A Multidimensional Study for Design Functional Foods: Chemical Profiling, Antioxidant Potential, Enzyme Inhibition, and Cytotoxic Effects of *Alkanna Tubulosa* Extracts.” *Food Bioscience* 60: 104280. doi:10.1016/j.fbio.2024.104280.

Zhang, Feng, Fang He, Li Li, Lichun Guo, Bin Zhang, Shuhuai Yu, and Wei Zhao. 2020. "Bioavailability Based on the Gut Microbiota: A New Perspective." *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 84(2). doi:10.1128/MMBR.00072-19.

# BAB 3

## SENYAWA BIOAKTIF DALAM PANGAN FUNGSIONAL

Oleh: Dr. Nurul Hidayah, S.Si.

### A. Pendahuluan

Terdapat berbagai definisi mengenai istilah “pangan fungsional” di berbagai negara. Di Jepang, *functional foods* dikenal sebagai *Foods for Specified Health Use (FOSHU)*. Pangan tersebut diakui karena kemampuannya memengaruhi struktur dan/atau fungsi tubuh manusia melalui pengelolaan masalah kesehatan tertentu (Ohama, Ikeda and Moriyama, 2006). Asosiasi Diet Amerika mendefinisikan *functional foods* sebagai pangan yang utuh, difortifikasi, diperkaya, atau dimodifikasi yang memberikan manfaat kesehatan tambahan melampaui fungsi nutrisi dasar ketika dikonsumsi secara teratur pada tingkat yang efektif (*American Dietetic Association*, 1999). Tiongkok mendefinisikan pangan fungsional sebagai jenis pangan yang sesuai dikonsumsi oleh kelompok individu tertentu dan memiliki manfaat kesehatan spesifik dalam mengatur fungsi tubuh, namun tidak dimaksudkan untuk penggunaan terapeutik (*Ministry of Health*, 1996). Di Eropa, pangan fungsional didefinisikan sebagai jenis pangan yang tidak hanya menyediakan nutrisi dasar, tetapi juga memberikan

dampak positif terhadap fungsi tubuh tertentu. Pangan ini berperan dalam meningkatkan kesehatan serta mengurangi risiko penyakit. Pangan fungsional dikonsumsi sebagai bagian dari diet harian, bukan dalam bentuk pil, kapsul, atau suplemen makanan (*European Commission*, 2010).

Pangan fungsional merupakan senyawa dalam makanan yang memberikan manfaat kesehatan melampaui fungsi nutrisi dasar karena kandungan senyawa bioaktif penting, seperti polifenol, karotenoid, asam lemak omega-3, alkaloid, isotiosianat, stanol nabati, sterol, flavonoid, poliol, protein kedelai, asam lemak, prebiotik, probiotik, fitoestrogen, serta berbagai mineral dan vitamin (Topolska, Florkiewicz and Filipiak-Florkiewicz, 2021; Shaikh, 2022). Senyawa bioaktif merupakan komponen non-nutrien bernilai tinggi yang memberikan efek fisiologis, yang umumnya bersifat protektif dan menguntungkan bagi kesehatan manusia. Komponen tersebut mencakup berbagai fitokimia, metabolit volatil, serta mikronutrien dan senyawa yang dihasilkan oleh mikroba (Generalić Mekinić and Šimat, 2025). Bukti epidemiologis menunjukkan bahwa pola makan yang kaya senyawa bioaktif, seperti diet Mediterania, berhubungan dengan rendahnya insiden penyakit kardiovaskular, metabolik, dan neurodegeneratif, serta kanker (Lisboa et al., 2024).

## **B. Senyawa Bioaktif**

Senyawa bioaktif pangan mencakup berbagai jenis senyawa yang sebagian besar diproduksi oleh tumbuhan sebagai

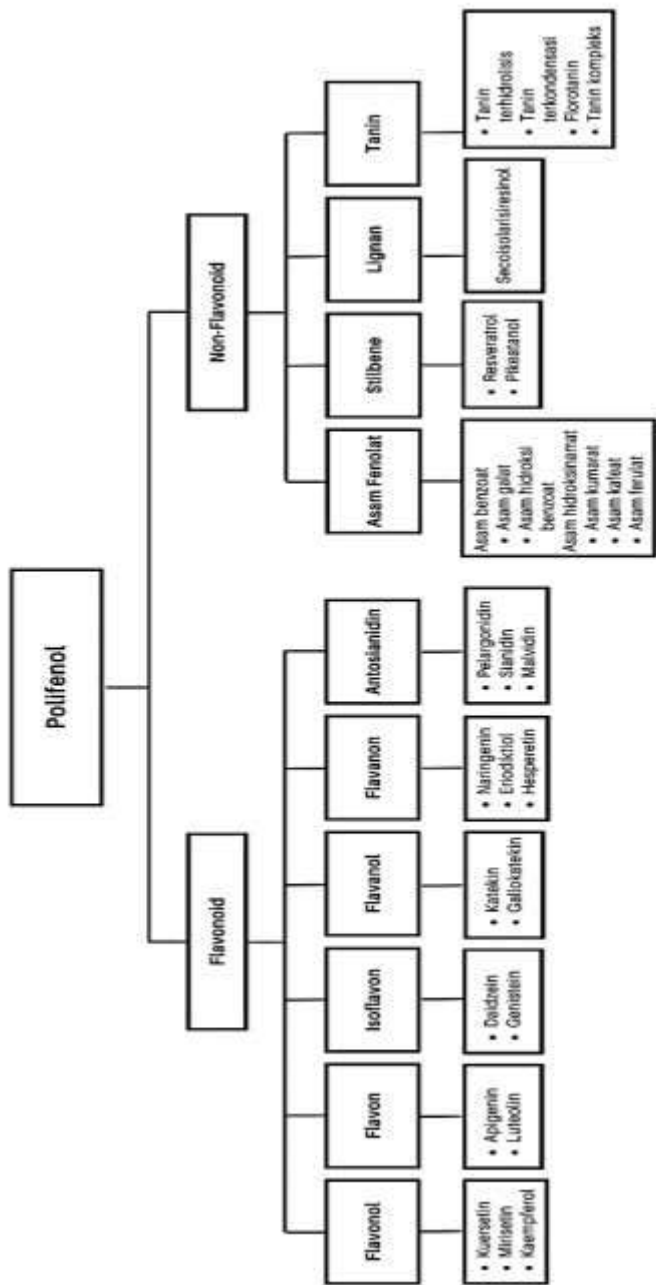
metabolit sekunder dan berperan dalam berbagai fungsi biologis, seperti kompetisi, pertahanan, daya tarik, dan pensinyalan (Bernhoft, 2010; Plumb et al., 2017). Sumber molekul bioaktif yang banyak diketahui meliputi buah-buahan, sayuran, biji-bijian, polong-polongan, rempah-rempah, dan makanan fermentasi, yang kaya akan flavonoid, asam fenolat, karotenoid, glukosinolat, alkaloid, vitamin, dan probiotik (Câmara et al., 2021). Senyawa organik volatil dalam pangan umumnya dikaitkan dengan aroma dan cita rasa, namun banyak di antaranya juga memiliki aktivitas bioaktif. Minyak esensial dan komponen pembentuk cita rasa dari rempah-rempah, buah-buahan, serta tumbuhan lainnya mengandung terpen, aldehida, dan senyawa fenolik yang menunjukkan sifat antioksidan, anti-inflamasi, dan antimikroba (Dahiya et al., 2023). Nutrien konvensional seperti vitamin, mineral, dan peptida juga dapat dikategorikan sebagai senyawa bioaktif apabila menjalankan fungsi regulatori atau memberikan perlindungan di luar perannya sebagai sumber nutrisi dasar. Selain itu, mikroorganisme menguntungkan yang digunakan dalam fermentasi pangan terutama bakteri asam laktat (BAL) serta strain tertentu dari *Bacillus* atau ragi menghasilkan berbagai metabolit dengan sifat bioaktif (Abdul Hakim, Xuan and Oslan, 2023). Pada seluruh kategori tersebut, senyawa bioaktif sering kali memiliki peran fungsional dalam sistem pangan selain aktivitas biologisnya. Banyak fitokimia berperan sebagai pigmen, seperti antosianin dan karotenoid, yang memberikan warna menarik, atau sebagai antioksidan yang mampu menunda

oksidasi dan pembusukan lipid, sehingga berkontribusi terhadap pengawetan alami pangan. Senyawa volatil berperan dalam pembentukan aroma produk, namun juga dapat menghambat pertumbuhan mikroba. Sementara itu, asam organik yang dihasilkan selama proses fermentasi menurunkan pH produk, berfungsi sebagai agen pengawet sekaligus penambah cita rasa. Secara keseluruhan, senyawa-senyawa ini berpotensi meningkatkan umur simpan, keamanan, dan kualitas sensorik pangan, sekaligus memberikan manfaat kesehatan.

## **C. Klasifikasi Senyawa Bioaktif**

### **1. Polifenol**

Polifenol adalah salah satu senyawa bioaktif yang paling umum dalam tumbuhan, yang penting bagi tubuh manusia karena aktivitas antioksidan, anti-inflamasi, dan antimikrobanya yang berdampak. Senyawa polifenol ditemukan dalam berbagai sumber makanan, termasuk buah-buahan, sayuran serta biji-bijian utuh (Arshad et al., 2025). Polifenol diklasifikasikan dalam dua kelompok utama, yaitu flavonoid dan non-flavonoid. Senyawa yang tergolong ke dalam kelompok flavonoid meliputi flavanol, flavon, isoflavon, flavonol, flavanon, dan antosianidin. Adapun senyawa yang termasuk dalam kelompok nonflavonoid meliputi asam fenolat, lignan, dan stilbene. Klasifikasi polifenol ditampilkan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3. 1** Klasifikasi polifenol  
(Cámara et al., 2021)



**Tabel 3. 1** Kandungan polifenol dalam berbagai makanan

| Kategori / Jenis Makanan                               | Total Polifenol |
|--------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Serealia (mg/100 g bk*)</b>                         |                 |
| Jelai (Barley)                                         | 1200–1500       |
| Jagung                                                 | 30,9            |
| Millet                                                 | 590–1060        |
| Oat                                                    | 8,7             |
| Beras                                                  | 8,6             |
| Sorgum                                                 | 170–10260       |
| Gandum                                                 | 22–40           |
| <b>Kacang-kacangan (<i>Legumes</i>) (mg/100 g bk*)</b> |                 |
| Kacang tunggak hitam ( <i>Black gram</i> )             | 540–1200        |
| Kacang Arab ( <i>Chickpeas</i> )                       | 78–230          |
| Tunggak ( <i>Cowpeas</i> )                             | 175–590         |
| Kacang polong ( <i>Common beans</i> )                  | 34–280          |
| Kacang hijau                                           | 440–800         |
| Kacang gude ( <i>Pigeon peas</i> )                     | 380–1710        |
| <b>Kacang Pohon (<i>Nuts</i>) (% bk*)</b>              |                 |
| Pinang ( <i>Betel nuts</i> )                           | 26–33           |
| Kacang mete                                            | 33,7            |
| Kacang tanah                                           | 0,04            |
| Kacang pekan                                           | 8–14            |
| <b>Sayuran (mg/100 g bf*)</b>                          |                 |
| Kubis Brussel                                          | 6–15            |
| Kubis                                                  | 25              |
| Daun bawang ( <i>Leek</i> )                            | 20–40           |
| Bawang bombay                                          | 100–2025        |
| Peterseli ( <i>Parsley</i> )                           | 55–180          |
| Seledri                                                | 94              |

| Buah-buahan (mg/100 g bf*)          |          |
|-------------------------------------|----------|
| Apel                                | 27–298   |
| Aprikot                             | 30–43    |
| Blackcurrant                        | 140–1200 |
| Blueberry                           | 135–280  |
| Ceri                                | 60–90    |
| Cowberry                            | 128      |
| Cranberry                           | 77–247   |
| Gooseberry                          | 22–75    |
| Anggur                              | 50–490   |
| Jeruk                               | 50–100   |
| Persik (Peach)                      | 10–150   |
| Pir                                 | 2–25     |
| Prem (Plum)                         | 4–225    |
| Rasberi                             | 37–429   |
| Kismis merah ( <i>Red currant</i> ) | 17–20    |
| Stroberi                            | 38–218   |
| Tomat                               | 85–130   |
| Minuman                             |          |
| Daun teh (Hijau) (% bk*)            | 20–35    |
| Daun teh (Hitam) (% bk*)            | 22–33    |
| Biji kopi (% bk*)                   | 0,2–10   |
| Biji kakao (% bk*)                  | 12–18    |

(Sumber: Bravo, 1998)

Keterangan: \*bk: berat kering, \*bf: berat segar

Senyawa polifenol secara luas diakui sebagai salah satu kelas senyawa bioaktif yang paling melimpah di alam dan memiliki beragam fungsi biologis penting. Senyawa ini tersusun atas satu atau lebih cincin aromatik yang disertai

dengan satu atau lebih gugus hidroksil dalam strukturnya, yang berperan dalam aktivitas antioksidan (Ignat, Volf and Popa, 2011). Sifat antioksidan senyawa fenolik terutama disebabkan oleh kemampuannya dalam menetralkan radikal bebas melalui mekanisme donasi atom hidrogen atau elektron, serta kemampuannya mengkelat kation logam transisi (Afanas'ev et al., 1989). Berdasarkan kajian yang dilaporkan oleh Balasundram, Sundram dan Samman (2006), kandungan fenolik total tertinggi pada buah ditemukan pada *cranberry*, yaitu sebesar 507,0 GAE/100 g buah segar (Sun et al., 2002), sedangkan pada kelompok sayuran, kandungan fenolik total tertinggi dilaporkan pada brokoli sebesar 101,6 GAE/100 g sayuran segar (Chu et al., 2002).

Berbagai penelitian telah membuktikan bahwa senyawa polifenol memiliki sifat protektif terhadap beragam penyakit, antara lain kanker, penyakit kardiovaskular, gangguan neurologis, dan penyakit hati (Schroeter et al., 2010; Liu et al., 2018; El-Saadony et al., 2024). Selain itu, regulasi mikrobiota usus yang dimediasi oleh polifenol dilaporkan memberikan manfaat bagi kesehatan saluran pencernaan, serta menunjukkan efek menguntungkan lainnya, termasuk aktivitas antikanker dan antiinflamasi (Mithul Aravind et al., 2021). Oleh karena itu, polifenol secara luas dimanfaatkan sebagai komponen dalam pangan fungsional, yang dirancang untuk memberikan manfaat kesehatan tambahan melalui konsumsi sehari-hari.

## 2. Karotenoid

Karotenoid adalah pigmen kuning-oranye yang bersifat lipofilik, dikenal karena signifikansi gandanya dalam kesehatan manusia. Mereka dapat berperan sebagai karotenoid provitamin A maupun vitamin A yang sudah terbentuk, memainkan peran penting dalam nutrisi manusia dan pencegahan penyakit. Karotenoid provitamin A ditemukan dalam sumber nabati seperti buah-buahan dan sayuran seperti wortel, tomat, paprika, dan sayuran hijau. Mereka berkontribusi pada fungsi fisiologis penting termasuk penglihatan, respons kekebalan, dan pertumbuhan sel (Huang et al., 2022). Sebaliknya, vitamin A yang sudah terbentuk ditemukan dalam makanan dari sumber hewani, termasuk produk susu, telur, ikan, dan jeroan. Mereka berkontribusi pada potensi sifat farmakologis, khususnya aktivitas antioksidan, anti-inflamasi, dan antikanker, meskipun efek ini masih dalam penyelidikan dan belum sepenuhnya ditetapkan untuk uji klinis (NIH, 2025).

Karotenoid dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama berdasarkan karakteristik kimia dan nutrisinya: karoten dan xantofil. Karoten dicirikan oleh adanya atom karbon dan hidrogen dalam struktur kimianya dan meliputi  $\beta$ -karoten,  $\alpha$ -karoten,  $\gamma$ -karoten,  $\delta$ -karoten, likopen, neurosporen, dan torulen, yang dikenal karena kandungan provitaminnya. Sementara itu, kategori xantofil terutama terdiri dari astaxanthin, zeaxanthin, lutein, torularhodin, canthaxanthin, dan violaxanthin (Mussagy et

*al.*, 2019). Karotenoid menjalankan fungsi protektif melalui beberapa mekanisme yang mencakup netralisasi radikal bebas, modulasi ekspresi gen, serta regulasi jalur inflamasi, yang secara kolektif efektif dalam memitigasi penyakit kronis seperti kanker, penyakit kardiovaskular, dan degenerasi makula. Dalam konteks medis, pemanfaatan senyawa spesifik seperti  $\beta$ -karoten dan astaxanthin menunjukkan efikasi signifikan pada penyembuhan luka dengan mengontrol stres oksidatif, sementara lutein dan zeaxanthin terbukti krusial dalam mendukung kesehatan metabolik melalui peningkatan sensitivitas insulin dan regulasi metabolisme glukosa (Beconcini et al., 2020).

### **3. Asam lemak**

Asam lemak merupakan komponen penyusun lipid yang diklasifikasikan berdasarkan jumlah ikatan gandanya menjadi asam lemak jenuh, tak jenuh tunggal, dan tak jenuh ganda (PUFA). Karena tubuh manusia tidak dapat mensintesis ikatan ganda pada posisi karbon 6 atau lebih rendah, PUFA omega-3 dan omega-6 dikategorikan sebagai asam lemak esensial yang wajib diperoleh dari asupan makanan untuk menunjang kesehatan. Senyawa bioaktif dalam kelompok ini menawarkan spektrum manfaat biologis yang luas sebagai berikut:

- a. Omega-3: Asam alfa-linolenat (ALA) berfungsi sebagai prekursor EPA dan DHA, serta berperan dalam menurunkan kolesterol, tekanan darah, kadar trigliserida, dan menghambat pertumbuhan kanker tertentu. Asam stearidonat (STA) memiliki sifat anti-

inflamasi yang bermanfaat dalam pengobatan fibrosis kistik. Sementara itu, asupan EPA dan DHA terbukti efektif dalam mencegah hipertensi, gangguan autoimun, serta menurunkan risiko penyakit jantung koroner melalui penekanan sintesis trigliserida di hati. Khusus untuk DHA, kadar yang memadai sangat penting untuk fungsi kognitif dan kesehatan mental karena hubungannya dengan kadar serotonin otak (Ruiz-Rodriguez, Reglero and Ibañez, 2010).

- b. Omega-6: Asam linoleat (LA) populer dalam industri kosmetik karena sifat anti-inflamasi dan kemampuannya menjaga kelembapan kulit, serta efektif menurunkan kolesterol serum. Asam gamma-linolenat (GLA) dilaporkan memiliki aktivitas anti-kanker dan anti-inflamasi. Asam arakidonat (AA) sangat krusial bagi pertumbuhan bayi, perkembangan otak janin, serta peningkatan fungsi kognitif pada pasien amnesia atau lansia.
- c. Asam Lemak Rantai Panjang Lainnya: Asam linoleat terkonjugasi (CLA) memiliki potensi terapeutik sebagai agen anti-kanker, anti-diabetes, dan pengurang lemak tubuh meskipun termasuk dalam kategori lemak trans. Selain itu, asam pinolenat berkontribusi pada penurunan lipid darah, peningkatan kolesterol baik (HDL), dan penurunan tekanan darah (Akonjue, Onuh and Aryee, 2023).

ALA banyak ditemukan pada biji-bijian seperti biji rami, biji chia, kenari, dan kedelai, berfungsi sebagai

prekursor EPA dan DHA untuk perlindungan kardiovaskular dan efek antiinflamasi (Rajaram, 2014). Sementara itu, EPA dan DHA yang bersumber dari ikan berlemak (salmon, makarel, sarden) dan minyak alga. EPA berperan dalam menurunkan kadar trigliserida, mengurangi risiko hipertensi dan aterosklerosis (Rajaram, 2014). Sementara DHA, mempunyai manfaat kesehatan untuk melindungi terhadap gangguan neurodegeneratif (misalnya, Alzheimer), meningkatkan daya ingat dan pembelajaran (Ahmad et al., 2024).

#### **4. Alkaloid dan terpenoid**

Alkaloid dan terpenoid adalah dua kelas senyawa bioaktif penting yang ditemukan pada tumbuhan, masing-masing dengan sifat farmakologis yang beragam. Alkaloid adalah metabolit sekunder yang mengandung nitrogen yang menunjukkan aktivitas antimikroba, analgesik, neuroprotektif, dan antiinflamasi. Senyawa-senyawa ini banyak terdapat dalam berbagai tanaman obat, serta dalam minuman yang dikonsumsi secara luas seperti teh, kopi, dan kakao (Heinrich, Mah and Amirkia, 2021). Contoh umum alkaloid yang ditemukan dalam makanan manusia meliputi kafein dari biji kopi, teobromin dan kafein dari biji kakao, teofilin dan kafein dari daun teh, tomatin dari tomat, dan solanin dari kentang.

Alkaloid terkenal termasuk kafein, teobromin, dan morfin, yang masing-masing memberikan efek fisiologis yang berbeda. Misalnya, kafein bertindak sebagai stimulan sistem saraf pusat, meningkatkan kewaspadaan dan fungsi

kognitif, sementara morfin adalah analgesik kuat yang digunakan dalam manajemen nyeri (Evans, Richards and Battisti, 2025). Senyawa alkaloid morfina, striknina, kina, efedrin, kolkisin, dan nikotin sangat berguna dalam pengaturan klinis. Namun, penggunaan senyawa ini harus dilakukan dengan hati-hati karena potensi penyalahgunaannya, terutama pada morfin, kokain, kafein, dan nikotin. Selain manfaatnya, alkaloid juga dapat menimbulkan efek toksik yang signifikan, seperti kontaminasi alkaloid ergot yang memicu stimulasi otot polos dan blokade alfa-adrenergik. Konsumsi biji lupin yang tidak diolah dengan benar dapat menyebabkan keracunan alkaloid quinolizidine dengan gejala penglihatan kabur, mulut kering, hingga kebingungan, sementara kelompok alkaloid pirolizidin diketahui memiliki sifat hepatotoksik (merusak hati) dan karsinogenik (Akinboye et al., 2023).

Terpenoid, juga dikenal sebagai isoprenoid, merupakan kelas senyawa alami yang berasal dari tumbuhan terbesar dengan aplikasi medis dan nutrisi yang luas. Senyawa lipofilik ini berkontribusi pada aroma, rasa, dan pigmentasi banyak tumbuhan dan umumnya ditemukan dalam minyak esensial, buah jeruk, dan rempah-rempah seperti rosemary dan mint (Ludwiczuk, Skalicka-Woźniak and Georgiev, 2017). Terpenoid memiliki sifat antioksidan, anti-inflamasi, antimikroba, dan antikanker, menjadikannya berharga dalam industri farmasi dan nutrasetikal (Siddiqui et al., 2024). Senyawa seperti limonene, yang ditemukan dalam kulit jeruk, telah diteliti karena potensi perannya dalam pencegahan kanker, sementara kurkumin, terpenoid



bioaktif dari kunyit, menunjukkan efek anti-inflamasi dan neuroprotektif yang kuat (Koolaji et al., 2020).

Terpenoid merupakan konstituen bioaktif alami yang kini semakin diakui potensinya dalam meredakan alergi makanan, sebuah kondisi yang memengaruhi sekitar 2,5% populasi global dengan prevalensi yang terus meningkat (Goto et al., 2010). Di antara berbagai jenis yang berasal dari tumbuhan, jamur, dan sumber laut, golongan triterpenoid, seperti asam oleanolat, asam ursolat, dan lupeol menunjukkan proporsi dan bioaktivitas tertinggi dalam mengatasi gangguan alergi tersebut. Mekanisme kerja terpenoid dalam meredakan penyakit alergi mencakup fungsi protektif pada sawar mukosa epitel, efek imunomodulatorik pada fase sensitisasi, serta penghambatan sel efektor dan stres oksidatif. Selain itu, senyawa ini berperan dalam regulasi homeostasis mikroba, yang menjadikannya landasan menjanjikan bagi pengembangan makanan fungsional dan strategi terapi baru di industri makanan (Hu et al., 2024).

## **5. Probiotik dan prebiotik**

Istilah bakteri probiotik pertama kali diperkenalkan oleh peraih Nobel asal Rusia, Élie Metchnikoff, yang mengemukakan teori bahwa kesehatan dapat ditingkatkan dan usia dapat diperpanjang melalui manipulasi komposisi mikrobioma usus dengan bakteri bermanfaat. Metchnikoff meyakini bahwa konsumsi probiotik setiap hari, seperti melalui susu asam, mampu mengurangi efek buruk autotoksin yang dihasilkan oleh organisme usus berbahaya

akibat pola makan Barat. Menurut definisi resmi dari FAO/WHO, probiotik adalah mikroorganisme hidup yang memberikan manfaat kesehatan bagi inangnya jika diberikan dalam jumlah yang cukup (FAO/WHO Joint Expert Consultation Report, 2001). Kelompok mikroorganisme ini utamanya terdiri dari *Lactobacillus* dan *Bifidobacterium*, namun jenis lain seperti *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Propionibacterium*, hingga ragi *Saccharomyces* juga memiliki peran penting (Azad et al., 2018).

Saat ini, bakteri probiotik telah diaplikasikan secara luas dalam pembuatan berbagai makanan fungsional, mulai dari produk susu seperti yogurt, keju, dan es krim, hingga produk non-susu seperti sereal, jus buah, dan produk daging. Untuk mendapatkan manfaat kesehatan yang nyata, seseorang membutuhkan asupan sel probiotik layak sekitar  $10^8$ – $10^9$  unit pembentuk koloni (CFU) setiap harinya, tergantung pada jenis bakteri dan kondisi fisiologis tubuh. Bakteri probiotik memiliki kemampuan untuk menghasilkan berbagai macam metabolit yang bermanfaat bagi kesehatan manusia. Senyawa bioaktif yang dihasilkan oleh bakteri probiotik antara lain, misalnya, bakteriosin, enzim metabolik, asam amino dan peptida, asam lemak rantai pendek, vitamin, antioksidan, agen anti-inflamasi dan imunomodulasi, serta eksopolisakarida. Secara kolektif, molekul-molekul ini meningkatkan fungsi fisiologis usus dan meningkatkan kesehatan (Chugh and Kamal-Eldin, 2020).

Pangan fungsional memiliki kemampuan untuk memodulasi mikrobioma usus dengan cara mendorong

pertumbuhan mikroba bermanfaat secara selektif, yang pada gilirannya memengaruhi homeostasis metabolik tubuh.

**Tabel 3. 2** Probiotik, prebiotic, sinbiotik, sumber makanan utama, dan manfaat kesehatan

| Kategori  | Mikroorganisme                                                                       | Sumber Makanan Utama                                                           | Manfaat Kesehatan                                                                                                                      |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Probiotik | <i>Lactobacillus</i> ,<br><i>Bifidobacterium</i> ,<br><i>Saccharomyces boulardii</i> | Yogurt, kefir, sauerkraut, kimchi, miso, kombucha                              | Meningkatkan pencernaan, meningkatkan respons imun, mengurangi risiko IBS dan IBD, memulihkan flora usus setelah penggunaan antibiotik |
| Prebiotik | Inulin, fruktoligosakarida (FOS), galaktoligosakarida (GOS), pati resisten           | Bawang putih, bawang bombay, pisang, biji-bijian utuh, asparagus, akar chicory | Mendorong pertumbuhan probiotik, meningkatkan keragaman mikrobiota usus, mendukung kesehatan pencernaan, mengurangi peradangan         |
| Sinbiotik | Strain probiotik + Serat prebiotik                                                   | Susu fermentasi dengan tambahan                                                | Meningkatkan komposisi mikrobiota, meningkatkan                                                                                        |

|  |                                                 |                                                                              |
|--|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
|  | prebiotik, makanan fungsional, suplemen makanan | penyerapan nutrisi, peran potensial kesehatan mental melalui poros usus-otak |
|--|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|

(Sumber: Arshad et al., 2025)

Nutrisi dalam pangan fungsional ini sangat krusial dalam mencegah ketidakseimbangan mikrobioma usus karena mampu menghambat mikroba patogen serta meningkatkan proliferasi metabolit mikroba bioaktif (Sionek and Szydlowska, 2025). Komponen prebiotik, seperti pati resisten, fruktan, dan galaktooligosakarida, berfungsi sebagai substrat bagi bakteri usus yang menguntungkan, khususnya *Lactobacillus* dan *Bifidobacterium* (Sharifi-Rad et al., 2020). Melalui proses metabolisme, bakteri-bakteri tersebut menghasilkan asam lemak rantai pendek (SCFA), seperti butirat, asetat, dan propionat, yang berperan penting dalam menjaga kesehatan penghalang usus (Abdul Hakim, Xuan and Oslan, 2023). Selain itu, fermentasi serat makanan oleh mikrobiota ini dapat menurunkan stres oksidatif dan peradangan dengan cara memperkuat sawar usus serta meningkatkan integritas sambungan ketat pada dinding usus (Zhang et al., 2025).

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Hakim, B.N., Xuan, N.J. and Oslan, S.N.H. (2023) 'A Comprehensive Review of Bioactive Compounds from Lactic Acid Bacteria: Potential Functions as Functional Food in Dietetics and the Food Industry', *Foods*, 12(15). Available at: <https://doi.org/10.3390/foods12152850>.
- Afanas'ev, I.B. *et al.* (1989) 'Chelating and free radical scavenging mechanisms of inhibitory action of rutin and quercetin in lipid peroxidation.', *Biochemical pharmacology*, 38(11), pp. 1763–1769. Available at: [https://doi.org/10.1016/0006-2952\(89\)90410-3](https://doi.org/10.1016/0006-2952(89)90410-3).
- Ahmad, S. *et al.* (2024) 'Incredible Use of Omega-3 Fatty Acids: A Review on Current Use and Future Prospective', *Journal of Young Pharmacists*, 16(2), pp. 177–186. Available at: <https://doi.org/10.5530/jyp.2024.16.24>.
- Akinboye, A.J. *et al.* (2023) 'Alkaloids in food: a review of toxicity, analytical methods, occurrence and risk assessments', *Food Science and Biotechnology*, 32(9), pp. 1133–1158. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01295-0>.
- Akonjuen, B.M., Onuh, J.O. and Aryee, A.N.A. (2023) 'Bioactive fatty acids from non-conventional lipid sources and their potential application in functional food development', *Food Science & Nutrition*, 11(10),

- pp. 5689–5700. Available at:  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fsn3.3521>.
- American Dietetic Association (1999) 'Position of the American Dietetic Association: Functional Foods', *Journal of the American Dietetic Association*, 99(10), pp. 1278–1285. Available at:  
[https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(99\)00314-4](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(99)00314-4).
- Arshad, Z. *et al.* (2025) 'Functional Foods Enriched With Bioactive Compounds: Therapeutic Potential and Technological Innovations', *Food Science and Nutrition*, 13(10). Available at:  
<https://doi.org/10.1002/fsn3.71024>.
- Azad, M.A.K. *et al.* (2018) 'Probiotic Species in the Modulation of Gut Microbiota: An Overview.', *BioMed research international*, 2018, p. 9478630. Available at: <https://doi.org/10.1155/2018/9478630>.
- Balasundram, N., Sundram, K. and Samman, S. (2006) 'Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses', *Food Chemistry*, 99, pp. 191–203. Available at:  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>.
- Beconcini, D. *et al.* (2020) 'Antioxidant and anti-inflammatory properties of cherry extract: Nanosystems-based strategies to improve endothelial function and intestinal absorption', *Foods*, 9(2). Available at:

<https://doi.org/10.3390/foods9020207>.

- Bernhoft, A. (2010) 'A brief review on bioactive compounds in plants', *Bioact. Compd. Plants-Benefits Risks Man Anim*, 50, pp. 11–17.
- Bravo, L. (1998) 'Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance', *Nutrition Reviews*, 56(11), pp. 317–333. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1998.tb01670.x>.
- Câmara, J.S. *et al.* (2021) 'Food bioactive compounds and emerging techniques for their extraction: Polyphenols as a case study', *Foods*, 10(1). Available at: <https://doi.org/10.3390/foods10010037>.
- Chu, Y.-F. *et al.* (2002) 'Antioxidant and Antiproliferative Activities of Common Vegetables', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(23), pp. 6910–6916. Available at: <https://doi.org/10.1021/jf020665f>.
- Chugh, B. and Kamal-Eldin, A. (2020) *Bioactive compounds produced by probiotics in food products*, *Current Opinion in Food Science*. Cordoba, Argentina: Elsevier Ltd. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.02.003>.
- Dahiya, D. *et al.* (2023) 'Current status and future prospects of bioactive molecules delivered through sustainable encapsulation techniques for food fortification', *Sustainable Food Technology*, 1(4), pp. 500–510.

Available at: <https://doi.org/10.1039/d3fb00015j>.

El-Saadony, M.T. *et al.* (2024) 'Polyphenols: Chemistry, bioavailability, bioactivity, nutritional aspects and human health benefits: A review', *International Journal of Biological Macromolecules*, 277, p. 134223.

Available at:  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134223>.

European Commission (2010) 'Functional Foods', *Directorate-General for Research, FP7 cooperation – Food*. Brussels, Belgium, pp. 1–28.

Evans, J., Richards, J.R. and Battisti, A.S. (2025) 'Caffeine', in StatPearls Publishing LLC (ed.) *StatPearls Publishing LLC*. StatPearls. StatPearls Publishing LLC: StatPearls Publishing LLC.

FAO/WHO Joint Expert Consultation Report (2001) *Evaluations of Health and Nutritional Properties of Probiotics in Food Including Powder Milk and Live Lactic Acid Bacteria*. Cordoba, Argentina. Available at: <https://doi.org/10.1201/9781420009613.ch16>.

Generalić Mekinić, I. and Šimat, V. (2025) 'Bioactive Compounds in Foods: New and Novel Sources, Characterization, Strategies, and Applications', *Foods*, 14(9), pp. 11–15. Available at: <https://doi.org/10.3390/foods14091617>.

Goto, T. *et al.* (2010) 'Various Terpenoids derived from herbal and dietary plants function as PPAR



- modulators and regulate carbohydrate and lipid metabolism', *PPAR Research*, 2010(Figure 1). Available at: <https://doi.org/10.1155/2010/483958>.
- Heinrich, M., Mah, J. and Amirkia, V. (2021) 'Alkaloid yang digunakan sebagai obat: Fitokimia struktural memenuhi keanekaragaman hayati—Pandangan terkini dan ke depan', *Molecules*, 26(7), pp. 1–18.
- Hu, W. *et al.* (2024) 'Terpenoids, a Rising Star in Bioactive Constituents for Alleviating Food Allergy: A Review about the Potential Mechanism, Preparation, and Application', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(48), pp. 26599–26616. Available at: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c09124>.
- Huang, J. *et al.* (2022) 'Make your packaging colorful and multifunctional: The molecular interaction and properties characterization of natural colorant-based films and their applications in food industry', *Trends in Food Science & Technology*, 124, pp. 259–277. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.028>.
- Ignat, I., Volf, I. and Popa, V.I. (2011) 'A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables', *Food Chemistry*, 126(4), pp. 1821–1835. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.026>.

- Koolaji, N. *et al.* (2020) 'Citrus Peel Flavonoids as Potential Cancer Prevention Agents', *Current Developments in Nutrition*, 4(5), p. nzaa025. Available at: <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa025>.
- Lisboa, H.M. *et al.* (2024) 'Innovative and Sustainable Food Preservation Techniques: Enhancing Food Quality, Safety, and Environmental Sustainability', *Sustainability (Switzerland)*, 16(18). Available at: <https://doi.org/10.3390/su16188223>.
- Liu, J. *et al.* (2018) 'Isolation, structural characterization and bioactivities of naturally occurring polysaccharide–polyphenolic conjugates from medicinal plants—A review', *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, pp. 2242–2250. Available at: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.097](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.097).
- Ludwiczuk, A., Skalicka-Woźniak, K. and Georgiev, M.I. (2017) 'Chapter 11 - Terpenoids', in S. Badal and R.B.T.-P. Delgoda (eds) *Pharmacognosy: Fundamentals, Applications and Strategies*. Boston: Academic Press, pp. 233–266. Available at: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802104-0.00011-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802104-0.00011-1).
- Ministry of Health (1996) 'The Regulation for Health Foods', *China Standards, Beijing*, pp. 1–6.
- Mithul Aravind, S. *et al.* (2021) 'Role of dietary polyphenols on gut microbiota, their metabolites and health

- benefits.', *Food research international (Ottawa, Ont.)*, 142, p. 110189. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110189>.
- Mussagy, C.U. *et al.* (2019) 'Production and extraction of carotenoids produced by microorganisms', *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(3), pp. 1095–1114. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9557-5>.
- NIH (2025) *Vitamin A and Carotenoids; Fact Sheet for Health Professionals*, <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminA-HealthProfessional/>. Available at: <https://doi.org/10.1201/9781420009750.secone>.
- Ohama, H., Ikeda, H. and Moriyama, H. (2006) 'Health foods and foods with health claims in Japan', *Toxicology*, 221(1), pp. 95–111. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tox.2006.01.015>.
- Plumb, J. *et al.* (2017) 'eBASIS (Bioactive substances in food information systems) and bioactive intakes: Major updates of the bioactive compound composition and beneficial bioeffects database and the development of a probabilistic model to assess intakes in Europe', *Nutrients*, 9(4), pp. 1–15. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu9040320>.
- Rajaram, S. (2014) 'Health benefits of plant-derived  $\alpha$ -linolenic acid', *American Journal of Clinical Nutrition*, 100(SUPPL. 1), pp. 443S-448S. Available at:

<https://doi.org/10.3945/ajcn.113.071514>.

Ruiz-Rodriguez, A., Reglero, G. and Ibañez, E. (2010) 'Recent trends in the advanced analysis of bioactive fatty acids', *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 51(2), pp. 305–326. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jpba.2009.05.012>.

Schroeter, H. *et al.* (2010) 'Recommending flavanols and procyanidins for cardiovascular health: Current knowledge and future needs', *Molecular Aspects of Medicine*, 31(6), pp. 546–557. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mam.2010.09.008>.

Shaikh, S. (2022) 'Sources and Health Benefits of Functional Food Components', in N. Shiomi and A. Savitskaya (eds) *Current Topics in Functional Food*. London: IntechOpen. Available at: <https://doi.org/10.5772/intechopen.104091>.

Sharifi-Rad, J. *et al.* (2020) 'Probiotics: Versatile bioactive components in promoting human health', *Medicina (Lithuania)*, 56(9), pp. 1–30. Available at: <https://doi.org/10.3390/medicina56090433>.

Siddiqui, T. *et al.* (2024) 'Terpenoids in essential oils: Chemistry, classification, and potential impact on human health and industry', *Phytomedicine Plus*, 4(2), p. 100549. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.phyplu.2024.100549>.

- Sionek, B. and Szydlowska, A. (2025) 'Probiotics and Prebiotics in the Aspect of Health Benefits and the Development of Novel Plant-Based Functional Food', *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(6), pp. 1–17. Available at: <https://doi.org/10.3390/app15063137>.
- Sun, J. *et al.* (2002) 'Antioxidant and Antiproliferative Activities of Common Fruits', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(25), pp. 7449–7454. Available at: <https://doi.org/10.1021/jf0207530>.
- Topolska, K., Florkiewicz, A. and Filipiak-Florkiewicz, A. (2021) 'Functional food—consumer motivations and expectations', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10). Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph18105327>.
- Zhang, S. *et al.* (2025) 'Gut microbiota on cardiovascular diseases-a mini review on current evidence', *Frontiers in Microbiology*, 16(November), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1690411>.

# **BAB 4**

## **ANTIOKSIDAN DAN PENGUJIANNYA**

**Oleh: Safinta Nurindra Rahmadhia, S.Si., M.Sc.**

### **A. Pendahuluan**

Antioksidan merupakan senyawa yang berperan penting dalam melindungi sistem biologis dari kerusakan oksidatif akibat keberadaan radikal bebas atau *Reactive Oxygen Species* (ROS). Radikal bebas terbentuk secara alami melalui proses metabolisme sel, seperti respirasi mitokondria, serta berasal dari faktor eksternal seperti polusi, radiasi, asap rokok, dan bahan kimia. Ketidakseimbangan antara produksi ROS dan kemampuan sistem pertahanan tubuh dalam menetralkannya akan menyebabkan stres oksidatif, yang berkontribusi terhadap kerusakan biomolekul penting seperti lipid, protein, dan DNA (Parcheta et al., 2021; Hamed et al., 2025).

Peningkatan kesadaran akan peran stres oksidatif dalam berbagai penyakit kronis mendorong perhatian besar terhadap antioksidan, baik yang berasal dari sistem endogen maupun dari pangan. Antioksidan alami seperti vitamin C, vitamin E, karotenoid, dan senyawa fenolik banyak ditemukan dalam bahan pangan nabati dan berperan penting dalam menjaga keseimbangan redoks tubuh. Selain

dalam konteks kesehatan, antioksidan juga sangat penting dalam industri pangan karena mampu menghambat oksidasi lemak, mempertahankan mutu sensoris, serta memperpanjang umur simpan produk (Pisoschi et al., 2021; Amor et al., 2024).

Dalam sistem biologis, antioksidan berfungsi sebagai mekanisme pertahanan utama terhadap kerusakan oksidatif. Sistem ini terdiri atas antioksidan enzimatis seperti superoksida dismutase (SOD), katalase, dan glutathion peroksidase, serta antioksidan non-enzimatis seperti vitamin, flavonoid, dan polifenol. Antioksidan bekerja melalui berbagai mekanisme, antara lain menangkap radikal bebas, mendonorkan elektron atau atom hidrogen, mengkelat ion logam prooksidan, serta menghambat reaksi berantai oksidatif di dalam sel (Tomic et al., 2025).

Dalam bidang pangan, antioksidan memiliki peran strategis untuk mencegah ketengikan lemak, perubahan warna, dan degradasi nutrisi akibat oksidasi. Penggunaan antioksidan, baik alami maupun sintetis, bertujuan mempertahankan kualitas, keamanan, dan nilai gizi produk selama penyimpanan. Selain itu, konsumsi pangan kaya antioksidan juga berkontribusi terhadap pencegahan penyakit degeneratif, sehingga antioksidan tidak hanya berfungsi sebagai bahan tambahan pangan, tetapi juga sebagai komponen pangan fungsional yang mendukung kesehatan manusia (Mendonça et al., 2022).

Radikal bebas merupakan molekul tidak stabil yang memiliki elektron tidak berpasangan sehingga sangat reaktif. Jika jumlahnya berlebihan, radikal bebas dapat menyerang lipid membran sel, protein struktural, dan DNA, menyebabkan kerusakan seluler yang bersifat kumulatif. Kondisi ini dikenal sebagai stres oksidatif dan menjadi faktor utama dalam proses penuaan serta perkembangan berbagai penyakit degeneratif, termasuk penyakit kardiovaskular, kanker, diabetes melitus, dan gangguan neurodegeneratif seperti Alzheimer dan Parkinson (Jomova et al., 2023; Kiran, Otlu and Karabulut, 2023).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa stres oksidatif berperan dalam memicu peradangan kronis, mutasi genetik, serta disfungsi seluler yang berujung pada penurunan fungsi organ. Antioksidan berperan penting dalam memutus rantai reaksi radikal bebas dengan menetralkan ROS sebelum merusak biomolekul. Oleh karena itu, kecukupan asupan antioksidan melalui diet seimbang menjadi salah satu strategi utama dalam pencegahan penyakit degeneratif dan peningkatan kualitas hidup manusia (Pisoschi and Pop, 2015; Jomova et al., 2023).

## **B. Radikal Bebas dan Stres Oksidatif**

### **1. Pengertian radikal bebas**

Radikal bebas merupakan molekul atau atom yang memiliki satu atau lebih elektron tidak berpasangan pada orbital terluarnya, sehingga bersifat sangat reaktif dan tidak stabil. Dalam sistem biologis, radikal bebas umumnya termasuk



dalam kelompok reactive oxygen species (ROS) dan reactive nitrogen species (RNS), seperti superoksida ( $O_2\bullet^-$ ), radikal hidroksil ( $\bullet OH$ ), hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ), dan peroksinitrit ( $ONOO^-$ ). Senyawa-senyawa ini terbentuk secara alami selama proses metabolisme seluler normal, terutama pada respirasi mitokondria (Phaniendra, Jestadi and Periyasamy, 2015; Chaudhary et al., 2023).

Pada kondisi fisiologis normal, radikal bebas sebenarnya memiliki peran penting, misalnya dalam sistem pertahanan imun, sinyal sel, dan regulasi ekspresi gen. Namun, karena sifatnya yang sangat reaktif, radikal bebas dapat dengan mudah bereaksi dengan lipid, protein, dan DNA. Apabila jumlahnya tidak dikendalikan oleh sistem antioksidan, radikal bebas akan menyebabkan kerusakan struktural dan fungsional sel yang berujung pada gangguan fisiologis (Kashyap et al., 2019; Patil et al., 2025).

## **2. Sumber radikal bebas (endogen dan eksogen)**

Radikal bebas dapat berasal dari sumber endogen maupun eksogen. Secara endogen, radikal bebas dihasilkan sebagai produk samping metabolisme normal, terutama pada proses fosforilasi oksidatif di mitokondria. Selain itu, aktivitas enzim seperti NADPH oksidase, xantin oksidase, serta reaksi inflamasi oleh sel imun juga menghasilkan ROS sebagai bagian dari mekanisme pertahanan tubuh (Jomova *et al.*, 2023).

Sementara itu, sumber eksogen radikal bebas berasal dari faktor lingkungan dan gaya hidup, seperti paparan sinar ultraviolet, radiasi ionisasi, polusi udara, asap rokok,

pestisida, logam berat, serta konsumsi alkohol dan makanan teroksidasi. Paparan jangka panjang terhadap faktor-faktor ini dapat meningkatkan produksi radikal bebas secara signifikan, sehingga melampaui kapasitas sistem antioksidan alami tubuh (Parcheta et al., 2021).

### **3. Mekanisme terjadinya stres oksidatif**

Stres oksidatif terjadi ketika keseimbangan antara pembentukan radikal bebas dan kemampuan sistem antioksidan untuk menetralkannya terganggu. Dalam kondisi ini, produksi ROS meningkat secara berlebihan atau sistem antioksidan melemah, sehingga ROS tidak dapat dinetralisasi secara efektif. Akibatnya, radikal bebas akan bereaksi dengan biomolekul penting melalui mekanisme oksidasi berantai (Phaniendra, Jestadi and Periyasamy, 2015).

Secara mekanistik, stres oksidatif melibatkan reaksi peroksidasi lipid, oksidasi protein, dan kerusakan DNA. Pada peroksidasi lipid, ROS menyerang asam lemak tak jenuh pada membran sel, menghasilkan senyawa toksik seperti malondialdehid (MDA). Pada tingkat molekuler, kerusakan DNA dapat berupa pemutusan rantai, mutasi basa nitrogen, dan gangguan ekspresi gen. Jika kondisi ini berlangsung terus-menerus, maka homeostasis sel akan terganggu dan memicu proses patologis (Sen and Chakraborty, 2011; Ayoka et al., 2022).

#### **4. Dampak stres oksidatif terhadap sel dan kesehatan**

Stres oksidatif berdampak langsung terhadap integritas dan fungsi sel. Kerusakan lipid menyebabkan penurunan fluiditas membran dan gangguan fungsi membran sel, sedangkan oksidasi protein dapat menurunkan aktivitas enzim serta mengubah struktur protein. Kerusakan DNA akibat radikal bebas dapat menyebabkan mutasi genetik yang berpotensi berkembang menjadi kanker jika tidak diperbaiki oleh sistem perbaikan sel (Lobo et al., 2010).

Dalam jangka panjang, stres oksidatif berperan besar dalam perkembangan berbagai penyakit degeneratif, seperti penyakit kardiovaskular, diabetes melitus, kanker, penyakit neurodegeneratif (Alzheimer dan Parkinson), serta proses penuaan dini. Oleh karena itu, keberadaan antioksidan endogen dan asupan antioksidan dari makanan menjadi faktor penting dalam menjaga keseimbangan redoks tubuh dan mencegah dampak patologis akibat radikal bebas (Kiran, Otlu and Karabulut, 2023).

### **C. Antioksidan**

#### **1. Definisi dan mekanisme kerja antioksidan**

Antioksidan adalah komponen kimia anorganik atau organik yang dapat menghambat oksidasi, sehingga memperpanjang umur simpan makanan. Antioksidan juga berperan penting dalam perlindungan terhadap penyakit, sehingga penting untuk kesehatan manusia. Dengan kata lain, istilah "antioksidan" merujuk pada zat atau molekul yang dapat menghambat atau mencegah kerusakan permanen pada zat

atau makromolekul lain yang disebabkan oleh ketidakstabilan metabolit tertentu dalam sistem kehidupan, sehingga memberikan manfaat kesehatan, karena stres oksidatif mendasari berbagai proses patofisiologis (Mendonça et al., 2022; Ramani, Rajendran and Rajendran, 2024; Yenduri, Venkatesh and Naga Prashant, 2025).

Antioksidan mampu menghambat atau memperlambat reaksi oksidasi dengan menetralkan radikal bebas atau spesies oksigen reaktif (*Reactive Oxygen Species*/ROS). Radikal bebas merupakan molekul yang memiliki satu atau lebih elektron tidak berpasangan sehingga sangat reaktif dan dapat merusak biomolekul penting seperti lipid, protein, dan DNA. Ketidakseimbangan antara produksi radikal bebas dan kapasitas antioksidan tubuh menyebabkan stres oksidatif yang berperan dalam berbagai penyakit degeneratif (Gulcin, 2025).

Secara umum, mekanisme kerja antioksidan melibatkan proses donasi elektron atau atom hidrogen kepada radikal bebas sehingga radikal tersebut menjadi stabil. Mekanisme ini dapat berlangsung melalui tiga jalur utama, yaitu *hydrogen atom transfer* (HAT), *single electron transfer* (SET), dan *metal chelation*. Pada mekanisme HAT, antioksidan menyumbangkan atom hidrogen untuk menghentikan reaksi berantai oksidasi, sedangkan pada mekanisme SET antioksidan mendonorkan elektron untuk menetralkan radikal bebas. Dalam sistem biologis, antioksidan berfungsi sebagai pelindung sel dari kerusakan oksidatif yang berasal dari proses metabolisme normal

maupun paparan lingkungan seperti radiasi, polusi, dan bahan kimia. Antioksidan juga berperan dalam menjaga integritas membran sel, mencegah peroksidasi lipid, serta menghambat kerusakan DNA yang dapat memicu penyakit degeneratif seperti kanker, penyakit kardiovaskular, dan penuaan dini (Shahidi and Ambigaipalan, 2015).

## 2. Klasifikasi antioksidan

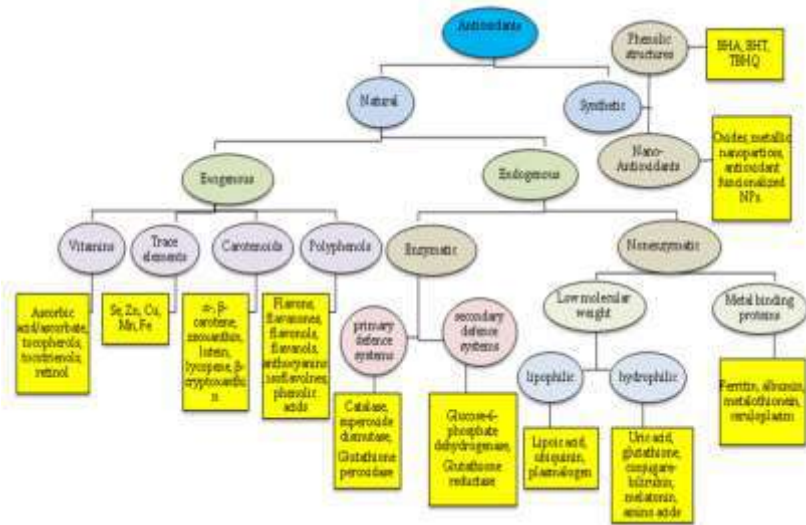
Antioksidan dapat diklasifikasikan menjadi antioksidan alami dan sintetis. Antioksidan alami berasal dari bahan pangan seperti buah, sayur, rempah, dan tanaman obat yang kaya senyawa fenolik, flavonoid, vitamin, dan karotenoid. Sementara itu, antioksidan sintetis seperti BHA, BHT, dan TBHQ banyak digunakan dalam industri pangan sebagai pengawet, namun penggunaannya dibatasi karena potensi efek toksik (Chandra, Sharma and Arora, 2020; Flieger et al., 2021). Perbandingan kelebihan dan kekurangan antioksidan sintetis dan alami disajikan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4. 1** Kelebihan dan kekurangan dari antioksidan sintetis dan alami

| <b>Antioksidan sintetis</b>                              | <b>Antioksidan alami</b>                           |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Kapasitas antioksidan berkisar dari sedang hingga tinggi | Efek antioksidan yang beragam dan luas             |
| Jenisnya tidak beragam                                   | Jenisnya beragam                                   |
| Tidak menunjukkan efek antioksidan pada jaringan manusia | Menunjukkan efek antioksidan pada jaringan manusia |
| Dapat digunakan sebagai agen pewarna dan flavor          | Berasal dari bahan alam                            |
| Kelarutan dalam air terbatas                             | Larut dalam air                                    |
| Murah                                                    | Mahal                                              |

| Antioksidan sintetis                                | Antioksidan alami                         |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Aplikasi luas                                       | Penggunaan beberapa produk dibatasi       |
| Aktivitas antioksidan sedang hingga tinggi          | Aktivitas antioksidannya luas             |
| Meningkatkan perhatian akan keselamatan             | Dianggap sebagai zat yang tidak berbahaya |
| Penggunaan beberapa jenisnya dilarang               | Digunakan dan diaplikasikan secara luas   |
| Peminatannya menurun                                | Banyak diminati                           |
| Sebagian di antaranya tersimpan di jaringan adiposa | Termetabolisme sepenuhnya                 |

(Sumber: (Gulcin, 2025))



**Gambar 4. 1** Klasifikasi antioksidan  
(Sumber: (Flieger et al, 2021))

Gambar 4.1 menunjukkan klasifikasi antioksidan. Berdasarkan mekanismenya, antioksidan dibagi menjadi antioksidan enzimatik dan non-enzimatik. Antioksidan

enzimatik meliputi superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT), dan glutathione peroksidase (GPx), yang bekerja dengan menguraikan ROS menjadi senyawa yang lebih stabil. Sementara itu, antioksidan non-enzimatik meliputi vitamin C, vitamin E, flavonoid, dan karotenoid yang berperan langsung sebagai penangkap radikal bebas.

Antioksidan juga dapat dikelompokkan berdasarkan asal kimianya, yaitu antioksidan endogen (diproduksi tubuh seperti glutathion) dan eksogen (diperoleh dari makanan). Antioksidan eksogen memiliki peran penting karena kapasitas antioksidan endogen sering kali tidak cukup untuk mengimbangi peningkatan radikal bebas akibat pola hidup modern.

### **3. Antioksidan primer dan sekunder**

Antioksidan primer dikenal sebagai chain-breaking antioxidants, yaitu senyawa yang secara langsung menghentikan reaksi berantai radikal bebas. Contohnya adalah vitamin E, flavonoid, dan polifenol yang mampu mendonorkan atom hidrogen atau elektron sehingga reaksi oksidasi terhenti. Senyawa ini sangat efektif dalam mencegah peroksidasi lipid pada sistem pangan dan biologis.

Antioksidan sekunder bekerja secara tidak langsung dengan menghambat pembentukan radikal bebas. Mekanismenya meliputi pengikatan ion logam prooksidan ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ), penguraian hidroperoksida, serta regenerasi antioksidan primer. Contoh antioksidan sekunder adalah

asam sitrat, asam askorbat, dan senyawa pengkelat logam lainnya.

Dalam sistem pangan dan biologis, antioksidan primer dan sekunder bekerja secara sinergis. Kombinasi beberapa antioksidan terbukti lebih efektif dibandingkan penggunaan satu jenis antioksidan saja. Interaksi ini meningkatkan stabilitas oksidatif bahan pangan dan efektivitas perlindungan sel terhadap stres oksidatif.

#### **4. Sumber antioksidan dalam bahan pangan**

Sumber utama antioksidan berasal dari bahan pangan nabati seperti buah-buahan, sayuran, biji-bijian, teh, kopi, dan rempah-rempah. Senyawa dominan yang berperan sebagai antioksidan meliputi polifenol, flavonoid, antosianin, dan karotenoid. Kandungan antioksidan ini sangat dipengaruhi oleh varietas tanaman, kondisi lingkungan, dan metode pengolahan (Amanda and Rahmadhia, 2024; Utomo and Rahmadhia, 2024).

Sumber hewani mengandung antioksidan dalam jumlah lebih kecil, seperti vitamin A, vitamin E, dan selenium. Produk seperti susu, telur, dan ikan mengandung antioksidan alami yang berperan dalam menjaga kestabilan lipid dan meningkatkan nilai gizi pangan.

Saat ini, antioksidan banyak diaplikasikan dalam pangan fungsional dan suplemen. Ekstrak tanaman kaya polifenol dimanfaatkan sebagai bahan fortifikasi untuk meningkatkan nilai kesehatan produk pangan. Penggunaan antioksidan alami juga semakin diprioritaskan sebagai



pengganti antioksidan sintetis dalam industri pangan modern.

## **D. Senyawa Antioksidan dalam Pangan**

### **1. Senyawa fenolik**

Senyawa fenolik merupakan kelompok antioksidan terbesar yang banyak ditemukan dalam bahan pangan nabati, seperti buah, sayuran, biji-bijian, teh, kopi, dan rempah-rempah. Secara kimia, senyawa ini dicirikan oleh keberadaan satu atau lebih gugus hidroksil yang terikat pada cincin aromatik. Struktur ini memungkinkan senyawa fenolik berperan sebagai donor elektron atau hidrogen untuk menetralkan radikal bebas, sehingga mencegah terjadinya reaksi oksidatif berantai (Galić, Lončarić and Lisjak, 2025).

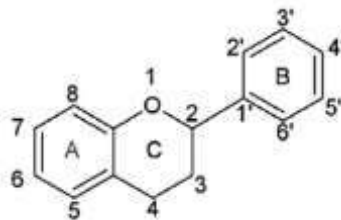
Senyawa fenolik mencakup berbagai subkelompok seperti asam fenolat, flavonoid, tanin, stilben, dan lignan. Aktivitas antioksidan senyawa fenolik sangat dipengaruhi oleh jumlah dan posisi gugus  $-OH$ , tingkat konjugasi ikatan rangkap, serta keberadaan gugus metoksi. Semakin banyak gugus hidroksil yang tersedia, semakin besar kemampuan senyawa tersebut dalam menstabilkan radikal bebas melalui mekanisme transfer atom hidrogen (HAT) atau transfer elektron (SET) (Parcheta et al., 2021).

Dalam pangan, senyawa fenolik berperan penting dalam memperlambat oksidasi lipid, menjaga warna, serta mempertahankan mutu sensori produk. Selain itu, konsumsi pangan kaya fenolik dikaitkan dengan penurunan risiko

penyakit degeneratif seperti penyakit jantung, kanker, dan diabetes.

## 2. Flavonoid

Flavonoid merupakan subkelompok terbesar dari senyawa fenolik yang banyak ditemukan pada buah-buahan, sayuran, teh, cokelat, dan anggur. Secara struktur, flavonoid memiliki kerangka C6–C3–C6 yang terdiri atas dua cincin aromatik dan satu cincin heterosiklik (Gambar 4.2). Struktur ini memungkinkan flavonoid bertindak sebagai penangkap radikal bebas yang sangat efektif.



**Gambar 4. 2** Struktur flavonoid

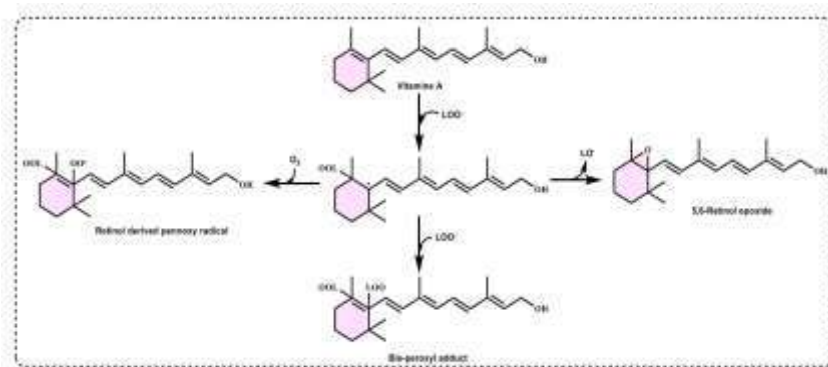
(Sumber: (Parcheta et al., 2021))

Aktivitas antioksidan flavonoid sangat dipengaruhi oleh jumlah dan posisi gugus hidroksil, keberadaan ikatan rangkap pada cincin C, serta konfigurasi gugus katekol. Flavonoid seperti quersetin, katekin, dan antosianin menunjukkan aktivitas antioksidan tinggi karena mampu menstabilkan radikal melalui resonansi elektron. Selain itu, flavonoid juga dapat mengkelat ion logam transisi seperti  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Cu}^{2+}$  yang berperan sebagai katalis oksidasi (Luo et al., 2025).

Dalam pangan, flavonoid berperan tidak hanya sebagai antioksidan alami tetapi juga sebagai senyawa bioaktif yang memberikan manfaat kesehatan. Konsumsi flavonoid dikaitkan dengan efek antiinflamasi, kardioprotektif, antikanker, dan neuroprotektif.

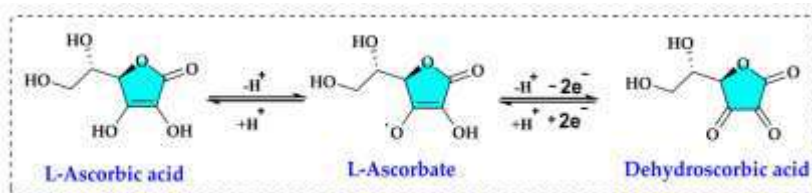
### 3. Vitamin antioksidan (A, C, dan E)

Vitamin A, C, dan E merupakan antioksidan non-enzimatik utama yang berperan penting dalam sistem pertahanan tubuh. Vitamin C (asam askorbat) bersifat larut air dan berfungsi sebagai donor elektron yang sangat efektif dalam menetralkan radikal bebas di fase cair sel. Vitamin ini juga mampu meregenerasi vitamin E yang telah teroksidasi. Mekanisme antioksidan vitamin A dan C ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan 4.4.



**Gambar 4. 3** Mekanisme vitamin A dalam menangkal radikal bebas

(Sumber: (Gulcin, 2025))



**Gambar 4. 4** Mekanisme antioksidan pada vitamin C.  
(Sumber: (Gulcin, 2025))

Vitamin E (tokoferol dan tokotrienol) merupakan antioksidan lipofilik yang berperan utama dalam melindungi membran sel dari peroksidasi lipid. Vitamin ini memutus rantai reaksi radikal bebas dengan mendonorkan atom hidrogen pada radikal peroksil. Sementara itu, vitamin A dan provitamin A ( $\beta$ -karoten) berfungsi sebagai penangkap radikal oksigen singlet serta berperan dalam perlindungan jaringan epitel (Parcheta et al., 2021).

Dalam pangan, vitamin antioksidan banyak terdapat pada minyak nabati, sayuran hijau, buah berwarna oranye-merah, serta produk hewani tertentu. Kombinasi vitamin A, C, dan E menunjukkan efek sinergis dalam menekan stres oksidatif.

#### 4. Karotenoid

Karotenoid merupakan pigmen alami berwarna kuning, oranye, hingga merah yang banyak ditemukan pada wortel, tomat, paprika, dan sayuran hijau. Secara kimia, karotenoid merupakan senyawa isoprenoid dengan sistem ikatan rangkap terkonjugasi yang panjang, sehingga sangat efektif dalam menetralkan radikal bebas dan oksigen singlet.

Karotenoid seperti  $\beta$ -karoten, likopen, lutein, dan zeaksantin bekerja sebagai antioksidan dengan cara memadamkan energi oksigen singlet dan menstabilkan radikal peroksil. Selain itu, beberapa karotenoid berfungsi sebagai provitamin A yang penting bagi kesehatan mata, sistem imun, dan pertumbuhan sel (Rietjens et al., 2002).

Dalam pangan, karotenoid berkontribusi terhadap warna alami sekaligus nilai fungsional produk. Penelitian menunjukkan bahwa konsumsi karotenoid berkaitan dengan penurunan risiko penyakit kardiovaskular, kanker, dan degenerasi makula.

## **5. Senyawa bioaktif lain yang berperan sebagai antioksidan**

Selain fenolik, flavonoid, vitamin, dan karotenoid, pangan juga mengandung senyawa bioaktif lain seperti asam askorbat terkonjugasi, peptida bioaktif, alkaloid, dan senyawa sulfur (misalnya allicin pada bawang putih). Senyawa-senyawa ini berperan dalam menekan stres oksidatif melalui mekanisme penangkapan radikal bebas, penghambatan enzim prooksidan, dan aktivasi sistem antioksidan endogen.

Peptida bioaktif hasil hidrolisis protein pangan diketahui memiliki kemampuan antioksidan melalui mekanisme donor proton dan pengikatan ion logam. Sementara itu, senyawa sulfur seperti glutathion berperan penting dalam menjaga keseimbangan redoks intraseluler dan melindungi sel dari kerusakan oksidatif.

Keberadaan berbagai senyawa bioaktif ini menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan dalam pangan bersifat sinergis, bukan hasil kerja satu senyawa tunggal. Oleh karena itu, konsumsi pangan utuh (*whole foods*) lebih dianjurkan dibandingkan suplementasi tunggal.

## **E. Metode Pengujian Aktivitas Antioksidan**

### **1. Prinsip umum pengujian aktivitas antioksidan**

Pengujian aktivitas antioksidan bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan suatu senyawa atau ekstrak dalam menetralkan radikal bebas atau menghambat reaksi oksidatif. Karena antioksidan bekerja melalui berbagai mekanisme (donasi elektron, transfer atom hidrogen, atau pengikatan logam), maka tidak ada satu metode tunggal yang mampu menggambarkan aktivitas antioksidan secara menyeluruh. Oleh sebab itu, berbagai metode dikembangkan untuk menilai aktivitas antioksidan dari sudut pandang mekanisme reaksi yang berbeda.

Secara umum, metode pengujian antioksidan dibagi menjadi dua pendekatan utama, yaitu metode berbasis transfer elektron (*Single Electron Transfer/SET*) dan metode berbasis transfer atom hidrogen (*Hydrogen Atom Transfer/HAT*). Metode SET mengukur kemampuan antioksidan mereduksi oksidan melalui donasi elektron, sedangkan metode HAT mengukur kemampuan antioksidan dalam mendonorkan atom hidrogen untuk menghentikan reaksi radikal berantai. Kedua mekanisme ini sering

digunakan secara komplementer untuk memperoleh gambaran aktivitas antioksidan yang lebih akurat.

Metode pengujian antioksidan umumnya dilakukan secara *in vitro*, cepat, relatif sederhana, dan menggunakan indikator warna yang mudah diamati secara spektrofotometri. Namun, setiap metode memiliki keterbatasan karena hasil uji tidak selalu mencerminkan aktivitas biologis *in vivo*. Oleh karena itu, pemilihan metode harus disesuaikan dengan jenis senyawa, tujuan analisis, dan matriks sampel (Lang et al., 2024).

## **2. Metode berbasis penangkapan radikal**

### **a. Metode DPPH**

Metode DPPH merupakan metode paling umum digunakan untuk mengukur aktivitas antioksidan berbasis penangkapan radikal bebas. DPPH adalah radikal stabil berwarna ungu tua yang memiliki serapan maksimum pada panjang gelombang sekitar 517 nm. Ketika bereaksi dengan antioksidan, radikal DPPH akan menerima atom hidrogen atau elektron sehingga berubah menjadi bentuk tereduksi berwarna kuning pucat.

Reaksi DPPH berlangsung melalui mekanisme transfer atom hidrogen (HAT) atau transfer elektron (SET), tergantung jenis antioksidan. Semakin tinggi kemampuan antioksidan mendonorkan elektron atau hidrogen, semakin besar penurunan absorbansi DPPH. Hasil biasanya dinyatakan dalam persen inhibisi atau nilai  $IC_{50}$ , yaitu konsentrasi yang mampu mereduksi 50% radikal DPPH.

Kelebihan metode DPPH meliputi prosedur yang sederhana, cepat, dan membutuhkan peralatan minimal. Namun, metode ini memiliki keterbatasan karena DPPH hanya larut dalam pelarut organik dan kurang merepresentasikan kondisi biologis. Selain itu, warna sampel yang gelap dapat mengganggu pembacaan absorbansi (Rana et al., 2024).

b. Metode ABTS

Metode ABTS menggunakan radikal kation  $\text{ABTS}^{+\bullet}$  yang berwarna biru-hijau dan memiliki serapan maksimum pada 734 nm. Radikal ini dihasilkan melalui reaksi antara ABTS dan oksidator kuat seperti kalium persulfat. Antioksidan akan mereduksi  $\text{ABTS}^{+\bullet}$  sehingga warna larutan memudar.

ABTS bekerja melalui mekanisme transfer elektron dan hidrogen. Keunggulan utama metode ini adalah dapat digunakan pada sistem hidrofilik maupun lipofilik, sehingga lebih fleksibel dibanding DPPH. Hasil pengujian biasanya dinyatakan dalam satuan *Trolox Equivalent Antioxidant Capacity* (TEAC).

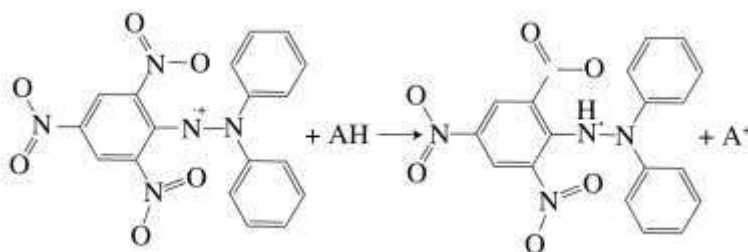
Metode ABTS banyak digunakan dalam analisis pangan, minuman, dan ekstrak tanaman. Namun, seperti DPPH, metode ini juga tidak sepenuhnya mencerminkan kondisi biologis *in vivo* karena reaksi terjadi dalam sistem kimia sederhana (Schaich, Tian and Xie, 2015).



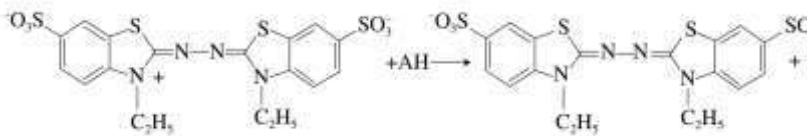
### 3. Metode berbasis daya reduksi

#### a. *Ferric Reducing Antioxidant Power* (FRAP)

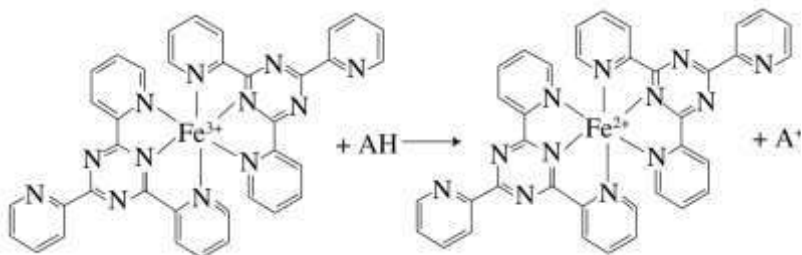
Metode FRAP mengukur kemampuan antioksidan dalam mereduksi ion  $\text{Fe}^{3+}$  menjadi  $\text{Fe}^{2+}$  dalam suasana asam. Reaksi ini menghasilkan kompleks  $\text{Fe}^{2+}$ -TPTZ berwarna biru yang dapat diukur pada panjang gelombang 593 nm. FRAP termasuk metode berbasis transfer elektron (SET). Semakin tinggi kemampuan reduksi suatu senyawa, semakin besar intensitas warna biru yang terbentuk. Metode ini sangat cocok untuk mengukur aktivitas antioksidan total dalam bahan pangan. Kelebihan FRAP adalah cepat, sederhana, dan reproduibel. Namun, metode ini tidak mampu mengukur antioksidan yang bekerja melalui mekanisme HAT dan tidak sensitif terhadap senyawa yang bekerja lambat atau bersifat lipofilik (Lang *et al.*, 2024). Mekanisme penangkapan radikal bebas menggunakan beberapa metode dijelaskan pada Gambar 4.5, sedangkan kelebihan dan kekurangannya dijelaskan pada Tabel 4.2.



#### a) DPPH



b) ABTS



c) FRAP

**Gambar 4. 5** Mekanisme penangkapan radikal bebas dengan metode a) DPPH, b) ABTS dan c) FRAP  
(Sumber: (Lang et al., 2024))

**Tabel 4. 2** Kelebihan dan kekurangan metode DPPH, ABTS dan FRAP

| Metode | Kelebihan                                                                                                                          | Kekurangan                                                                                                                                                                  |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DPPH   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Prosedur mudah</li><li>• Murah</li><li>• Reaksi cepat</li></ul>                            | <ul style="list-style-type: none"><li>• Konsep EC50 sulit diinterpretasikan</li><li>• Tidak ada standardisasi waktu penilaian atau reaksi titik akhir</li></ul>             |
| ABTS   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Murah</li><li>• Reaksi cepat</li><li>• Dapat digunakan untuk menilai pengaruh pH</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Sulit untuk membandingkan hasilnya</li><li>• Diperlukan langkah tambahan untuk menghasilkan radikal bebas dari garam ABTS</li></ul> |

| Metode | Kelebihan                                        | Kekurangan                                                                                                           |
|--------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | terhadap aktivitas, karena pH-nya stabil         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Radikal bebas yang dihasilkan tidak stabil dalam jangka waktu lama</li> </ul> |
| FRAP   | Digunakan pada sampel yang berasal dari tumbuhan | Menggunakan banyak reagen.                                                                                           |

#### 4. Metode berbasis penghambatan oksidasi lipid

##### a. Ferric Thiocyanate (FTC)

Metode FTC digunakan untuk mengukur tahap awal oksidasi lipid dengan mendeteksi pembentukan hidroperoksida. Hidroperoksida yang terbentuk akan mengoksidasi  $\text{Fe}^{2+}$  menjadi  $\text{Fe}^{3+}$ , yang kemudian bereaksi dengan ion tiosianat membentuk kompleks merah. Semakin rendah intensitas warna merah yang terbentuk, semakin tinggi aktivitas antioksidan sampel. Metode ini banyak digunakan untuk mengevaluasi kestabilan lipid pada minyak, emulsi, dan produk pangan berlemak. FTC sangat sensitif untuk tahap awal oksidasi lipid, tetapi tidak dapat mengukur produk oksidasi sekunder sehingga perlu dikombinasikan dengan metode lain seperti TBA (Sharma et al., 2014).

##### b. Thiobarbituric Acid (TBA)

Metode TBA digunakan untuk mengukur senyawa sekunder hasil oksidasi lipid, terutama malondialdehid (MDA). MDA akan bereaksi dengan asam tiobarbiturat membentuk kompleks berwarna merah muda yang dapat diukur pada 532 nm. Metode ini sangat penting dalam menilai tingkat

ketengikan dan degradasi lipid pada produk pangan. Semakin tinggi nilai TBA, semakin tinggi tingkat oksidasi lipid yang terjadi. Kelemahan utama metode TBA adalah rendahnya spesifisitas karena TBA dapat bereaksi dengan senyawa lain selain MDA. Oleh karena itu, hasil TBA sebaiknya dikombinasikan dengan metode lain untuk memperoleh interpretasi yang lebih akurat (Aguilar Diaz De Leon and Borges, 2020).

## **F. Faktor yang Memengaruhi Aktivitas Antioksidan**

Aktivitas antioksidan suatu bahan pangan atau ekstrak tidak hanya ditentukan oleh kandungan senyawa bioaktifnya, tetapi juga dipengaruhi oleh berbagai faktor teknis dan kimia selama proses ekstraksi, pengolahan, dan penyimpanan. Berdasarkan literatur ilmiah, faktor-faktor tersebut meliputi jenis pelarut, metode ekstraksi, suhu dan waktu pemrosesan, pH dan kondisi penyimpanan, serta interaksi antar senyawa bioaktif.

### **1. Jenis pelarut ekstraksi**

Jenis pelarut merupakan faktor utama yang menentukan jumlah dan jenis senyawa antioksidan yang terekstraksi. Hal ini berkaitan dengan perbedaan polaritas antara pelarut dan senyawa bioaktif. Senyawa fenolik dan flavonoid umumnya bersifat polar hingga semi-polar, sehingga lebih efektif diekstraksi menggunakan pelarut polar seperti metanol, etanol, dan air. Sebaliknya, senyawa nonpolar seperti

karotenoid lebih efektif diekstraksi menggunakan pelarut nonpolar seperti heksana atau asetat.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa campuran pelarut (misalnya etanol-air) menghasilkan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan pelarut tunggal. Hal ini disebabkan oleh kemampuan pelarut campuran dalam melarutkan senyawa dengan berbagai tingkat polaritas. Pelarut juga memengaruhi hasil uji antioksidan seperti DPPH dan ABTS karena perbedaan kelarutan senyawa target dalam sistem reaksi.

Dalam aplikasi pangan dan farmasi, etanol dan air lebih disukai karena aman, tidak toksik, dan ramah lingkungan. Sebaliknya, metanol meskipun efektif, terbatas penggunaannya karena bersifat toksik. Oleh karena itu, pemilihan pelarut tidak hanya mempertimbangkan efisiensi ekstraksi, tetapi juga keamanan, stabilitas, dan kesesuaian aplikasi akhir (Flieger et al., 2021).

## **2. Metode ekstraksi**

Metode ekstraksi sangat menentukan kuantitas dan kualitas antioksidan yang diperoleh. Metode konvensional seperti maserasi dan sokletasi masih banyak digunakan, namun memiliki keterbatasan seperti waktu lama dan degradasi senyawa sensitif panas. Sebaliknya, metode modern seperti ultrasound-assisted extraction (UAE), microwave-assisted extraction (MAE), dan supercritical fluid extraction (SFE) mampu meningkatkan efisiensi ekstraksi secara signifikan.

Metode modern bekerja dengan meningkatkan permeabilitas dinding sel, mempercepat difusi senyawa bioaktif, dan mengurangi degradasi termal. Gelombang ultrasonik pada UAE menghasilkan efek kavitasi yang merusak dinding sel, sedangkan MAE meningkatkan tekanan internal sel sehingga senyawa aktif lebih mudah terlepas.

Berbagai studi menunjukkan bahwa metode ekstraksi berpengaruh langsung terhadap nilai aktivitas antioksidan yang terukur dengan DPPH, ABTS, dan FRAP. Ekstrak yang diperoleh melalui metode modern umumnya menunjukkan nilai  $IC_{50}$  lebih rendah dan kapasitas antioksidan lebih tinggi dibandingkan metode konvensional (Parcheta et al., 2021).

### **3. Suhu dan waktu pengolahan**

Suhu merupakan faktor kritis dalam pengolahan bahan pangan yang mengandung antioksidan. Suhu tinggi dapat mempercepat degradasi senyawa fenolik, vitamin C, dan flavonoid akibat oksidasi atau hidrolisis. Namun, pada suhu tertentu, pemanasan justru dapat meningkatkan ketersediaan senyawa bioaktif dengan memecah matriks sel.

Waktu pemanasan yang terlalu lama dapat menyebabkan penurunan signifikan aktivitas antioksidan akibat degradasi termal. Sebaliknya, waktu pemrosesan yang terlalu singkat dapat menyebabkan ekstraksi tidak optimal. Oleh karena itu, diperlukan optimasi suhu dan waktu untuk memperoleh aktivitas antioksidan maksimal.

Dalam industri pangan, pengendalian suhu dan waktu sangat penting untuk mempertahankan aktivitas antioksidan selama proses pengeringan, pasteurisasi, atau pemasakan. Proses suhu tinggi jangka pendek atau *high temperature short time* (HTST) lebih disarankan dibandingkan pemanasan lama pada suhu rendah (Parcheta et al., 2021; Gulcin, 2025).

#### **4. pH dan kondisi penyimpanan**

pH memengaruhi stabilitas struktur kimia senyawa antioksidan. Senyawa fenolik dan antosianin relatif stabil pada kondisi asam, tetapi mudah terdegradasi pada pH netral hingga basa. Perubahan pH dapat memicu reaksi oksidasi dan degradasi struktur molekul.

Paparan cahaya, oksigen, dan suhu tinggi selama penyimpanan mempercepat degradasi antioksidan. Reaksi oksidasi berantai dapat terjadi meskipun tanpa pemanasan, terutama pada bahan kaya lipid dan fenol. Oleh karena itu, penyimpanan dalam wadah gelap, kedap udara, dan suhu rendah sangat dianjurkan.

Penurunan aktivitas antioksidan selama penyimpanan telah dilaporkan pada berbagai produk pangan seperti jus, ekstrak herbal, dan minyak nabati. Stabilitas dapat ditingkatkan dengan penambahan antioksidan alami, enkapsulasi, atau penggunaan kemasan aktif (Lang et al., 2024; Rahmadhia, Sigit and Juwitaningtyas, 2024).

## **5. Interaksi antar senyawa bioaktif**

Aktivitas antioksidan tidak hanya ditentukan oleh satu senyawa, tetapi juga oleh interaksi antar senyawa bioaktif. Interaksi sinergis dapat meningkatkan kapasitas antioksidan total, sedangkan interaksi antagonis justru dapat menurunkan efektivitasnya. Vitamin C dapat meregenerasi vitamin E yang teroksidasi, sehingga meningkatkan aktivitas antioksidan total. Sebaliknya, keberadaan logam transisi tertentu dapat mempercepat degradasi senyawa fenolik melalui reaksi oksidatif. Dalam pengembangan pangan fungsional, pemahaman interaksi senyawa bioaktif sangat penting agar formulasi menghasilkan aktivitas antioksidan maksimal. Oleh karena itu, evaluasi aktivitas antioksidan sebaiknya dilakukan secara menyeluruh, bukan hanya berdasarkan kandungan senyawa tunggal (Mendonça et al., 2022).

## **G. Aplikasi Antioksidan**

Antioksidan tidak hanya berperan dalam sistem biologis, tetapi juga memiliki peran strategis dalam pengembangan pangan fungsional, industri pangan, serta tren inovasi berbasis bahan alami. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan antioksidan sangat berkaitan dengan peningkatan kualitas produk, perpanjangan umur simpan, serta peningkatan nilai kesehatan pangan.

### **1. Antioksidan dalam pangan fungsional**

Pangan fungsional merupakan pangan yang selain memberikan nilai gizi dasar juga memiliki manfaat fisiologis



tambahan bagi kesehatan. Antioksidan merupakan komponen utama dalam pangan fungsional karena kemampuannya menekan stres oksidatif yang berkaitan dengan penyakit degeneratif seperti penyakit kardiovaskular, diabetes, kanker, dan penuaan dini. Senyawa antioksidan yang umum digunakan meliputi polifenol, flavonoid, vitamin C, vitamin E, dan karotenoid.

Dalam pangan fungsional, antioksidan bekerja dengan menetralkan radikal bebas sebelum menyebabkan kerusakan biomolekul. Selain itu, antioksidan juga berperan dalam modulasi sistem imun, perlindungan sel, serta penghambatan reaksi oksidatif dalam tubuh. Studi menunjukkan bahwa konsumsi pangan kaya antioksidan berkorelasi dengan penurunan risiko penyakit degeneratif melalui mekanisme antiinflamasi dan proteksi seluler.

Antioksidan diaplikasikan dalam berbagai produk seperti minuman fungsional berbasis teh dan buah, sereal kaya polifenol, produk susu fermentasi, serta pangan berbasis herbal. Pengayaan antioksidan juga banyak dilakukan menggunakan ekstrak tanaman seperti teh hijau, anggur, kunyit, dan jahe yang terbukti memiliki aktivitas antioksidan tinggi serta stabilitas yang baik selama pengolahan (Surya et al., 2024).

## **2. Antioksidan dalam industri pangan**

Dalam industri pangan, antioksidan digunakan terutama untuk mencegah oksidasi lipid yang menyebabkan ketengikan, perubahan warna, penurunan mutu sensoris, dan hilangnya nilai gizi. Reaksi oksidasi lemak merupakan

penyebab utama kerusakan pangan selama penyimpanan, terutama pada produk berbasis minyak, daging, dan produk olahan.

Antioksidan yang digunakan dalam industri pangan terbagi menjadi dua kelompok, yaitu antioksidan sintetis (BHA, BHT, TBHQ) dan antioksidan alami (tokoferol, asam askorbat, ekstrak tumbuhan). Meskipun antioksidan sintetis efektif dan stabil, penggunaannya semakin dibatasi karena isu toksisitas dan preferensi konsumen terhadap produk alami.

Perkembangan teknologi pangan memungkinkan penggunaan antioksidan secara lebih efektif melalui teknik enkapsulasi, nanoemulsi, dan edible coating. Teknologi ini meningkatkan stabilitas antioksidan, mengontrol pelepasan senyawa aktif, serta memperpanjang umur simpan produk tanpa mengubah karakteristik sensoris (Aprilia et al., 2023; Wang et al., 2025).

### **3. Tren penggunaan antioksidan alami**

Dalam beberapa dekade terakhir, terjadi pergeseran global dari penggunaan antioksidan sintetis ke antioksidan alami. Hal ini dipicu oleh meningkatnya kesadaran konsumen terhadap keamanan pangan dan dampak jangka panjang bahan kimia sintetis. Antioksidan alami dinilai lebih aman, biokompatibel, dan memiliki aktivitas biologis yang lebih luas.

Sumber antioksidan alami meliputi buah, sayur, rempah, tanaman obat, serta hasil samping industri

pertanian seperti kulit buah, biji, dan ampas. Senyawa seperti flavonoid, antosianin, tanin, dan asam fenolat menjadi fokus utama karena aktivitas antioksidan yang tinggi dan ketersediaannya melimpah. Tren terbaru menunjukkan pemanfaatan antioksidan alami dalam konsep green food, clean label, dan sustainable food production. Selain itu, antioksidan alami juga dimanfaatkan dalam sintesis nanopartikel ramah lingkungan, pengemasan aktif, serta produk nutrasetikal. Inovasi ini sejalan dengan prinsip keberlanjutan dan ekonomi sirkular (Agadha and Manizhnan, 2021; Rahmadhia, Sidqi and Saputra, 2023; Wati et al., 2024).

## DAFTAR PUSTAKA

- Agadha, S. and Manizhnan, R. (2021) 'Development of breakfast cereal using banana blossom bracts and determination of its nutritive value and acceptability', *International Journal of Food Science and Nutrition*, 6(4), pp. 95–98.
- Aguilar Diaz De Leon, J. and Borges, C. R. (2020) 'Evaluation of Oxidative Stress in Biological Samples Using the Thiobarbituric Acid Reactive Substances Assay', *Journal of Visualized Experiments*, (159). doi: 10.3791/61122.
- Amanda, D. S. and Rahmadhia, S. N. (2024) 'The effect of drying duration on the physicochemical characteristics of beetroot (*Beta vulgaris* L.) sheet jam', *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 13(3), pp. 445–454. doi: 10.23887/jstundiksha.v13i3.85165.
- Amor, I. Ben *et al.* (2024) 'Enhancing oxidant and dye scavenging through MgO-based chitosan nanoparticles for potential antioxidant coatings and efficient photocatalysts', *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(24), pp. 32343–32357. doi: 10.1007/s13399-023-04923-1.
- Aprilia, D. *et al.* (2023) 'Physicochemical Properties and Microbial Inhibition on Biofilms Cassava Starch with Green Cayenne Pepper Leaf Extract (*Capsicum Frutescens* L.)', *Jurnal Keteknik Pertanian*, 11(2), pp.

153–164. doi: 10.19028/jtep.011.2.153-164.

Ayoka, T. O. *et al.* (2022) 'Antioxidants for the Prevention and Treatment of Non-communicable Diseases', *Journal of Exploratory Research in Pharmacology*, 000(000), pp. 000–000. doi: 10.14218/JERP.2022.00028.

Chandra, P., Sharma, R. K. and Arora, D. S. (2020) 'Antioxidant compounds from microbial sources: A review', *Food Research International*, 129, p. 108849. doi: 10.1016/j.foodres.2019.108849.

Chaudhary, P. *et al.* (2023) 'Oxidative stress, free radicals and antioxidants: Potential crosstalk in the pathophysiology of human diseases', *Frontiers in Chemistry*, 11. doi: 10.3389/fchem.2023.1158198.

Flieger, J. *et al.* (2021) 'Antioxidants: Classification, Natural Sources, Activity/Capacity Measurements, and Usefulness for the Synthesis of Nanoparticles', *Materials*, 14(15), p. 4135. doi: 10.3390/ma14154135.

Galić, L., Lončarić, Z. and Lisjak, M. (2025) 'A Review of Phenolic Compounds: From Biosynthesis and Ecological Roles to Human Health and Nutrition', *Phyton*, 94(11), pp. 3297–3318. doi: 10.32604/phyton.2025.072504.

Gulcin, İ. (2025) 'Antioxidants: A comprehensive review', *Archives of Toxicology*, 99(5), pp. 1893–1997. doi: 10.1007/s00204-025-03997-2.

Hamed, M. *et al.* (2025) 'Analytical methodologies for

- antioxidant capacity assessment: An updated review', *Talanta Open*, 12, p. 100558. doi: 10.1016/j.talo.2025.100558.
- Jomova, K. *et al.* (2023) 'Reactive oxygen species, toxicity, oxidative stress, and antioxidants: chronic diseases and aging', *Archives of Toxicology*, 97(10), pp. 2499–2574. doi: 10.1007/s00204-023-03562-9.
- Kashyap, D. *et al.* (2019) 'Role of Reactive Oxygen Species in Cancer Progression', *Current Pharmacology Reports*, 5(2), pp. 79–86. doi: 10.1007/s40495-019-00171-y.
- Kiran, T. R., Otlu, O. and Karabulut, A. B. (2023) 'Oxidative stress and antioxidants in health and disease', *Journal of Laboratory Medicine*, 47(1), pp. 1–11. doi: 10.1515/labmed-2022-0108.
- Lang, Y. *et al.* (2024) 'Classification and antioxidant assays of polyphenols: a review', *Journal of Future Foods*, 4(3), pp. 193–204. doi: 10.1016/j.jfutfo.2023.07.002.
- Lobo, V. *et al.* (2010) 'Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health', *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), p. 118. doi: 10.4103/0973-7847.70902.
- Luo, Y. *et al.* (2025) 'Recent advances in flavonoids benefiting intestinal homeostasis', *Trends in Food Science & Technology*, 165, p. 105311. doi: 10.1016/j.tifs.2025.105311.
- Mendonça, J. da S. *et al.* (2022) 'Natural Antioxidant Evaluation: A Review of Detection Methods', *Molecules*,

27(11), p. 3563. doi: 10.3390/molecules27113563.

Parcheta, M. *et al.* (2021) 'Recent developments in effective antioxidants: The structure and antioxidant properties', *Materials*, 14(8), p. 1984. doi: 10.3390/ma14081984.

Patil, N. D. *et al.* (2025) 'Recent advances in the analytical methods for quantitative determination of antioxidants in food matrices', *Food Chemistry*, 463, p. 141348. doi: 10.1016/j.foodchem.2024.141348.

Phaniendra, A., Jestadi, D. B. and Periyasamy, L. (2015) 'Free Radicals: Properties, Sources, Targets, and Their Implication in Various Diseases', *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 30(1), pp. 11–26. doi: 10.1007/s12291-014-0446-0.

Pisoschi, A. M. *et al.* (2021) 'Oxidative stress mitigation by antioxidants - An overview on their chemistry and influences on health status', *European Journal of Medicinal Chemistry*, 209, p. 112891. doi: 10.1016/j.ejmech.2020.112891.

Pisoschi, A. M. and Pop, A. (2015) 'The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review', *European Journal of Medicinal Chemistry*, 97, pp. 55–74. doi: 10.1016/j.ejmech.2015.04.040.

Rahmadhia, S. N., Sidqi, A. A. and Saputra, Y. A. (2023) 'Physical properties of tapioca starch-based film indicators with anthocyanin extract from purple sweet potato (*Ipomea batatas* L.) and response to pH

- changes', *Sains Malaysiana*, 52(6), pp. 1685–1697. doi: 10.17576/jsm-2023-5206-06.
- Rahmadhia, S. N., Sigit, N. H. and Juwitaningtyas, T. (2024) 'Chemical properties and otal plate count of dodol packaged in active packaging with the addition of klutuk banana leaf (*Musa balbsiana Colla*) extract', *Journal of Functional Food and Nutraceutical*, pp. 86–94. doi: 10.33555/jffn.v5i2.115.
- Ramani, P., Rajendran, G. and Rajendran, A. (2024) 'Advances in antioxidant activity analysis for food application', in *Natural Antioxidants to Enhance the Shelf-Life of Food*. Elsevier, pp. 1–27. doi: 10.1016/B978-0-443-15386-0.00001-1.
- Rana, M. S. *et al.* (2024) 'Antioxidant activity of Schiff base ligands using the DPPH scavenging assay: an updated review', *RSC Advances*, 14(45), pp. 33094–33123. doi: 10.1039/D4RA04375H.
- Rietjens, I. M. C. M. *et al.* (2002) 'The pro-oxidant chemistry of the natural antioxidants vitamin C, vitamin E, carotenoids and flavonoids', *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 11(3–4), pp. 321–333. doi: 10.1016/S1382-6689(02)00003-0.
- Schaich, K. M., Tian, X. and Xie, J. (2015) 'Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy: A critical evaluation of ABTS, DPPH, and ORAC assays', *Journal of Functional Foods*, 14, pp. 111–125. doi: 10.1016/j.jff.2015.01.043.
- Sen, S. and Chakraborty, R. (2011) 'The Role of Antioxidants



- in Human Health', in, pp. 1–37. doi: 10.1021/bk-2011-1083.ch001.
- Shahidi, F. and Ambigaipalan, P. (2015) 'Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review', *Journal of Functional Foods*, 18, pp. 820–897. doi: 10.1016/j.jff.2015.06.018.
- Sharma, B. *et al.* (2014) 'Biosynthesis of fluorescent gold nanoparticles using an edible freshwater red alga, *Lemanea fluviatilis* (L.) C.Ag. and antioxidant activity of biomatrix loaded nanoparticles', *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 37(12), pp. 2559–2565. doi: 10.1007/s00449-014-1233-2.
- Surya, R. *et al.* (2024) 'Tempe as superior functional antioxidant food: From biomechanism to future development of soybean-based functional food', *Pharmacia*, 71, pp. 1–7. doi: 10.3897/pharmacia.71.e116748.
- Tomac, I. *et al.* (2025) 'Effective detection of antioxidants using functional schemes of enzyme inhibition and competing (bio)reactions', *Talanta Open*, 12, p. 100525. doi: 10.1016/j.talo.2025.100525.
- Utomo, R. A. and Rahmadhia, S. N. (2024) 'Effect of variations in drying temperature of papaya seeds (*Carica papaya* L.) on the physiochemical characteristics of jelly candy', *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering*, 7(4), pp.

338–348. doi: 10.21776/ub.afssaae.2024.007.04.6.

Wang, D. *et al.* (2025) 'Carbon dots as new antioxidants: Synthesis, activity, mechanism and application in the food industry', *Food Chemistry*, 475, p. 143377. doi: 10.1016/j.foodchem.2025.143377.

Wati, D. P. *et al.* (2024) 'The Substitution of Purslane Weed (*Portulaca oleracea* L.) Flour and Glucomannan Powder on Organoleptic and Proximate Test of Instant Noodles', *Journal of Agri-Food Science and Technology*, 5(1), pp. 44–56. doi: 10.12928/jafost.v5i1.9380.

Yenduri, S., Venkatesh, K. G. and Naga Prashant, K. (2025) 'Recent Advances in Extraction of Polyphenols by Advanced Extraction Methods', *Phytochemical Analysis*, 36(7), pp. 1875–1892. doi: 10.1002/pca.70012.

# **BAB 5**

## **SERAT PANGAN (*DIETARY FIBER*) DAN UJI ANALISISNYA**

**Oleh: Ir. Ika Dyah Kumalasari, M.Sc., Ph.D**

### **A. Pendahuluan**

Kebutuhan pangan saat ini tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan nutrisi tapi juga ada tujuan lain untuk meningkatkan kesehatan, menjaga kesehatan dengan menurunkan resiko penyakit dan meningkatkan fungsi kesehatan tertentu. Pangan dengan fungsi kesehatan selain fungsinya sebagai sumber nutrisi/gizi dikenal dengan pangan fungsional. Menurut Goldberg (1994) pangan fungsional adalah makanan (bukan berupa kapsul, pil atau tepung) yang berasal dari bahan alami, dikonsumsi sebagai diet harian dan memiliki fungsi kesehatan tertentu bila dicerna (selain fungsi gizi), membantu proses tertentu dalam tubuh, mencegah penyakit tertentu, penyembuhan dari penyakit spesifik, mengendalikan kondisi fisiologis dan mental, dan menghambat penuaan).

Senyawa yang punya peranan sebagai pangan fungsional umumnya berupa senyawa aktif yang secara alami sudah ada di dalam makanan, akibat pengayaan dari luar, atau karena proses pengolahan (akibat reaksi-reaksi kimia tertentu atau aktivitas mikroba). Pada tahun 1991,

*The Japanese of Health and Welfare* sudah mengidentifikasi ingredien yang memperbaiki kesehatan yang meliputi: serat pangan, oligosakarida, gula alkohol, asam-asam amino, peptida dan protein, glikosida, alkohol, isoprenoid dan vitamin, kolin, bakteri asam laktat (BAL), mineral, *polyunsaturated fatty acids* (PUFA), fitokemikal dan antioksidan.

Berdasarkan penelitian dan penggolongan komponen aktif yang mempunyai berbagai manfaat kesehatan adalah serat pangan. Serat makanan merupakan senyawa aktif yang diketahui dapat mencegah dan mengatasi konstipasi (sembelit), menurunkan kolesterol, mengurangi metastasis kanker, dan menurunkan kadar gula darah. Serat pangan didapatkan dari tumbuhan baik dari daun, buah, batang, bunga, biji dan juga umbi tanaman.

## **B. Serat Pangan (*Dietary Fiber*)**

Serat pangan didefinisikan sebagai dinding sel tumbuhan yang tahan terhadap hidrolisis enzim di dalam usus halus manusia dan meliputi polisakarida yang tidak tercerna serta lignin (Trowell, 1976) karena masih ada komponen yang belum tersampaikan dalam definisi tersebut maka menurut AACC (2001) serat pangan adalah bagian dari tanaman atau karbohidrat analog yang tidak tercerna dan terabsorpsi dalam usus halus secara sempurna atau sebagian terfermentasi dalam kolon, termasuk didalamnya polisakarida, oligosakarida, lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Pada tahun 2009, Komisi CODEX Alimentarius

mendefinisikan serat makanan sebagai polimer karbohidrat yang terdiri dari sepuluh atau lebih unit monomerik yang dapat bergerak melalui usus kecil tanpa mengalami hidrolisis. Serat makanan dapat hadir secara alami dalam makanan yang dikonsumsi, berasal dari bahan makanan dan karbohidrat sintetis yang memberikan manfaat kesehatan.

Definisi serat pangan (*Dietary Fiber*) yang jelas dan menyeluruh diperlukan baik untuk tujuan regulasi maupun untuk memfasilitasi pengembangan metodologi analitik guna mendukung definisi tersebut. Seiring dengan kemajuan pemahaman kita tentang peran fisiologis dan kompleksitas multi-komponen *Dietary fiber* (DF) dalam pengembangan metodologi yang relevan secara fisiologis.

## **1. Sumber Serat Pangan**

Serat makanan merupakan bagian dari tumbuhan yang tidak tercerna sehingga jenisnya juga beraneka ragam. Beberapa jenis serat pangan yaitu polisakarida non-pati, pati resisten, oligosakarida yang tidak dapat dicerna, dan karbohidrat sintetis (Buttriss & Stokes, 2008; Fu et al., 2022). Tipe serat pangan dan deskripsi struktur kimiawi pada masing-masing tipenya terangkum pada Tabel 5.1.

**Tabel 5. 1** Tipe serat pangan dan deskripsi struktur kimiawi

| <i>Fibre type</i>         | <i>Description</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <i>Reference</i>                                                               |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Cellulose</i>          | <i>Composed of D-glucose units linked by <math>\beta</math> (1–4)-glycosidic bonds in a linear homopolymer which can reach up to 10 000 units long.</i>                                                                                                                                                                                                                                                    | (Buttriss & Stokes, 2008; Gupta et al., 2019)                                  |
| <i>Hemicellulose</i>      | <i>Branched with acetyl group side chains and a backbone consisting of monomers - xylose, arabinose, galactose, mannose or glucose.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                    | (Debnath et al., 2021; Kumar & Dixit, 2021)                                    |
| <i>Lignin</i>             | <i>Not a polysaccharide but is mainly composed of alcohols (p-coumaryl, coniferyl, and sinapyl) or collectively known as phenylpropanoid units.</i>                                                                                                                                                                                                                                                        | (Kumar & Dixit, 2021)                                                          |
| <i>Gums</i>               | <i>Gums are plant exudates that having varying structures and physiochemical properties.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | (Amiri et al., 2021; Hamdani et al., 2019)                                     |
| <i>Beta-glucans</i>       | <i>It is a non-starch polysaccharide that can be branched or unbranched and is <math>\beta</math>-D-glucose monomer units linked by glycosidic linkages at <math>\beta</math> (1 <math>\rightarrow</math> 3), (1 <math>\rightarrow</math> 4), and/or (1 <math>\rightarrow</math> 6). There are numerous hydroxyl groups along the <math>\beta</math>-glucan chain which create a hydrophilic molecule.</i> | (Kaur et al., 2020; Wood, 2007)                                                |
| <i>Resistant starches</i> | <i>Resistant starches are comprised of starches that do not have their <math>\alpha</math>-1,4-glycosidic bonds hydrolysed by salivary and pancreatic <math>\alpha</math>-amylases which pass unabsorbed into the large intestine where it can be fermented. There are 5 types of resistant starch: RS 1 which is</i>                                                                                      | (Birt et al., 2013; Bojarczuk et al., 2022; Buttriss & Stokes, 2008; Dobranows |

|                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                               |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                                         | <i>physically inaccessible starch due to being enclosed within the food's structure RS 2, a native starch granule which can be found in unripe bananas and raw potato. RS 3 is a retrograded starch RS 4 is a starch that has been chemically modified to resist digestion such as a starch with octenyl succinic groups. RS 5 occurs when amylose complexes with lipids or fatty acids during cooking –resulting in the starch being trapped in an amylose–lipid complex.</i> | ki & Stintzi, 2021; Guti'érrez & Tovar, 2021) |
| <i>Non-digestible oligosaccharides:</i> | <i>Low molecular weight carbohydrates with monomeric units between 3 and 10 which are recalcitrant to digestion by salivary and intestinal enzymes.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | (Mussatto & Mancilha, 2007)                   |

## 2. Penggolongan Serat Pangan

Serat pangan berdasar sifat kelarutannya dalam air dibedakan menjadi 2 yaitu serat pangan larut (*soluble dietary fiber*) dan tak larut (*insoluble dietary fiber*) (Buttriss & Stokes, 2008; Jia et al., 2020). Serat pangan larut mempunyai kemampuan membentuk gel, memperlambat pencernaan, mengontrol gula darah dan kolesterol (contoh: oat, apel, jeruk dan kacang-kacangan). Sementara untuk serat tidak larut mempunyai sifat tidak larut air, mempercepat pergerakan makanan dalam saluran pencernaan, dan menambah massa feses untuk melancarkan defekasi (contoh: biji-bijian utuh, kulit buah, sayuran keras).

Keduanya penting untuk kesehatan pencernaan, tetapi bekerja dengan cara berbeda

Secara umum serat pangan tak larut lebih resisten terhadap fermentasi oleh bakteri kolon daripada *Soluble Dietary Fibre* (SDF), selain itu berfungsi juga dalam peningkatan volume cecah pada usus besar. Serat pangan larut lebih cepat terfermentasi pada usus besar dan menghasilkan asam lemak rantai pendek (*short chain fatty acid*) lebih tinggi dibandingkan dengan serat tidak larut (*insoluble dietary fiber*). Kelarutan dari serat menentukan efek fisiologis dari serat dimana fermentabilitas atau viskositas merupakan parameter yang penting. Diet tinggi serat berperan dalam keruhan feses (*bulk*), mencegah konstipasi, kanker kolon dan menurunkan berat badan.

Serat pangan larut mengurangi kolesterol serum, mengurangi penyerapan glukosa, meningkatkan rasa kenyang, dan mudah difermentasi (Foschia et al., 2013; Tang et al., 2024; Widaningrum et al., 2020). Pektin termasuk dalam golongan serat pangan yang larut.

### **C. Efek Fungsional Serat Pangan Bagi Kesehatan**

Serat makanan memiliki implikasi langsung terhadap kesehatan dan termasuk komponen pangan fungsional yang memberikan efek kesehatan tertentu. Sifat fisikokimia serat pangan dan efeknya terhadap kesehatan dapat dilihat pada Tabel 5.2.



**Tabel 5. 2** Sifat fisikokimia serat pangan dan efeknya terhadap kesehatan

| <i>Property</i>                     | <i>Affect</i>                                                                   | <i>Reference</i>                                                                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Water-holding capacity</i>       | <i>Decreases food intake, stool bulking and regularity.</i>                     | (Dhingra et al., 2012; Liu et al., 2020; Raghavendra et al., 2004; Tejada-Ortigoza et al., 2016) |
| <i>Glucose-absorption capacity</i>  | <i>Capturing and binding glucose</i>                                            | (Liu et al., 2020)                                                                               |
| <i>Bile-acid-binding capacity</i>   | <i>Capturing bile-acids</i>                                                     | (Liu et al., 2020; Wood, 2007)                                                                   |
| <i>Viscosity</i>                    | <i>Delay gastric emptying, reduce rate of glucose, and bile acid absorption</i> | (Lupo et al., 2022; Tang et al., 2024)                                                           |
| <i>Cholesterol-binding capacity</i> | <i>Ability to bind cholesterol</i>                                              | (Wood, 2007)                                                                                     |
| <i>Anti-tumour activity</i>         | <i>Cytotoxicity towards cancer cells</i>                                        | (Tang et al., 2024)                                                                              |
| <i>Fermentability</i>               | <i>Metabolite production and microbiota modulation</i>                          | (Cronin et al., 2021; Jonathan et al., 2012)                                                     |
| <i>Immunomodulatory activity</i>    | <i>Regulating immune response</i>                                               | (Dong et al., 2023; Tang et al., 2024)                                                           |
| <i>Swelling</i>                     | <i>Affects regularity and stool bulking.</i>                                    | (Dhingra et al., 2012; Raghavendra et al., 2004; Tang et al., 2024)                              |
| <i>Particle size</i>                | <i>Affects binding ability and fermentation of fibre</i>                        | (Dhingra et al., 2012)                                                                           |
| <i>Gelling capacity</i>             | <i>Increased satiation</i>                                                      | (Wanders et al., 2013)                                                                           |

Beberapa manfaat kesehatan serat pangan yaitu serat pangan dapat mengikat air dengan baik, mengikat asam

empedu dan kolesterol luminal untuk mengurangi kadar kolesterol serum. Serat dapat mengikat glukosa untuk mengurangi peningkatan glukosa pasca makan (Lupo et al., 2022). Dengan memengaruhi metabolisme lipid dan glukosa, karakteristik ini dapat berkontribusi pada pengelolaan berat badan dan mengurangi risiko penyakit metabolik. Serat dapat mengikat ion beracun seperti timbal dan arsenik, membantu ekskresi dan mengurangi bioavailabilitasnya (Wang et al., 2015).

Fermentasi serat makanan di usus besar menghasilkan asam lemak rantai pendek, yang dapat menghambat metastasis kanker dan secara bermanfaat memodulasi sistem kekebalan tubuh (Dong et al., 2023). Serat pangan baik larut dan tak larut merupakan komponen aktif dalam pangan fungsional. Peran serat pangan untuk kesehatan meliputi diantaranya menjaga dan meningkatkan kesehatan saluran pencernaan, mengontrol gula darah (antidabetes), antikanker, imunomodulator, antiobesitas dan lainnya.

### **1. Pengaruh Serat pangan terhadap kesehatan saluran pencernaan**

Serat pangan berdasar sifat fisik dan kimia mempunyai beberapa manfaat yaitu serat pangan tidak dapat dicerna didalam saluran pencernaan bagian atas sehingga lambat dalam pencernaan dan penyerapan di dalam usus halus. Hal ini menguntungkan karena memberikan efek mengenyangkan dan menunda pengosongan lambung. Serat pangan larut dapat memberikan efek menaikkan viskositas digesta sehingga mempercepat waktu transit di dalam

kolon. Efek ini dapat mencegah peradangan (*colytis*) pada usus besar.

Serat pangan memiliki kapasitas pengikatan air (*water holding capacity*) yang tinggi. Peningkatan kapasitas pengikatan air menyebabkan kadar air pada digesta (hasil pencernaan yang belum diekskresikan) meningkat dan menyebabkan digesta menjadi ruah (*bulky*). Fenomena ini menyebabkan waktu transit di usus besar menjadi lebih cepat. Selain itu manfaat yang lain yang disebabkan kadar air dan berat digesta yang meningkat yaitu memperbesar volume feses dan bersifat laxative sehingga akan mempermudah proses laksasi. Faktor-faktor yang memengaruhi WHC meliputi ukuran partikel, luas permukaan, bentuk, porositas, dan muatan (Alison & Cummings, 1979; Brownlee, 2011; Raghavendra et al., 2006; Takahashi et al., 2009).

Salah satu serat yang dapat meningkatkan kesehatan pencernaan adalah dari golongan oligosakarida. Oligosakarida yang tidak dapat tercerna/non digestible oligosaccharides (NDO) dan mempunyai fungsi bifidogenik dapat dilihat pada Tabel 3.

Serat larut air umumnya ditemukan pada buah dan umbi umbian [22]. Beberapa umbi yang mengandung serat pangan larut yaitu umbi garut, ubi jalar, umbi bengkoang, umbi porang, umbi suweg, umbi gembili dll. Umbi garut juga bisa meningkatkan keseimbangan mikrobiota di kolon tikus *Sprague Dawly* (Harmayani et al, 2011). Bakteri *Clostridium perfringens* dan *Eschericia coli* terbukti menurun dengan

konsumsi pakan modifikasi dengan tepung umbi garut. Selain itu bakteri baik seperti bifidobacteria dan Lactobacili menunjukkan peningkatan pada pakan dengan sumber serat umbi garut.

**Tabel 5. 3** Oligosakarida yang tidak dapat tercerna/non digestible oligosaccharides (NDO)

| <i>Name</i>                                                                                                                                           | <i>Molecular structure*</i>                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Lactulose                                                                                                                                             | Gal- $\beta$ (1,4)-Fru                                  |
| Isomaltulose / palatinose                                                                                                                             | Glc- $\alpha$ (1,6)-Fru                                 |
| Lactosucrose                                                                                                                                          | Gal- $\beta$ (1,4)-Glc- $\alpha$ (1,2) $\beta$ -Fru     |
| Glycosylsucrose / erlose                                                                                                                              | Glc- $\alpha$ (1,4)-Glc- $\alpha$ (1,2) $\beta$ -Fru    |
| Soybean-oligosaccharides (SOS)                                                                                                                        | (Gal- $\alpha$ (1,6))n-Glc- $\alpha$ (1,2) $\beta$ -Fru |
| Oligofructose                                                                                                                                         | (OFr) (Fru)n                                            |
| Fructo-oligosaccharides (FOS)                                                                                                                         | (Fru)n-Glc                                              |
| Galacto-oligosaccharides (GOS)                                                                                                                        | (Gal)n-Glc                                              |
| Gentio-oligosaccharides (GEOS)                                                                                                                        | (Glc)n                                                  |
| Raffinosa                                                                                                                                             | (Gal)n-Glc-Fru                                          |
| Malto-oligosaccharides (MOS)                                                                                                                          | (Glc)n                                                  |
| Isomalto-oligosaccharides (IMOS)                                                                                                                      | (Glc)n                                                  |
| Xylo-oligosaccharides (XOS)                                                                                                                           | (Xyl)n                                                  |
| Pectic-oligosaccharides (POS)                                                                                                                         | (GalA)n and/or (GalA-Rha)n                              |
| *Gal = galactose; Fru = fructose; Glc = glucose; Xyl = xylose; GalA = galacturonic acid; Rha = rhamnose; Fuc = fucose; GlcNAc = N-acetyl-glucosamine. |                                                         |

## 2. Pengaruh Serat pangan terhadap kadar Gula Darah dan Antidiabetes

Serat pangan diketahui merupakan komponen aktif yang berperan sebagai antidiabetes karena dapat memperlambat penyerapan gula, mencegah naiknya gula darah. Selain itu

serat pangan dapat membantu mengontrol kadar kolesterol dan berat badan. Serat pangan larut dapat membentuk struktur seperti gel di lambung yang mencegah penyerapan kolesterol. Mekanisme Serat pangan dalam mencegah dan mengontrol gula darah dengan cara sebagai berikut:

- a. Memperlambat Penyerapan Gula: Serat larut membentuk gel di lambung, memperlambat pengosongan lambung dan penyerapan glukosa ke aliran darah, sehingga pelepasan insulin lebih stabil.
- b. Mencegah Lonjakan Gula: Penyerapan yang lambat mencegah kenaikan gula darah secara drastis setelah makan.
- c. Meningkatkan Sensitivitas Insulin: Asupan serat yang tinggi dapat meningkatkan kemampuan tubuh memetabolisme glukosa.
- d. Menurunkan Kolesterol: Serat membantu menurunkan penyerapan kolesterol.

Sumber makanan yang mengandung tinggi serat yang baik untuk penderita diabetes dan mencegah diabetes seperti buah, sayuran hijau, kacang-kacangan, biji-bijian utuh (oats, nasi merah), dan umbi-umbian. Target konsumsi makanan dengan serat tinggi sekitar 20-35 gram per hari, bahkan 40 gram untuk penderita diabetes.

Pada manusia ketika mengkonsumsi makanan yang memiliki banyak kandungan serat larut air pada makanan yang dia konsumsi, dalam lambung, serat larut air tersebut akan membentuk gel karena adanya reaksi serat dengan air.

Gel akan membuat lambung penuh dan mengirim sinyal ke otak bahwa lambung sudah terisi penuh atau kenyang. Hal ini menjadi harapan untuk penderita diabetes dalam penyembuhan penyakitnya dengan meringankan pekerjaan insulin karena gula yang dipecah sedikit. Insulin akan memperbaiki fungsinya dengan adanya waktu untuk perbaikan.

Pada serat larut air misalnya pektin,  $\beta$ -glukan, dan gum dan beberapa hemiselulosa mempunyai kemampuan menahan air dan dapat membentuk cairan kental dalam saluran pencernaan. Hal ini menyebabkan serat pangan larut dapat menunda pengosongan makanan dari lambung, menghambat bercampurnya makanan dalam saluran cerna dengan enzim pencernaan yang menyebabkan terjadinya pengurangan penyerapan zat makanan. Dampak mekanisme ini adalah terjadi penurunan penyerapan asam amino dan asam lemak oleh serat pangan larut air (Nainggolan dan Adimunca, 2005). Kandungan PLA dan serat pangan dari umbi-umbian diduga menyebabkan penurunan kadar glukosa darah dari produk berbasis umbi-umbian. Serat pangan mempunyai kemampuan menurunkan glukosa darah melalui mekanisme penghambatan penyerapan glukosa ke dalam darah.

Penelitian terdahulu menyebutkan hasil ekstraksi polisakarida larut air pada umbi gembili berpengaruh pada penurunan glukosa darah hingga 84.17 mg/dl. Hal ini membuktikan bahwa PLA mampu menurunkan kadar glukosa dalam darah (Harsono dan Dwi, 2012). Selain itu

beberapa serat umbi garut dan serat ubi jalar baik putih, ungu maupun orange juga berpengaruh menurunkan gula darah (Saputra dan Estiasih, 2005).

### **3. Pengaruh Serat pangan terhadap kadar Kolesterol dan Antiobesitas**

Makanan tinggi serat pangan dapat mengontrol berat badan dengan cara mengurangi nafsu makan dan kalori, menurunkan absorpsi nutrisi makro, memperlambat kecepatan pencernaan pati, dan menstimulasi lepasnya enzim pencernaan. Serat pangan larut lebih efektif dalam menurunkan konsentrasi kolesterol dibanding serat pangan tidak larut. Hal ini terjadi disebabkan oleh fermentasi serat larut air oleh mikrobiota usus halus. Proses fermentasi ini kemudian akan memodifikasi produksi asam lemak rantai pendek sehingga menurunkan kadar asetat dan meningkatkan sintesis propionat. Akibatnya proses ini akan mengurangi sintesis dari kolesterol dan asam lemak bebas (Han et al., 2015).

Manfaat mengonsumsi serat pangan salah satunya adalah menurunkan kadar kolesterol dalam darah, mengontrol kegemukan dan obesitas (Lattimer & Haub, 2010). Serat pangan mampu menurunkan kadar kolesterol dalam darah lebih dari 5%. Serat pangan yang ada dalam saluran pencernaan dapat berikatan dengan garam empedu, kemudian akan dikeluarkan bersamaan dengan feses. Dengan adanya peningkatan ekskresi kolesterol berkaitan dengan penurunan jumlah kadar kolesterol yang menuju ke

hati dan meningkatkan penggunaan kolesterol darah untuk disintesis menjadi asam empedu (Setyaji & Mulyati, 2013).

Pada mekanisme penurunan kolesterol, serat pangan dapat mereduksi terjadinya difusi glukosa dalam darah sehingga akan memperpanjang waktu absorpsi karbohidrat yang menyebabkan berkurangnya peningkatan kadar glukosa. Kadar glukosa yang menurun menyebabkan peningkatan sensitivitas insulin melalui peningkatan ekspresi gen Glucose Transporter Type 4 (GLUT-4) (Fairudz, & Nisa, 2015). Penelitian lain menyebutkan serat pangan pada biji gandum dan bekatul gandum dapat menurunkan sintesis protein yang mengikat protein-1, asam lemak sintase dan asetil-KoA karboksilase yang berperan dalam proses lipogenesis. Serat pangan dari gandum dan bekatul gandum dapat meningkatkan ekspresi protein peroxisome proliferasi-activated reseptor alfa dan gamma, alfa reseptor X hati, dan transporter pengikat ATP A1 dalam jaringan target.

Serat pangan yang bersumber dari sereal umumnya dapat menormalkan ekspresi SREBP1 dan PPAR dan efeknya (misal obesitas, biomarker inflamasi) pada lipotoksitas hati dan dislipidemia dikarenakan diet kolesterol yang tinggi. Serat pangan bersumber dari sereal juga memberikan efek menguntungkan terhadap lipotoksitas hati dengan menghambat akumulasi trigliserida dalam hati dan mengurangi konsentrasi asam lemak bebas, serta konsentrasi IL-6, leptin dan TNF- $\alpha$ . SREBP-1 (faktor transkripsi gen) yang peran penting dalam



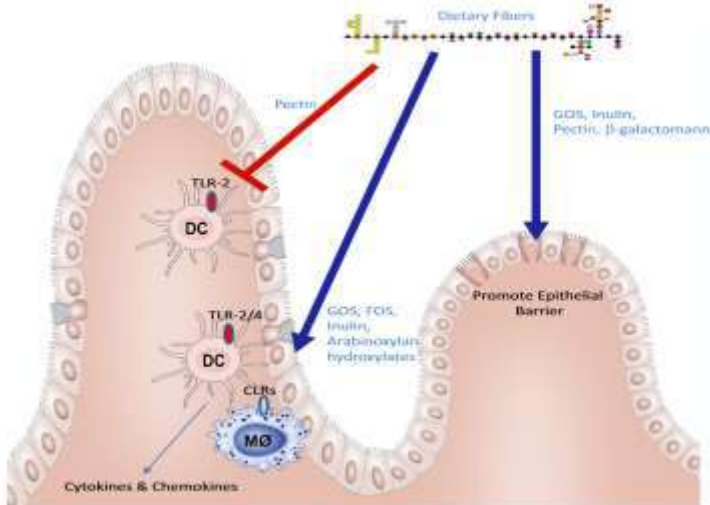
sintesis asam lemak dan metabolisme lipid. SREBP-1 yang teraktivasi akan menghambat lipogenesis dengan cara mengontrol enzim lipogenik dari *funggal fatty acid synthase* (FAS) dan *Acetyl-CoA bcarboxylase* (ACC).

Serat Pangan diketahui juga dapat meningkatkan sensitivitas dari hormon insulin, menstimulasi efek hormonal dengan cara menurunkan sekresi insulin, meningkatkan reaksi oksidasi lemak, dan mengurangi penyimpanan lemak. Kandungan serat pangan yang tinggi dapat menurunkan kadar HbA1c dan trigliserida dan juga meningkatkan kadar kolesterol HDL. Konsumsi tinggi serat pangan dapat menurunkan berat badan dan meningkatkan kontrol terhadap kadar glukosa darah (Velázquez-López et al, 2016). Orang dengan gangguan resistensi insulin dengan konsumsi serat pangan maka sensitivitas insulin perifer dapat meningkat melalui t-chain fatty acid yang bisa disintesis dari fermentasi serat pangan pada saluran cerna (usus besar). Serat pangan larut akan membentuk gel (saluran pencernaan) dan mengurangi penyerapan gula dan kolesterol di lumen usus. HbA1c secara signifikan turun pada pasien diabetes tipe 2 dengan diet tinggi serat pangan dibandingkan pasien dengan diet serat pangan yang rendah. Dietary Guidlenes of American merekomendasikan untuk mengkonsumsi serat dan pati dalam jumlah yang tepat yaitu 20-35 g/hari. Serat pangan bersifat hipokolesterolemik dan memiliki efek penurunan kolesterol yang bermanfaat untuk melawan Penyakit Jantung Koroner (PJK). Penurunan kolesterol yang disebabkan adanya serat pangan yang tinggi dengan mencegah sintesis kolesterol, menurunkan jumlah

energi makanan menyebabkan sintesis kolesterol berkurang sehingga meningkatkan ekskresi empedu, menurunkan kadar kolesterol dan menghambat absorpsi kolesterol sehingga menurunkan jumlah kolesterol yang ditransfer ke darah.

#### 4. Sifat fungsional serat pangan sebagai imunomodulator

Serat makanan dapat memiliki efek langsung dan tidak langsung pada sistem kekebalan tubuh (Cai et al, 2020). Serat makanan dapat memiliki dampak substansial pada usus melalui modulasi fungsi penghalang usus dan respons imun sebelum masuk dan difermentasi oleh mikroba di usus besar (Majima, et al, 2017). Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 5.1.

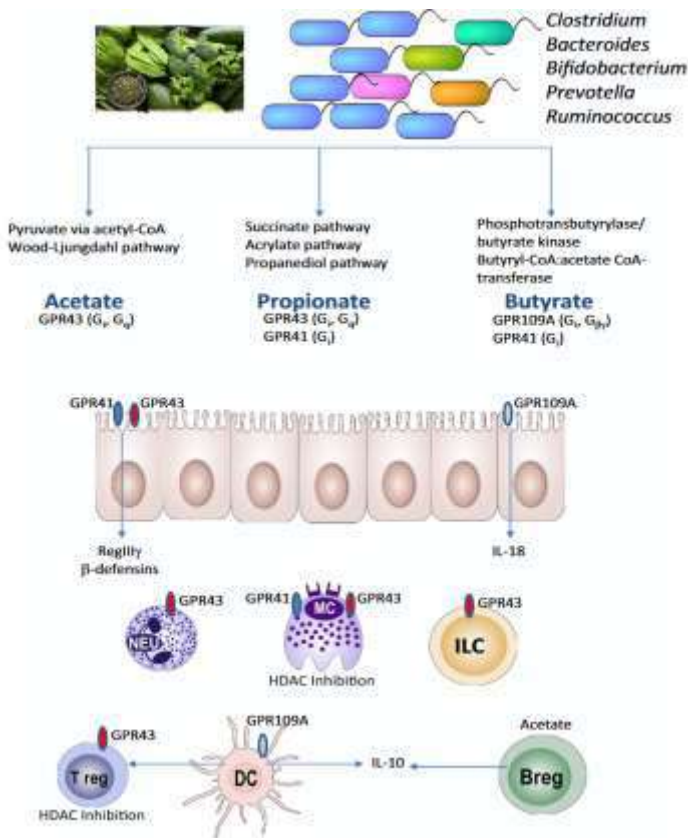


**Gambar 5. 1** *Direct effects of fibers on epithelial and immune cells*

(Sumber: Venter et al 2022)

Serat makanan seperti GOS, inulin, pektin, dan  $\beta$ -galaktomannan telah terbukti mendukung penghalang epitel usus yang fungsional. Selain itu, studi *in vitro* menunjukkan bahwa serat termasuk inulin, GOS, FOS, dan hidrolisat arabinosil dapat memodulasi sekresi sitokin dan kemokin sel epitel, makrofag, dan sel dendritik, berpotensi melalui aktivasi reseptor lektin tipe C (CLR) atau reseptor Toll-like (TLR-2 dan TLR-4). Sebagian modulasi dimediasi oleh aktivasi reseptor pengaktif proliferasi peroksisom gamma (PPAR $\gamma$ ) (Zenhom, et al 2011 and Mendis et al, 2017). Mekanisme tambahan untuk efek langsung serat pada sel imun adalah aktivasi reseptor pengenalan pola (PRR) seperti reseptor lektin tipe C (CLR, misalnya,  $\beta$ -glukan), galektin, atau reseptor Toll-like (terutama TLR-2 dan TLR-4, misalnya, GOS dan FOS) pada sel epitel dan sel sistem imun bawaan (Lehmann, et al, 2015). Serat juga dapat menghambat aktivasi PRR seperti yang ditunjukkan untuk pektin, yang memblokir sekresi sitokin yang diinduksi TLR-2 (Sahasrabudhe, et. Al, 2018).

Fermentasi mikroba dalam usus menghasilkan metabolit yang mempunyai efek imunologis ke arah yang lebih baik. Metabolit yang paling banyak diteliti adalah asam lemak rantai pendek (SCFA), yang meliputi asetat, propionat, dan butirat (Dang and Marsland, 2019). Mekanisme SCFA dan interaksinya dengan sistem imun dapat dilihat pada Gambar 5.2.



**Gambar 5. 2** *Mechanisms of SCFAs generation and interactions with the immune system*

Berbagai macam mikroba dapat menghasilkan SCFA seperti *Clostridium*, *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Prevotella*, dan *Ruminococcus*. Gambar 5.2 menjelaskan tentang Fermentasi serat makanan oleh spesies mikroba tertentu menghasilkan asetat, propionat, dan butirat melalui jalur enzimatik yang berbeda untuk setiap metabolit. Reseptor yang terkait dengan protein G yang mengikat

setiap metabolit dengan afinitas tinggi dan subunit pensinyalan Galpha ditunjukkan untuk setiap reseptor. Subset sel imun yang mengekspresikan reseptor dari SCFA yang terpengaruh karena penghambatan histone deacetylase (HDAC) yang meliputi sel epitel, sel dendritik, Treg, neutrofil, sel mast, dan ILC.

Jalur enzimatik yang berbeda (Gambar 5.2) bertanggung jawab atas pembentukan masing-masing SCFA. Beberapa mikroba dapat mensintesis SCFA berupa asam butirat dari asetat dan laktat. SCFA memberikan efek pada sistem kekebalan tubuh inang melalui pengikatan pada reseptor yang terkait dengan protein G (GPCR) seperti GPR41, GPR43, dan GPR109A, melalui modifikasi epigenetik yang menghambat aktivitas histon deasetilase (HDAC). SCFA merupakan imunomodulator yang berpotensi meningkatkan sekresi IL-10 oleh sel dendritik dan limfosit, memengaruhi hematopoiesis sumsum tulang, mengurangi aktivitas sel T efektor, memperbaiki epitel, mendukung sekresi IgA oleh limfosit B, menghambat degranulasi sel mast, dan memodulasi aktivasi ILC (Macia, et al., 2015). Sel B regulator sebagai penghasil IL-10 (sel B10) dapat distimulus secara langsung oleh asam asetat setelah konversinya menjadi asetil-CoA. Konsumsi serat atau pemberian SCFA dalam penelitian model eksperimental terbukti bisa melindungi terjadinya kolitis, artritis inflamasi, infeksi virus saluran pernapasan, peradangan saluran napas alergi, dan alergi makanan (Paparo, et al., 2020). Konsumsi pola makan serupa selama kehamilan juga dikaitkan dengan penurunan risiko alergi pada bayi yang dikandung. Orang

yang lebih teratur mengonsumsi makanan nabati yang tinggi serat memiliki risiko lebih rendah terkena COVID-19 yang parah (Kim, et al., 2021). Komposisi mikrobiota yang terkait dengan Pasien COVID-19 yang makin parah kondisinya berkorelasi dengan kurangnya konsumsi serat (Lunjani, et al. 2022).

Serat pangan dari umbi umbian juga memberikan efek imunomodulator seperti ekstrak serat bengkoang dan ekstrak umbi garut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak bengkoang mampu meningkatkan imunoglobulin (IgM, IgG dan IgA), transferin alpha, interleukin 6 (IL6) dan menstimulasi sel makrofage (Kumalasari et al, 2012). Penelitian dilakukan baik infitro maupun in vivo menggunakan mencit Balb/c. Hal yang sama juga dari ekstrak umbi garut yang menstimulus Imunoglobulin dan juga interferon gama (Kumalasari et al, 2011).

Oligosakarida jenis laktulosa dapat memberi efek imun secara tidak langsung dimana laktulosa ini dimetabolisme oleh *bifidobacteria* yang dapat menstimulasi efek anti tumor dan imunologik (Schumann, 2002) dan secara langsung dapat menstimulasi reaksi imunologik (dosis ~30 µg/ml) dengan menurunkan *endotoxin* yang menginduksi pembentukan *tumor necrosis factor* (TNF- $\alpha$ ) oleh *monocytes* (Greve et al.,1990).

#### **D. Metode Analisis Serat Pangan (*Dietary Fiber*)**

Terdapat beberapa metode untuk menentukan berbagai bahan yang dapat diklasifikasikan sebagai serat makanan.

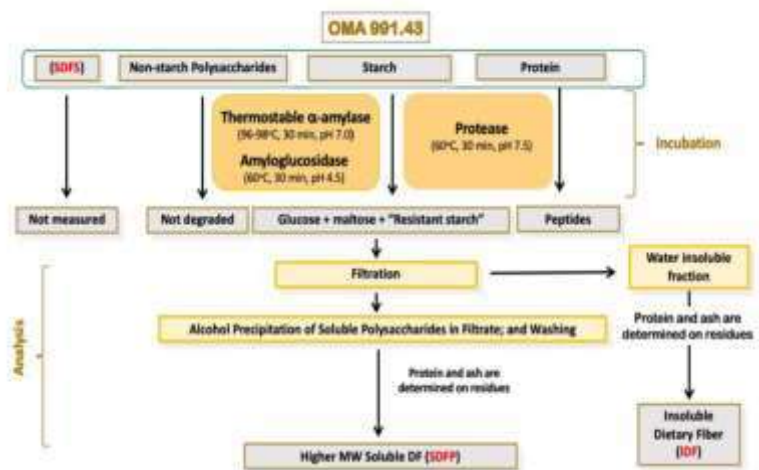
Metode untuk menentukan total serat makanan, serat makanan tidak larut dan larut dengan berbagai metode baku dari AOAC dengan bermacam serat pangan atau komponen yang akan diukur dan di Klaim dapat dilihat dalam Tabel 5.4.

**Tabel 5. 4** Metode baku dari AOAC dengan bermacam serat pangan

|                                                                   |                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AOAC<br>Official<br>Methods of<br>Analysis <sup>SM</sup><br>(OMA) | <i>What OMA claims to measure</i>                                                                          |
| 985.29                                                            | <i>Total dietary fibre in foods</i>                                                                        |
| 991.42                                                            | <i>Insoluble dietary fibre in foods and food products</i>                                                  |
| 991.43                                                            | <i>Total, soluble and insoluble dietary fibre in foods</i>                                                 |
| 993.19                                                            | <i>Soluble dietary fibre in foods and food products</i>                                                    |
| 994.13                                                            | <i>Total Dietary Fibre (Determined as Neutral Sugar Residues, Uronic Acid Residues, and Klason Lignin)</i> |
| 2001.03                                                           | <i>Dietary fibre containing supplemented resistant maltodextrin (RMO)</i>                                  |
| 993.21                                                            | <i>Total dietary fibre in food and food products with &lt; 2% starch</i>                                   |
| 2009.01                                                           | <i>Total dietary fiber in foods (INTDF)</i>                                                                |
| 2011.25                                                           | <i>Insoluble, soluble and total dietary fibre in foods (INTDF)</i>                                         |
| 2017.16                                                           | <i>Total dietary fibre in foods and food ingredients (RINTDF)</i>                                          |
| 2022.01                                                           | <i>Insoluble, soluble and total dietary fibre in foods (RINTDF)</i>                                        |
| 995.16                                                            | <i>Beta-glucan in oats</i>                                                                                 |
| 997.08                                                            | <i>Fructans in food products</i>                                                                           |
| 999.03                                                            | <i>Fructans in foods</i>                                                                                   |
| 2000.11                                                           | <i>Polydextrose in foods</i>                                                                               |
| 2001.02                                                           | <i>Trans-Galactooligosaccharides (TGOS) in selected food products</i>                                      |
| 2002.02                                                           | <i>Resistant starch in starch and plant materials</i>                                                      |

(Source: AOAC Official Methods of Analysis<sup>SM</sup> (OMA) (McCleary, 2023))

Metode analisis serat pangan baik larut maupun tak larut, serat pangan total, oligosakarida, jenis serat pangan sudah banyak dipublikasikan oleh AOAC (McCleary, 2023). Prinsip dari analisis adalah perlakuan bahan pangan dengan berbagai enzim pencernaan serta suhu inkubasi yang disesuaikan dengan kondisi dalam tubuh agar didapatkan serat pangan larut dan tak larut seperti yang diinginkan. Salah satu metode AOAC yang digunakan adalah AOAC 991.43. Diagram alir analisis serat pangan dengan AOAC 991.43 dapat dilihat pada Gambar 5.3. Akronim, fraksi serat pangan dan komponennya dapat dilihat pada Tabel 5.5.



**Gambar 5. 3** *Schematic representation of the steps involved in OMA 991.43*

(Sumber: McCleary, 2023)



**Tabel 5. 5** Akronim, fraksi serat pangan dan komponen serat pangan

| <i>Acronym</i> | <i>Dietary Fiber Fraction</i>                                                            | <i>Components</i>                      |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| TDF            | <i>Total Dietary Fiber</i>                                                               | HMWDF + SDFS                           |
| HMWDF          | <i>High Molecular Weight Dietary Fiber</i>                                               | IDF + SDFP                             |
| SDFP           | <i>Soluble Dietary Fiber that Precipitates in the presence of 78% aqueous ethanol</i>    | <i>Water soluble polysaccharides</i>   |
| SDFS           | <i>Soluble Dietary Fiber that remains Soluble in the presence of 78% aqueous ethanol</i> | <i>Non-digestible oligosaccharides</i> |
| SDF            | <i>Soluble Dietary Fiber (soluble in water)</i>                                          | SDFP + SDFS                            |
| IDF            | <i>Water Insoluble Dietary Fiber (e.g. cellulose)</i>                                    | IDF                                    |

Berbagai teknik analitik memberikan informasi rinci tentang struktur molekuler dan sifat fisikokimia serat makanan, yang secara langsung memengaruhi fungsi fisiologis dan manfaat kesehatannya. Metode seperti spektroskopi fotoelektron sinar-X, spektroskopi Raman, spektroskopi inframerah transformasi Fourier, dan difraksi sinar-X dapat memberikan informasi struktural tentang komposisi unsur, ikatan kimia, gugus fungsional, dan struktur kristal.

Morfologi permukaan dan bentuk serat makanan menentukan interaksi serat dengan lingkungan pada sistem biologis (Widaningrum et al., 2024). Teknik seperti mikroskopi elektron pemindaian (SEM) dan mikroskopi gaya atom (AFM) dapat melihat morfologi permukaan serat,

sedangkan hamburan sinar-X sudut kecil (SAXS) dapat menentukan bentuk dan ukuran senyawa yang mengkristal. Tabel 5.3 merangkum metode atau teknik melihat morfologi dari serat pangan serta pengaplikasiannya.

Struktur serat makanan sangat kompleks dengan berbagai efek fungsionalnya. Sangat diperlukan identifikasi jenis serat yang dikonsumsi sesuai dengan manfaat kesehatan yang diharapkan dan ingin dikembangkan untuk meningkatkan potensi terapeutik (Cantu-Jungles & Hamaker, 2020). Pengetahuan terkait jumlah serat yang dikonsumsi oleh masyarakat dan asupan yang direkomendasikan sesuai kebutuhan untuk kesehatan (Stephen et al., 2017). Asupan serat makanan yang direkomendasikan adalah 28–42 g per hari.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amiri, M. S., Mohammadzadeh, V., Yazdi, M. E. T., Barani, M., Rahdar, A., & Kyzas, G. Z. (2021). Plant-Based Gums and Mucilages Applications in Pharmacology and Nanomedicine: A Review. *Molecules*, 26(6)
- Birt, D. F., Boylston, T., Hendrich, S., Jane, J. L., Hollis, J., Li, L., McClelland, J., Moore, S., Phillips, G. J., Rowling, M., Schalinske, K., Scott, M. P., & Whitley, E. M. (2013). *Resistant starch*: Promise for improving human health. *Advances in Nutrition*, 4(6), 587–601
- Bojarczuk, A., Skąpska, S., Mousavi Khaneghah, A., & Marszałek, K. (2022). Health benefits of *resistant starch*: A review of the literature. *Journal of Functional Foods*, 93, Article 105094
- Cai Y, Folkerts J, Folkerts G, Maurer M, Braber S. Microbiotadependent and -independent effects of dietary fiber on human health. *Br J Pharmacol*. 2020;177(6):1363-1381.
- Cronin, P., Joyce, S. A., O'Toole, P. W., & O'Connor, E. M. (2021). Dietary Fibre Modulates the Gut Microbiota. *Nutrients*, 13(5)
- Dang AT, Marsland BJ. Microbes, metabolites, and the gut-lung axis. *Mucosal Immunol*.
- Debnath, B., Haldar, D., & Purkait, M. K. (2021). A critical review on the techniques used for the synthesis and

applications of crystalline cellulose derived from agricultural wastes and forest residues. Carbohydrate Polymers, 273, Article 118537.

Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., & Patil, R. T. (2012). Dietary fibre in foods: A review. Journal of Food Science and Technology, 49(3), 255–266.

Feskens, E. J. M., & de Graaf, C. (2013). The effects of bulking, viscous and gelforming dietary fibres on satiation. British Journal of Nutrition, 109(7), 1330–1337

Gupta, P. K., Raghunath, S., Venkatesh Prasanna, D., Venkat, P., Shree, V., Chithananthan, C., Choudhary, S., Surender, K., & Geetha, K. (2019). An Update on Overview of Cellulose, Its Structure and Applications. In. 10.5772/ intechopen.84727

Gutiérrez, T. J., & Tovar, J. (2021). Update of the concept of type 5 *resistant starch* (RS5): Self-assembled starch V-type complexes. Trends in Food Science & Technology, 109, 711–724

Hamdani, A. M., Wani, I. A., & Bhat, N. A. (2019). Sources, structure, properties and health benefits of plant gums: A review. International Journal of Biological Macromolecules, 135, 46–61.

Han S, Jiao J, Zhang W, Xu J, Wan Z, Zhang W, et al. Dietary fiber prevents obesity-related liver lipotoxicity by modulating sterolregulatory element binding protein pathway in C57BL/6J mice fed a high-fat/cholesterol diet. Scientific Reports; 2015. 5:15256

- Harsono, Maino Dwi. 2012. Efek Hipoglikemik Biskuit Mengandung Polisakarida Larut Air Umbi Gadung dan Umbi Gembili dan Alginat pada Tikus Diabetes. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Kaur, R., Sharma, M., Ji, D., Xu, M., & Agyei, D. (2020). Structural Features, Modification, and Functionalities of Beta-Glucan. *Fibers*, 8(1), 1
- Kim H, Rebholz CM, Hegde S, et al. Plant-based diets, pescatarian diets and COVID-19 severity: a population-based case-control study in six countries. *BMJ Nutr Prev Health*. 2021;4:257-266
- Kumalasari, I. D, Harmayani, E., Marsono, Y., 2011. Effect of arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) diet on the selected bacterial population and chemical properties of caecal digesta of Sprague Dawley rats. *International Research Journal of Microbiology* Vol. 2 (8):278-284
- Kumalasari, I. D, Sugahara, T., Nishi, K., Harmayani, E., Raharjo, S., Asmara, W., 2012. Evaluation of immunostimulatory effect of the arrowroot (*Maranta arundinacea*. L) in vitro and in vivo. *Cytotechnology Journal* Vol. 64 (2)
- Kumalasari, I. D, Sugahara, T., Nishi, K., Harmayani, E., Raharjo, S. 2013. Effect of bengkoang (*Pachyrhizus erosus*) fiber extract on murine macrophage-like J774.1 cells and mouse peritoneal macrophages. *Journal of Functional Foods*. Vol. 5 (2)

- Kumalasari, I. D, Sugahara, T., Nishi, K., Harmayani, E., Raharjo, S. 2013. Immunomodulatory activity of Bengkoang (*Pachyrhizus erosus*) fiber extract in vitro and in vivo. *Cytotechnology Journal*. 66(1): 75-85
- Kumalasari, I. D, Sugahara, T., Nishi, K., 2023. Immunostimulating effect of sweet potato fiber extract on IgM production by HB4C5 cells. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol 821 (1), 012028
- Kumar, N., & Dixit, A. (2021). Chapter 4 - Management of biomass. In N. Kumar & A. Dixit (Eds.), *Nanotechnology for Rural Development* (pp. 97-140).
- Lattimer JM & Haub MD. Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*; 2010. 2:1266–89.
- Lehmann S, Hiller J, van Bergenhenegouwen J, Knippels LM, Garssen J, Traidl-Hoffmann C. In vitro evidence for immunomodulatory properties of non-digestible oligosaccharides: direct effect on human monocyte derived dendritic cells. *PLoS One*. 2015;10:e0132304
- Liu, J., Wang, Z., Wang, Z., Hao, Y., Wang, Y., Yang, Z., Li, W., & Wang, J. (2020). Physicochemical and functional properties of soluble dietary fiber from different colored quinoa varieties (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of Cereal Science*, 95,
- Lunjani N, Satitsuksanoa P, Lukasik Z, Sokolowska M, Eiwegger T, O'Mahony L. 2018. Recent developments

and highlights in mechanisms of allergic diseases: microbiome. *Allergy*;73(12):2314-2327.

Lupo, C., Boulos, S., Gramm, F., Wu, X., & Nystrom, " L. (2022). A microcalorimetric and microscopic strategy to assess the interaction between dietary fibers and small molecules. *Carbohydrate Polymers*, 287, Article 119229

Macia L, Tan J, Vieira AT, et al. Metabolite-sensing receptors GPR43 and GPR109A facilitate dietary fibre-induced gut homeostasis through regulation of the inflammasome. *Nat Commun*. 2015;6:6734.

Majima A, Handa O, Naito Y, et al. Real-time monitoring of transepithelial electrical resistance in cultured intestinal epithelial cells: the barrier protection of water-soluble dietary fiber. *J Dig Dis*. 2017;18(3):151-159

McCleary, B. V., 2023. Measurement of Dietary Fiber: Which AOAC Official

Method of AnalysisSM to Use, *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 106(4), 917–930

Mendis M, Leclerc E, Simsek S. Arabinoxylan hydrolyzates as immunomodulators in Caco-2 and HT-29 colon cancer cell lines. *Food Funct*. 2017;8:220-231

Mussatto, S. I., & Mancilha, I. M. (2007). Non-digestible oligosaccharides: A review. *Carbohydrate Polymers*, 68(3), 587–597

- Nainggolan, O dan C. Adimunca. 2005. Diet Sehat Dengan Serat. Cermin Dunia Kedokteran No. 147.
- Official Methods of Analysis (2020) 21st Ed., Appendix D, AOAC INTERNATIONAL, Rockville, MD,
- Opperman, C., Majzoobi, M, Farahnaky, A, Shah, R., Thi Thu Hao Van, T. T. H., Ratanpaul, V., Blanch, E. W., Brennan, C., Eri, R., 2025. Food Research International. 206 115843
- Paparo L, Nocerino R, Ciaglia E, Di Scala C, et al. Butyrate as bioactive human milk protective component against food allergy. *Allergy*. 2020;76(5):1398-1415
- Raghavendra, S. N., Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., & Tharanathan, R. N. (2004). Dietary fiber from coconut residue: Effects of different treatments and particle size on the hydration properties. *European Food Research and Technology*, 218(6), 563–567
- Sahasrabudhe NM, Beukema M, Tian L, et al. Dietary fiber pectin directly blocks toll like receptor 2-1 and prevents doxorubicininduced ileitis. *Front Immunol*. 2018;9:383
- Setyaji, DY., & Mulyati, T. Pengaruh Pemberian Nata de Coco terhadap Kadar Kolesterol LDL dan HDL pada Wanita Dislipidemia. [Skripsi]. Semarang (Indonesia): Universitas Diponegoro; 2013
- Stephen, A. M., Champ, M. M. J., Cloran, S. J., Fleith, M., van Lieshout, L., Mejborn, H., & Burley, V. J. (2017). Dietary fibre in Europe: Current state of knowledge on



- definitions, sources, recommendations, intakes and relationships to health. *Nutrition Research Reviews*, 30(2), 149–19
- Tang, W., Lin, X., Walayat, N., Liu, J., & Zhao, P. (2024). Dietary fiber modification: structure, physicochemical properties, bioactivities, and application—a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–21
- Tejada-Ortigoza, V., Garcia-Amezquita, L. E., Serna-Saldívar, S. O., & Welte-Chanes, J. (2016). Advances in the Functional Characterization and Extraction Processes of Dietary Fiber. *Food Engineering Reviews*, 8(3), 251–27
- Velázquez-López L, Muñoz-Torres AV, García-Peña C, López-Alarcón M, IslasAndrade S, & Escobedo-De L Peña, J. Fiber in diet is associated with improvement of glycated hemoglobin and lipid profile in mexican patients with type 2 diabetes. *Journal of Diabetes Research*; 2016
- Venter, C., Meyer, R.W, Greenhawt, M., Pali-Schöll, I., Nwaru, B., Roduit, C., Untersmayr, E., Adel-Patient, K et al. 2022. Role of dietary fiber in promoting immune health—An EAACI position paper, *Allergy*, 77:3185–3198.
- Wanders, A. J., Jonathan, M. C., van den Borne, J. J. G. C., Mars, M., Schols, H. A., Buttriss, J. L., & Stokes, C. S. (2008). Dietary fibre and health: An overview. *Nutrition Bulletin*, 33(3), 186–200.

- Widaningrum, Flanagan, B. M., Williams, B. A., Sonni, F., Mikkelsen, D., & Gidley, M. J. (2020). Fruit and vegetable insoluble dietary fibre in vitro fermentation characteristics depend on cell wall type. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 23, Article 100223
- Wood, P. J. (2007). Cereal  $\beta$ -glucans in diet and health. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 230–238
- Zenhom M, Hyder A, de Vrese M, Heller KJ, Roeder T, Schrezenmeir J. Prebiotic oligosaccharides reduce proinflammatory cytokines in intestinal Caco-2 cells via activation of PPAR $\gamma$  and peptidoglycan recognition protein 3. *J Nutr*. 2011;141:971-977

# **BAB 6**

## **PATI RESISTEN, OLIGOSAKARIDA PREBIOTIK, DAN GULA ALKOHOL**

**Oleh: Dr. Aprilia Fitriani, S.T.P., M.Sc.**

### **A. Pendahuluan**

Peningkatan prevalensi penyakit degeneratif seperti obesitas, diabetes melitus tipe 2, dan gangguan kesehatan saluran cerna mendorong berkembangnya konsep pangan fungsional yang tidak hanya berperan sebagai sumber energi, tetapi juga memberikan manfaat fisiologis bagi kesehatan. Dalam konteks ini, komponen karbohidrat non-konvensional seperti pati resisten, gula alkohol, dan oligosakarida prebiotik menjadi perhatian utama karena karakteristik metabolisme dan efek biologisnya yang berbeda dibandingkan karbohidrat sederhana.

Pati resisten merupakan fraksi pati yang tidak dicerna di usus halus dan difermentasi oleh mikrobiota usus besar, sehingga berkontribusi terhadap kesehatan saluran pencernaan serta pengendalian glikemik. Sementara itu, gula alkohol atau poliol dikenal sebagai pemanis rendah kalori dengan respons glikemik yang lebih rendah dibandingkan gula konvensional, sehingga banyak diaplikasikan dalam produk pangan untuk individu dengan kebutuhan diet khusus. Di sisi lain, oligosakarida prebiotik

berperan sebagai substrat selektif bagi pertumbuhan bakteri menguntungkan di usus, yang berdampak positif terhadap keseimbangan mikrobiota dan sistem imun.

Bab ini membahas secara komprehensif karakteristik kimia dan fisiologis pati resisten, gula alkohol, dan oligosakarida prebiotik, termasuk mekanisme pencernaan, manfaat kesehatan, serta aplikasinya dalam pengembangan produk pangan fungsional. Pemahaman yang mendalam mengenai ketiga komponen ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam pengembangan inovasi pangan yang berorientasi pada peningkatan kesehatan masyarakat.

## **B. Pati Resisten**

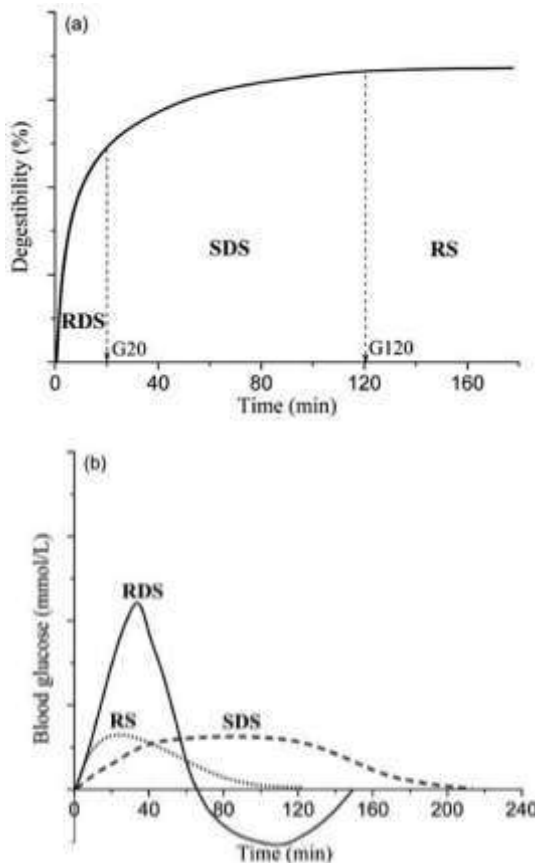
### **1. Klasifikasi Pati**

Berdasarkan tingkat kecernaannya, pati diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu pati yang dicerna cepat (*Rapidly Digestible Starch*–RDS), pati yang dicerna lambat (*Slowly Digestible Starch*–SDS), dan pati yang tidak tercerna (*Resistant Starch*–RS). RDS dapat dicerna oleh sistem pencernaan dalam waktu kurang dari 20 menit (Aluko, 2012; Miao et al., 2013), sehingga berpotensi memicu peningkatan kadar glukosa dan insulin darah secara cepat dan signifikan (Miao et al., 2013). Sementara itu, SDS mengalami proses pencernaan secara bertahap dan sempurna dalam rentang waktu 20–120 menit (Aluko, 2012; Miao et al., 2013), sehingga menghasilkan respons glikemik dan insulin yang lebih stabil dan perlahan (Miao et al., 2013; Magallanes-Cruz, Flores-Silva and Bello-Perez, 2017).

Perbedaan tingkat pencernaan pati serta dampaknya terhadap respons glukosa darah ditampilkan pada Gambar 6.1.

## **2. Definisi Pati Resisten dan Klasifikasinya**

Istilah pati resisten (*Resistant Starch*–RS) pada awalnya digunakan untuk menggambarkan fraksi pati yang mengalami retrogradasi akibat proses pengolahan sehingga tidak dapat dihidrolisis oleh enzim pencernaan. Konsep RS pertama kali diperkenalkan oleh Englyst et al. (1982). RS bersifat tidak tercerna oleh enzim pencernaan dan melewati lambung serta usus halus tanpa mengalami hidrolisis maupun absorpsi, hingga akhirnya mencapai kolon. Di dalam kolon, RS difermentasi oleh mikroflora usus besar dan menghasilkan asam lemak rantai pendek (*Short Chain Fatty Acids*–SCFA), seperti asetat, propionat, dan butirat (Aluko, 2012; Miao et al., 2013; Lockyer and Nugent, 2017; Magallanes-Cruz, Flores-Silva and Bello-Perez, 2017). Sisa fermentasi yang tidak dimanfaatkan akan dikeluarkan bersama feses (Aluko, 2012). Variasi tingkat pencernaan pati oleh enzim pencernaan dipengaruhi oleh proporsi daerah amorfus dan tingkat kristalinitas pati. Pati dengan tingkat kristalinitas yang tinggi dan daerah amorfus yang rendah cenderung memiliki pencernaan yang lebih rendah (Magallanes-Cruz, Flores-Silva and Bello-Perez, 2017).



**Gambar 6. 1** Klasifikasi fraksi pati berdasarkan sifat kecernaannya. (a) Kecernaan *In vitro* menggunakan *Englyst assay*, dan (b) Respon glikemik pada masing-masing fraksi pati berdasarkan respon glikemik secara *in vivo*  
(Sumber: (Miao et al., 2013))

Berdasarkan karakteristiknya, RS diklasifikasikan ke dalam lima tipe. RS tipe 1 merupakan pati yang secara fisik tidak dapat dijangkau oleh enzim pencernaan karena terperangkap dalam matriks protein dan dinding sel

tanaman, sehingga sulit dicerna dan menghasilkan respons glikemik yang lebih rendah (Aluko, 2012; Birt et al., 2013; Sánchez-zapata et al., 2014). Jenis RS ini banyak ditemukan pada sereal utuh yang belum mengalami penggilingan. Struktur matriks protein dan dinding sel yang tebal menghambat penetrasi air ke dalam jaringan, menyebabkan pati tidak memperoleh air yang cukup untuk membengkak dan mengalami gelatinisasi. Tanpa proses pembengkakan dan gelatinisasi, pati menjadi kurang dapat diakses oleh enzim pencernaan (Birt et al., 2013). Proses penggilingan dapat merusak dinding sel sehingga menurunkan sifat resistensi pati; semakin tinggi tingkat penggilingan, semakin meningkat laju pencernaan pati (Aluko, 2012).

RS tipe 2 terdiri atas granula pati alami (*native starch*) dari sumber tertentu yang tidak melalui proses pemasakan. Pati ini memiliki struktur granula dengan derajat kristalinitas yang tinggi, sehingga sulit dihidrolisis oleh enzim pencernaan (Aluko, 2012; Sánchez-zapata et al., 2014). RS tipe 2 umumnya terdapat pada kentang mentah, pisang mentah, serta pati dengan kandungan amilosa tinggi (Aluko, 2012; Lockyer and Nugent, 2017).

RS tipe 3 adalah pati teretrogradasi yang terbentuk ketika bahan pangan berpati dimasak dan kemudian didinginkan (Aluko, 2012; Sánchez-zapata et al., 2014; Lockyer and Nugent, 2017). Proses retrogradasi menyebabkan perubahan struktur amilosa dan amilopektin, di mana rantai panjang amilopektin membentuk struktur *double helices*, sementara molekul amilosa membentuk

ikatan antar molekul. Kondisi ini meningkatkan kristalinitas pati sehingga menurunkan aksesibilitas enzim pencernaan dan menghambat proses hidrolisis (Aluko, 2012). Selain itu, retrogradasi pati juga meningkatkan kestabilan pati terhadap pemanasan pada suhu tinggi (Sánchez-zapata et al., 2014).

RS tipe 4 merupakan pati resisten yang dihasilkan melalui modifikasi kimia, seperti esterifikasi, substitusi, konversi, atau pembentukan ikatan silang (*cross-linking*) menggunakan reagen kimia tertentu (Birt et al., 2013; Sánchez-zapata et al., 2014; Lockyer and Nugent, 2017). Proses modifikasi ini mengubah struktur pati dan menurunkan kemampuan pembengkakan serta gelatinisasinya, sehingga pati menjadi kurang dapat diakses oleh enzim pencernaan (Birt et al., 2013). Rendahnya aksesibilitas enzim tersebut berkontribusi terhadap penurunan tingkat pencernaan pati (Sánchez-zapata et al., 2014; Lockyer and Nugent, 2017).

RS tipe 5 terbentuk melalui interaksi antara pati dan lipid yang menghasilkan kompleks heliks tunggal (*single helical complex*) (Birt et al., 2013; Sánchez-zapata et al., 2014). Pembentukan kompleks ini menghambat pemutusan ikatan pati oleh enzim pencernaan. Kompleks amilo-lipid melibatkan interaksi amilosa dan amilopektin dengan asam lemak, sehingga mengurangi kemampuan pati untuk menyerap air yang diperlukan dalam proses pembengkakan dan gelatinisasi selama pengolahan. Oleh karena itu, RS tipe



5 memiliki kestabilan yang tinggi terhadap proses pengolahan pangan (Birt et al., 2013).

### **3. Sumber Pati Resisten**

Pati resisten (RS) merupakan polisakarida cadangan utama pada tumbuhan yang tersimpan dalam bentuk granula pada kloroplas daun serta amiloplas biji-bijian, legum, dan umbi-umbian (Sajilata, Singhal and Kulkarni, 2006). Secara alami, RS terdapat pada sereal, biji-bijian, serta berbagai pangan berpati, termasuk yang mengalami perlakuan pemanasan tertentu (Charalampopoulos et al., 2002). Ketahanan pati terhadap pencernaan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain bentuk fisik bahan (utuh atau tergiling), ukuran dan tipe granula pati, interaksi pati dengan komponen pangan lain, serta proses pengolahan, khususnya pemasakan dan pendinginan (Slavin, 2004). Proses penggilingan, seperti pada beras dan gandum, terbukti meningkatkan pencernaan pati dan menurunkan kandungan RS (Sajilata, Singhal and Kulkarni, 2006).

Sebagai komponen pangan, RS memiliki nilai energi yang lebih rendah (8 kJ/g) dibandingkan pati yang sepenuhnya tercerna (15 kJ/g). Pisang mentah dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan kaya RS dan diaplikasikan dalam berbagai produk, termasuk produk roti, tanpa menurunkan sifat pengolahan maupun karakteristik sensorisnya (Rochfort and Panozzo, 2007). Pisang mentah dilaporkan sebagai salah satu sumber RS alami tertinggi, dengan kandungan RS yang berkontribusi terhadap efek kesehatan yang menguntungkan (Rodríguez-Ambríz et al.,

2008). Namun demikian, proses pemasakan pada buah mentah dapat mengubah RS menjadi pati yang lebih mudah dicerna (Rodríguez-Ambriz et al., 2008).

Umbi-umbian, khususnya kentang mentah, memiliki kandungan RS yang tinggi akibat dominasi pola kristalinitas tipe B yang relatif resisten terhadap hidrolisis enzimatis (Bednar et al., 2001). Sebaliknya, pati jagung memiliki konsentrasi RS yang lebih rendah dibandingkan sumber pati lainnya. Pati tinggi amilosa, seperti amilomaize, diketahui mampu menurunkan pencernaan pati serta respons glukosa dan insulin darah pada manusia (Bednar et al., 2001).

Biji-bijian utuh merupakan sumber karbohidrat fermentabel yang kaya akan serat pangan, pati resisten, dan oligosakarida (Slavin, 2004). Kandungan RS pada biji-bijian utuh jauh lebih tinggi dibandingkan tepung sereal, karena proses penggilingan menghilangkan lapisan perikarp, aleuron, dan lembaga biji yang kaya lipid dan serat, sehingga mengubah komposisi kimia bahan (Bednar et al., 2001; Lunn and Buttriss, 2007). Tepung sereal umumnya memiliki pola kristalinitas tipe A yang lebih mudah dihidrolisis, sehingga mengandung lebih banyak pati cepat dan lambat dicerna dibandingkan RS (Bednar et al., 2001). Produk sereal olahan dilaporkan memiliki kadar RS sedang, dengan rata-rata sekitar 9,6% dari total pati, sementara beberapa produk seperti pasta menunjukkan laju pencernaan pati yang lebih lambat akibat struktur matriksnya yang padat (Bednar et al., 2001).

Legum dikenal sebagai sumber serat pangan dan pati resisten yang sangat baik, dengan kandungan RS yang relatif tinggi dan tetap bertahan setelah proses pemasakan (Rochfort and Panozzo, 2007). Pati legum umumnya memiliki kadar amilosa lebih tinggi dibandingkan serealialia dan pseudoserealialia (Mikulíiová, Masá and Kraic, 2008), serta menunjukkan pola kristalinitas tipe C yang lebih resisten terhadap hidrolisis dibandingkan tipe A (Bednar et al., 2001). Selain itu, interaksi antara pati dan protein juga berperan dalam meningkatkan resistensi pati legum terhadap pencernaan; perlakuan awal dengan pepsin pada kacang merah dilaporkan meningkatkan kerentanan pati terhadap enzim amilolitik (Bednar et al., 2001).

Kacang-kacangan yang mengalami proses pemasakan cenderung mengalami retrogradasi pati lebih cepat, sehingga memperlambat proses pencernaan. Produk kacang-kacangan olahan umumnya mengandung pati resisten tipe 3 (RS3) dalam jumlah yang signifikan. Secara umum, pati kacang-kacangan memiliki daya cerna yang lebih rendah dibandingkan pati serealialia, yang berkaitan dengan kandungan amilosa yang lebih tinggi dan berkontribusi terhadap peningkatan fraksi pati resisten. Fenomena ini sejalan dengan temuan bahwa pati serealialia berkadar amilosa tinggi dicerna dengan laju yang lebih lambat (Tharanathan and Mahadevamma, 2003). Kandungan pati resisten pada biji-bijian polong-polongan menunjukkan variasi yang sangat luas, mulai dari sangat tinggi hingga relatif rendah. Selain faktor genetik, proses pengolahan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap

kadar pati resisten. Perlakuan hidrotermal dapat meningkatkan atau menurunkan fraksi pati resisten, bergantung pada kondisi proses dan varietas kacang-kacangan yang digunakan (Giczewska and Borowska, 2003).

#### **4. Pembentukan Pati Resistan**

Pengetahuan mengenai pengembangan metode tradisional dalam modifikasi pati terus berkembang, seiring dengan kemajuan teknologi baru yang ditujukan untuk meningkatkan produksi pati resisten (RS) secara industri. Proses modifikasi pati membuka peluang untuk meningkatkan kandungan RS dalam bahan pangan. Dalam praktiknya, metode kimia dan enzimatik merupakan pendekatan yang paling umum digunakan untuk meningkatkan kadar RS pada produk pangan.

Modifikasi enzimatik menyebabkan terjadinya hidrolisis pati, yaitu pemecahan molekul pati menjadi senyawa dengan massa molekul yang lebih rendah, seperti maltodekstrin dan sirup. Sementara itu, modifikasi kimia melibatkan penggantian gugus hidroksil ( $-OH$ ) pada rantai pati dengan gugus substituen kimia lain melalui reaksi oksidasi, esterifikasi, dan eterifikasi. Proses ini mengubah struktur makromolekul pati dan berdampak signifikan terhadap sifat fisikokimia pati. Namun, metode kimia memiliki sejumlah keterbatasan, antara lain waktu proses yang relatif lama, potensi penurunan mutu produk, laju reaksi yang rendah, serta risiko pencemaran lingkungan. Selain itu, aspek keamanan pangan menjadi perhatian

penting ketika pati termodifikasi secara kimia digunakan dalam industri makanan (Fuentes-Zaragoza et al., 2010).

Alternatif lain untuk meningkatkan kandungan RS adalah melalui metode modifikasi fisik. Metode ini bersifat lebih ramah lingkungan dan ekonomis, serta tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Dibandingkan dengan pati yang dimodifikasi secara kimia, pati yang dimodifikasi secara fisik menunjukkan perbaikan yang signifikan pada sifat fisikokimia dan potensi aplikasinya (Xie et al., 2018). Modifikasi fisik pati umumnya meliputi perlakuan panas dan kelembapan (*heat-moisture treatment*), autoklaf, dan anil. Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai metode fisik modern dengan intensitas pemrosesan yang lebih ringan juga mulai dikembangkan, seperti tekanan hidrostatik tinggi, pemanasan gelombang mikro, ekstrusi, dan sonikasi. Metode-metode ini berpotensi menggantikan proses termal konvensional yang memerlukan energi tinggi dan waktu pemrosesan yang lama (Gorecki et al., 2018).

## **C. Manfaat Fisiologis Pati Resisten**

### **1. Kesehatan Saluran Cerna**

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa fermentasi pati resisten (RS) oleh mikroorganisme di usus besar menghasilkan asam lemak rantai pendek (*short-chain fatty acids*, SCFA), seperti asam laktat, asetat, propionat, dan butirat, yang merupakan produk akhir utama dari metabolisme fermentatif mikroba (Topping and Clifton,

2001; Al-Sheraji et al., 2013; Zeng et al., 2017). Di antara SCFA tersebut, asam butirat memiliki peran penting dalam menjaga kesehatan epitel usus besar, antara lain dengan menyediakan sumber energi utama bagi mikroflora dalam usus. Sejumlah penelitian melaporkan bahwa butirat memberikan efek protektif dengan menurunkan risiko terjadinya gangguan kesehatan sel epitel usus.

Asam propionat dan asetat berkontribusi dalam menurunkan pH lumen usus besar, sehingga menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen dan menciptakan lingkungan yang mendukung proliferasi bakteri menguntungkan sebagai penyusun mikrobiota usus (Shen et al., 2017). Lebih lanjut, pati resisten diketahui secara spesifik mampu merangsang aktivitas mikroba penghasil butirat (Zhou, Ma and Hu, 2021). Sebagai substrat energi penting bagi kolonosit, butirat telah terbukti secara *in vitro* menghambat transformasi ganas sel kolon, yang menegaskan peran fraksi RS yang mudah difermentasi dalam pencegahan kanker usus besar (Wang, Wang and Xiao, 2018). Efek antiproliferatif butirat terhadap sel kanker dilaporkan berkaitan dengan penghentian siklus sel pada fase tertentu (Sharma, Yadav and Ritika, 2008).

Selain itu, keberadaan RS dalam diet, terutama bila dikombinasikan dengan serat tidak larut seperti dedak gandum, dilaporkan meningkatkan frekuensi buang air besar dan memperpendek waktu transit usus. Kondisi ini diduga berperan dalam menurunkan risiko kanker kolorektal (Muir et al., 2004). Kombinasi RS dengan fraksi

serat tidak larut juga dilaporkan menghasilkan konsentrasi SCFA feses yang lebih tinggi, khususnya butirat (Leu, Hu and Young, 2002). Sebaliknya, ketika RS dikombinasikan dengan serat larut dari *Psyllium* (*Plantago ovata*), lokasi fermentasi RS cenderung bergeser ke bagian distal usus besar. Mengingat sebagian besar lesi kanker terbentuk pada segmen terminal kolon, temuan ini memiliki implikasi penting dalam strategi pencegahan kanker (Bojarczuk et al., 2022).

Secara keseluruhan, intervensi diet terbukti dapat memodulasi proses tumorigenesis di usus besar. Oleh karena itu, individu dewasa dengan lesi prakanker berpotensi memperoleh manfaat dari pola makan tinggi RS, yang menunjukkan peran RS sebagai komponen preventif bagi kelompok berisiko tinggi terhadap kanker kolorektal (Wang, Wang and Xiao, 2018). Selain itu, RS juga dilaporkan memiliki sifat prebiotik melalui kemampuannya merangsang pertumbuhan bakteri menguntungkan, seperti *Bifidobacterium* dan *Lactobacillus* (Keenan et al., 2015).

## **2. Pati Resisten sebagai Oligosakarida Prebiotik**

RS juga disebut sebagai oligosakarida prebiotik karena dapat menstimulus pertumbuhan mikroflora dalam kolon. Pengaruh RS terhadap komposisi mikrobiota usus besar sangat bergantung pada jenis RS yang dikonsumsi (Bosch et al., 2014; Goldsmith et al., 2018; Heeney et al., 2019). Fermentasi RS2, misalnya, dilaporkan meningkatkan populasi *Ruminococcus bromii* dan *Eubacterium rectale*, yang berkontribusi terhadap peningkatan produksi butirat

dalam feses. Sementara itu, RS4 cenderung meningkatkan jumlah *Parabacteroides distasonis* dan *Bifidobacterium adolescentis*, yang berperan dalam modulasi metabolisme lipid (Metzler-Zebeli et al., 2019). Demikian pula, fermentasi pati retrogradasi (RS3) meningkatkan keberadaan *Roseburia* spp. dan *Ruminococcus bromii*, yang dikenal sebagai produsen utama butirat di usus besar (Zhang et al., 2013). Secara khusus, *Ruminococcus bromii* diakui sebagai spesies kunci dalam degradasi RS, terutama RS3, di usus besar manusia (Ze et al., 2012).

Temuan-temuan tersebut menegaskan bahwa RS berperan penting dalam menentukan komposisi dan proporsi relatif mikroorganisme dalam usus besar. Selain menghasilkan SCFA, fermentasi RS juga menghasilkan gas, seperti hidrogen, metana, dan karbon dioksida. Akumulasi gas tersebut di lumen usus dapat menimbulkan kembung dan rasa tidak nyaman, sehingga kondisi tersebut perlu mendapat perhatian khusus, terutama pada individu dengan gangguan fungsional saluran cerna seperti sindrom iritasi usus (*Irritable Bowel Syndrome*, IBS) (Piecnyk et al., 2012).

### **3. Pengaruh RS terhadap Metabolisme Glukosa**

Gangguan metabolisme karbohidrat saat ini menjadi masalah epidemiologis utama di tingkat global. Diabetes merupakan penyakit kronis yang berkaitan dengan kelainan metabolisme karbohidrat. Diabetes berhubungan erat dengan berbagai komplikasi dan berperan sebagai faktor risiko utama bagi penyakit serius lainnya, terutama penyakit kardiovaskular yang merupakan penyebab kematian



tertinggi di dunia. Selain itu, diabetes meningkatkan risiko terjadinya gangguan ginjal, kerusakan saraf, gangguan penglihatan, serta komplikasi pada kaki (Avogaro and Fadini, 2019). Upaya pencegahan primer, deteksi dini, serta pencegahan sekunder melalui pengelolaan komplikasi terbukti dapat menurunkan angka kematian akibat diabetes secara signifikan. Oleh karena itu, penerapan pola makan yang sehat dan peningkatan aktivitas fisik menjadi aspek penting dalam strategi pencegahan dan promosi kesehatan.

Meskipun tersedia terapi untuk mengurangi beberapa komplikasi diabetes, pendekatan jangka panjang yang bertujuan meningkatkan sensitivitas jaringan terhadap insulin dan mencegah perkembangan diabetes melitus tipe 2 dinilai lebih efektif (Tuomilehto et al., 2008). Pengendalian kadar glukosa dan insulin darah merupakan faktor kunci dalam menjaga kesehatan, baik pada individu sehat maupun penderita diabetes. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa perubahan gaya hidup, terutama perbaikan pola makan dan peningkatan aktivitas fisik, berperan positif dalam menunda onset diabetes tipe 2 (Hemmingsen et al., 2018).

Pati dan karbohidrat lainnya berkontribusi terhadap peningkatan kadar glukosa darah. Namun, pati golongan SDS mampu menghasilkan pelepasan glukosa yang lebih lambat. Variasi struktur, sumber pati, serta metode pengolahan pangan memengaruhi tingkat hidrolisis pati dan proses metabolisme selanjutnya. Perbedaan ini berdampak pada variasi respons glikemik tubuh, yang berkaitan erat dengan

kemampuan mengendalikan kadar glukosa darah (Manning and Batterham, 2014; Harris, 2019). Selain itu, makanan yang mengandung RS menghasilkan pati yang tidak dapat dicerna. Akibatnya, glukosa tidak dapat dilepaskan ke dalam aliran darah (Barclay et al., 2021).

#### **4. Pengaruh RS terhadap Metabolisme Lipid**

Sejumlah penelitian telah melaporkan pengaruh pati resisten (RS) terhadap metabolisme lipid, baik berdasarkan studi pada hewan percobaan maupun uji klinis terbatas pada manusia (Li et al., 2010; Polakof et al., 2013; Harazaki et al., 2014). Mekanisme kerja RS dalam memodulasi metabolisme lipid diduga berkaitan dengan proses fermentasi RS di usus besar, perubahan komposisi mikrobiota usus, serta produksi asam lemak rantai pendek (*short-chain fatty acids*, SCFA) (Slavin, 2013).

SCFA dimanfaatkan oleh berbagai jaringan tubuh, termasuk sel epitel kolon. Asam butirat berperan sebagai sumber energi utama bagi mikroflora dalam kolon. Selain itu, SCFA juga dimetabolisme di liver, yang memanfaatkan sekitar 50–70% asam asetat serta sebagian asam butirat dan propionat, sementara sisa asam asetat dioksidasi di jaringan otot sebagai sumber energi (Roberfroid, 2007). Asam asetat dan propionat diketahui berperan dalam pengaturan metabolisme lipid dan kolesterol (Al-Lahham et al., 2010; Haghikia et al., 2022). Di sisi lain, asam asetat juga berfungsi sebagai substrat penting dalam sintesis kolesterol (Tan et al., 2014).

Sejumlah studi pada hewan menunjukkan bahwa propionat dapat menekan sintesis asam lemak, baik di hati maupun dalam sirkulasi plasma (Chen, Anderson and Jennings, 1984; Nishina and Freedland, 1990; Demigné et al., 1995; DiCostanzo, Williams and Keisler, 1999). Pada model tikus, konsumsi RS dilaporkan menurunkan berbagai penanda metabolisme lipid. Pemberian diet yang mengandung RS dari kentang mentah (25%) meningkatkan produksi dan penyerapan SCFA secara signifikan, disertai dengan penurunan kadar kolesterol dan trigliserida plasma (Sajilata, Singhal and Kulkarni, 2006). Efek serupa juga dilaporkan pada tikus yang mengonsumsi RS dari pati kacang Adzuki dan pati kacang Tebow, yang keduanya mampu menurunkan kadar kolesterol serum (Han et al., 2003).

Studi pada hamster menunjukkan bahwa konsumsi pati singkong yang diperkaya dengan 9,9% serat oat maupun 9,7% RS sama-sama menghasilkan penurunan kadar kolesterol (Martinez-Flores et al., 2004). Selain itu, berdasarkan karakteristik strukturnya, RS3 atau pati resisten yang mengalami retrogradasi diduga mampu mengikat garam empedu, sehingga menghambat reabsorpsi asam empedu di ileum. Kondisi ini dapat merangsang sintesis asam empedu di hati dan pada akhirnya meningkatkan pemanfaatan kolesterol (Dongowski, Jacobasch and Schmiedl, 2005). Namun demikian, kemampuan pengikatan garam empedu tersebut belum dilaporkan pada jenis RS lainnya (Park et al., 2004).

Studi pada manusia terhadap individu dengan kelebihan berat badan dan obesitas menunjukkan bahwa konsumsi diet tinggi RS selama 12 bulan secara signifikan menurunkan kadar kolesterol total dan kolesterol non-HDL dibandingkan dengan diet tinggi serat (Dodevska et al., 2016). Sebaliknya, sebagian besar penelitian yang melibatkan subjek sehat tidak menemukan hubungan yang bermakna antara asupan RS dan kadar trigliserida plasma (Robertson et al., 2005; Johnston et al., 2010; Shimotoyodome et al., 2011; García-Rodríguez et al., 2013; Edwards et al., 2015).

Hasil yang berbeda dilaporkan pada individu dengan diabetes melitus tipe 2. Dalam satu studi, konsumsi RS menurunkan konsentrasi trigliserida sebesar sekitar 15% dibandingkan dengan plasebo (Gargari et al., 2015). Namun, studi lain melaporkan peningkatan kadar trigliserida puasa pada kelompok yang mengonsumsi RS dibandingkan dengan kelompok kontrol, tanpa disertai perubahan kadar kolesterol (Bodinhm et al., 2014).

## **5. Pengaruh RS terhadap Kontrol Berat Badan**

Pati resisten berpotensi berperan dalam pengendalian berat badan sehingga dapat berkontribusi pada pencegahan kelebihan berat badan dan obesitas (Higgins, 2014). Sejumlah penelitian pada hewan (Higgins et al., 2011) maupun manusia (Bodinhm, Frost and Robertson, 2010) menunjukkan bahwa konsumsi pati resisten dalam diet mampu membantu pengaturan berat badan secara efektif. Efek positif ini diduga melibatkan beberapa mekanisme.

Karena RS tidak mengalami pencernaan dan penyerapan di usus halus, penggantian sebagian karbohidrat dengan RS dapat menurunkan densitas energi dari makanan yang dikonsumsi (Keenan et al., 2006). Selain itu, asam lemak rantai pendek (SCFA) yang dihasilkan selama fermentasi RS di usus besar diketahui dapat meningkatkan total pengeluaran energi serta oksidasi lemak (Tapsell, 2004). RS juga berperan dalam pengaturan nafsu makan dengan menurunkan asupan energi, yang sebagian dimediasi oleh peningkatan produksi hormon kenyang seperti peptide YY (PYY) dan glucagon-like peptide-1 (GLP-1) (Zhou et al., 2008).

Pengaruh diet tinggi RS terhadap mobilisasi dan pemanfaatan cadangan lemak pada jaringan adiposa telah banyak diteliti (Tapsell, 2004; Harazaki et al., 2014; Keenan et al., 2015). Sebuah penelitian melaporkan bahwa substitusi 5,4% karbohidrat dalam diet dengan pati resisten mampu meningkatkan oksidasi lipid pascaprandial serta memengaruhi akumulasi lemak jangka panjang (Higgins et al., 2004). Dalam studi lain pada hewan pengerat yang diberi RS selama 32 hari, terjadi peningkatan kadar PYY dan GLP-1, meskipun kelompok tersebut menunjukkan sedikit peningkatan lemak tubuh dibandingkan kontrol (Zhou et al., 2008). Sementara itu, penelitian selama 8 minggu yang membandingkan diet tinggi dan rendah RS menunjukkan bahwa tikus yang mengonsumsi RS mengalami penurunan berat badan, ukuran adiposit yang lebih kecil, peningkatan rasa kenyang setelah makan, serta berkurangnya akumulasi

lemak intraseluler dibandingkan kelompok dengan asupan RS rendah (So et al., 2007).

Pengaruh konsumsi pati resisten (RS) terhadap berat badan, komposisi tubuh, dan rasa kenyang juga telah banyak dikaji pada subjek manusia. Salah satu penelitian melaporkan bahwa durasi rasa kenyang lebih panjang pada perlakuan RS dan dedak jagung dibandingkan dengan jenis serat pangan lainnya (Willis et al., 2009). Penelitian lain menunjukkan bahwa konsumsi pangan dengan kandungan RS sebesar 40–70% mampu menurunkan asupan energi pada waktu selanjutnya dalam satu hari (Anderson et al., 2010). Studi intervensi selama empat minggu pada individu dewasa dengan diabetes melitus tipe 2 (T2DM) melaporkan penurunan berat badan yang bermakna setelah suplementasi RS2 yang berasal dari pati pisang sebanyak 8 g/hari (Ble-Castillo et al., 2010). Namun demikian, hasil yang berbeda diperoleh pada penelitian lain selama 12 minggu, di mana subjek T2DM yang mengonsumsi 40 g/hari RS2 dari pati jagung tidak menunjukkan perubahan berat badan yang signifikan (Bodinham et al., 2014).

Penelitian pada pria dan wanita pra-diabetes dengan kondisi kelebihan berat badan dan obesitas yang menerima suplementasi RS2 menunjukkan penurunan berat badan yang kecil tetapi signifikan secara statistik (Dodevska et al., 2016). Studi lain pada relawan sehat melaporkan bahwa konsumsi RS4 dapat menurunkan lingkar pinggang tanpa disertai perubahan berat badan (Nichenametla et al., 2014). Meskipun demikian, sebagian besar penelitian pada

manusia belum secara konsisten mengonfirmasi pengaruh diet tinggi RS terhadap peningkatan pengeluaran energi maupun oksidasi karbohidrat dan lemak.

#### **D. Gula Alkohol (Poliol)**

Poliol merupakan pemanis rendah kalori yang tidak termasuk dalam kategori gula. Senyawa ini tergolong gula alkohol atau alkohol polihidrik, yang dihasilkan dari sakarida melalui proses reduksi gugus aldehida atau keton menjadi gugus alkohol, baik secara kimia maupun biokimia. Sebagian besar poliol terdapat secara alami di alam. Eritritol, sorbitol, xilitol, dan manitol merupakan jenis-jenis poliol yang dijumpai pada berbagai jenis tumbuhan, khususnya buah-buahan seperti plum, pir, dan anggur, serta pada beberapa jenis sayuran (Tabel 6.1). Sebaliknya, laktitol, isomalt, dan hidrolisat pati terhidrogenasi (HSH) merupakan poliol sintetis yang tidak ditemukan secara alami (Embuscado, 2006).

Poliol memiliki karakteristik khas yang menjadikannya penting dalam aplikasi pangan dan farmasi. Walaupun masing-masing poliol memiliki perbedaan struktur kimia dan sifat fisik, secara umum kelompok karbohidrat ini bersifat stabil terhadap panas dan reaksi kimia. Poliol juga tidak terlibat dalam reaksi pencoklatan Maillard, sehingga menguntungkan untuk aplikasi pangan tertentu. Selain itu, poliol berkontribusi terhadap penurunan nilai energi produk dan memiliki tingkat kemanisan yang mendekati sukrosa tanpa menimbulkan

efek kariogenik seperti gula. Dengan profil rasa manis dan intensitas yang serupa dengan gula, poliol dapat menggantikan gula baik dari segi volume maupun kemanisan. Keunggulan ini membedakan poliol dari pemanis intensif yang umumnya memerlukan bahan pengisi atau penambah volume ketika digunakan sebagai substituen gula (Embuscado, 2006).

**Tabel 6. 1** Sumber gula alkohol di alam

| Jenis Poliol | Buah                        | Sayur                                        | Sumber lain                           |
|--------------|-----------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|
| Eritrol      | Anggur, melon, pir          |                                              | Wine, sake, kecap kedelai, miso, alga |
| Xilitol      | Stroberi, rasberi           | Jamur pangan, kembang kol, kubis             |                                       |
| Sorbitol     | Beri, plum, pir, ceri, apel |                                              | Rumput laut, alga, molase             |
| Manitol      | Madu, tin, nanas            | Jamur pangan, zaitun, asparagus, ubi, wortel | Alga, jamur pangan, rumput laut       |

(Sumber: (Embuscado, 2006))

**1. Manfaat kesehatan poliol pada metabolisme glukosa**

Poliol memiliki profil metabolisme khas yang membedakannya dari karbohidrat lainnya seperti sukrosa, glukosa, dan fruktosa. Berbagai kajian ilmiah dan laporan industri secara konsisten menunjukkan bahwa poliol memberikan respons glikemik yang sangat rendah. Karakteristik ini disebabkan oleh keterbatasan dan



rendahnya efisiensi penyerapan poliol di usus halus. Kondisi tersebut secara langsung memengaruhi regulasi glukosa darah, sekresi insulin, serta beban metabolik tubuh secara keseluruhan (Embuscado, 2006).

Sebagian besar poliol tidak dicerna atau diserap secara sempurna di usus halus dan melewati saluran pencernaan tanpa keterlibatan enzimatik yang optimal. Kecepatan penyerapannya yang jauh lebih lambat dibandingkan gula sederhana menyebabkan hanya sejumlah kecil glukosa yang memasuki sirkulasi metabolisme glukosa (Gogoi, 2025).

Poliol dapat membantu menurunkan respon glukosa paska-prandial sehingga dapat digunakan sebagai pengganti sukrosa. Pemanfaatan poliol terbukti mampu menekan peningkatan kadar glukosa darah setelah makan. Respons glikemik yang lebih terkendali ini memberikan manfaat signifikan bagi individu dengan toleransi glukosa terganggu, pradiabetes, maupun diabetes, karena membantu mencegah lonjakan glukosa yang berpotensi memicu stres metabolik serta komplikasi jangka panjang (Livesey, 2003).

Sejalan dengan respons glikemiknya yang rendah, konsumsi poliol hanya menimbulkan stimulasi insulin dalam jumlah minimal. Kondisi ini memberikan keuntungan bagi individu dengan resistensi insulin atau diabetes melitus tipe 2 dan program pengendalian berat badan. Berkurangnya kebutuhan akan insulin turut berperan dalam menjaga kestabilan metabolisme secara menyeluruh (Livesey, 2003; Gogoi, 2025).

Poliol mengalami penyerapan yang lebih lambat dan tidak sempurna, dibandingkan dengan sukrosa, sehingga menghasilkan suplai energi yang lebih stabil dan berkelanjutan. Mekanisme ini berkontribusi terhadap memperlama rasa kenyang serta membantu mencegah fluktuasi tajam kadar glukosa darah dan energi yang umumnya terjadi setelah konsumsi pangan tinggi gula (Embuscado, 2006; Gogoi, 2025).

Di antara berbagai jenis poliol, eritritol menunjukkan karakteristik metabolik yang paling khas. Meskipun diserap secara cepat di usus halus, eritritol tidak mengalami metabolisme lebih lanjut dalam tubuh dan diekskresikan utuh melalui urin. Oleh karena itu, eritritol memiliki nilai energi efektif yang mendekati nol dan hampir tidak menimbulkan respons glikemik, sehingga digolongkan sebagai salah satu pemanis dengan aktivitas metabolik paling rendah (Embuscado, 2006; Gogoi, 2025).

## **2. Manfaat kesehatan poliol pada saluran cerna**

Dalam kaitannya dengan respons gastrointestinal yang dilaporkan akibat konsumsi poliol, pembatasan asupan senyawa ini sering dibahas dalam kerangka kelompok *fermentable oligosaccharides, disaccharides, monosaccharides, and polyols* (FODMAP) (Rice et al., 2020). Kelompok senyawa ini dikenal memiliki tingkat penyerapan yang rendah di usus halus dan cenderung mencapai kolon, di mana senyawa tersebut dimanfaatkan sebagai substrat fermentasi oleh bakteri usus tertentu. Proses fermentasi poliol dapat memicu pembentukan gas yang pada sebagian

individu menimbulkan keluhan gastrointestinal seperti kembung, flatus, borborygmus, serta pada kondisi yang lebih berat dapat disertai mual dan diare (Oku and Nakamura, 2007). Selain itu, munculnya gejala-gejala tersebut juga diduga berkaitan dengan efek osmotik poliol yang tidak terserap di lumen usus, sehingga meningkatkan retensi air dalam saluran cerna (Lenhart and Chey, 2017).

Secara fisiologis, poliol diperkirakan diserap melalui mekanisme difusi pasif, dengan tingkat penyerapan yang berbeda-beda bergantung pada jenis poliolnya (Mansueto et al., 2015). Toleransi gastrointestinal terhadap poliol juga menunjukkan variasi yang cukup luas. Pada individu sehat, dosis sedang isomalt dan laktitol telah terbukti meningkatkan *bifidobacteria* sehingga bermanfaat sebagai prebiotik (Lenhart and Chey, 2017).

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Lahham, S.H. *et al.* (2010) 'Biological effects of propionic acid in humans; metabolism, potential applications and underlying mechanisms', *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1801(11), pp. 1175–1183. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2010.07.007>.
- Al-Sheraji, S.H. *et al.* (2013) 'Prebiotics as functional foods: A review', *Journal of Functional Foods*, 5(4), pp. 1542–1553. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.08.009>.
- Aluko, R.E. (2012) *Functional Foods and Nutraceuticals, Functional Foods and Neutraceuticals*. Springer Science+business Media.
- Anderson, G.H. *et al.* (2010) 'Relation between estimates of cornstarch digestibility by the Englyst in vitro method and glycemic response, subjective appetite, and short-term food intake in young men', *American Journal of Clinical Nutrition*, 91(4), pp. 932–939. Available at: <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.28443>.
- Avogaro, A. and Fadini, G.P. (2019) 'Microvascular complications in diabetes: A growing concern for cardiologists', *International Journal of Cardiology*, 291, pp. 29–35. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2019.02.030>.
- Barclay, A.W. *et al.* (2021) 'Dietary glycaemic index labelling: A global perspective', *Nutrients*, 13(9), pp. 1–22. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu13093244>.

- Bednar, G.E. *et al.* (2001) 'Nutrient metabolism: Starch and fiber fractions in selected food and feed ingredients affect their small intestinal digestibility and fermentability and their large bowel fermentability in vitro in a canine model', *Journal of Nutrition*, 131(2), pp. 276–286. Available at: <https://doi.org/10.1093/jn/131.2.276>.
- Birt, D.F. *et al.* (2013) 'Resistant starch: Promise for improving human health', *Advances in Nutrition*, 4(6), pp. 587–601. Available at: <https://doi.org/10.3945/an.113.004325>.
- Ble-Castillo, J.L. *et al.* (2010) 'Effects of native banana starch supplementation on body weight and insulin sensitivity in obese type 2 diabetics', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(5), pp. 1953–1962. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph7051953>.
- Bodinham, C.L. *et al.* (2014) 'Efficacy of increased resistant starch consumption in human type 2 diabetes', *Endocrine Connections*, 3(2), pp. 75–84. Available at: <https://doi.org/10.1530/ec-14-0036>.
- Bodinham, C.L., Frost, G.S. and Robertson, M.D. (2010) 'Acute ingestion of resistant starch reduces food intake in healthy adults', *British Journal of Nutrition*, 103(6), pp. 917–922. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0007114509992534>.
- Bojarczuk, A. *et al.* (2022) 'Health benefits of resistant starch: A review of the literature', *Journal of Functional Foods*, 93(May). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105094>.
- Bosch, G. *et al.* (2014) 'Protein quality of insects as potential

- ingredients for dog and cat foods', *Journal of Nutritional Science*, 3, pp. 1–4. Available at: <https://doi.org/10.1017/jns.2014.23>.
- Charalampopoulos, D. *et al.* (2002) 'Application of cereals and cereal components in functional foods: a review', *International Journal of Food Microbiology*, 79, pp. 131–141.
- Chen, W. ju L., Anderson, J.W. and Jennings, D. (1984) 'Propionate May Mediate the Hypocholesterolemic Effects of Certain Soluble Plant Fibers in Cholesterol-Fed Rats', *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 175(2), pp. 215–218. Available at: <https://doi.org/10.3181/00379727-175-41791>.
- Demigné, C. *et al.* (1995) 'Effect of propionate on fatty acid and cholesterol synthesis and on acetate metabolism in isolated rat hepatocytes', *British Journal of Nutrition*, 74(2), pp. 209–219. Available at: <https://doi.org/10.1079/bjn19950124>.
- DiCostanzo, A., Williams, J.E. and Keisler, D.H. (1999) 'Effects of short-or long-term infusions of acetate or propionate on luteinizing hormone, insulin, and metabolite concentrations in beef heifers', *Journal of Animal Science*, 77(11), pp. 3050–3056. Available at: <https://doi.org/10.2527/1999.77113050x>.
- Dodevska, M.S. *et al.* (2016) 'Effects of total fibre or *resistant starch*-rich diets within lifestyle intervention in obese prediabetic adults', *European Journal of Nutrition*, pp. 127–137. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00394-015-0831-3>.
- Dongowski, G., Jacobasch, G. and Schmiedl, D. (2005) 'Structural stability and prebiotic properties of

- resistant starch* type 3 increase bile acid turnover and lower secondary bile acid formation', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(23), pp. 9257–9267. Available at: <https://doi.org/10.1021/jf0507792>.
- Edwards, C.H. *et al.* (2015) 'Manipulation of starch bioaccessibility in wheat endosperm to regulate starch digestion, postprandial glycemia, insulinemia, and gut hormone responses: A randomized controlled trial in healthy ileostomy participants', *American Journal of Clinical Nutrition*, 102(4), pp. 791–800. Available at: <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.106203>.
- Embuscado, M.E. (2006) 'Polyols', in *Optimising Sweet Taste in Foods*, pp. 153–174. Available at: <https://doi.org/10.1533/9781845691646.2.153>.
- Englyst, H., Wiggins, H.S. and Cummings, J.H. (1982) 'Determination of the Non-starch Polysaccharides in Plant Foods by Gas-Liquid Chromatography of Constituent Sugars as Alditol Acetates', *Analyst*, 107, pp. 307–318.
- Fuentes-Zaragoza, E. *et al.* (2010) 'Resistant starch as functional ingredient: A review', *Food Research International*, 43(4), pp. 931–942. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.02.004>.
- García-Rodríguez, C.E. *et al.* (2013) 'Postprandial glucose, insulin and gastrointestinal hormones in healthy and diabetic subjects fed a fructose-free and *resistant starch* type IV-enriched enteral formula', *European Journal of Nutrition*, 52(6), pp. 1569–1578. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00394-012-0462-x>.

- Gargari, B.P. *et al.* (2015) 'Is there any place for *resistant starch*, as alimentary prebiotic, for patients with type 2 diabetes?', *Complementary Therapies in Medicine*, 23(6), pp. 810–815. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2015.09.005>.
- Giczewska, A. and Borowska, J. (2003) 'Nutritional value of broad bean seeds. Part 1: Starch and fibre', *Nahrung - Food*, 47(2), pp. 95–97. Available at: <https://doi.org/10.1002/food.200390033>.
- Gogoi, R. (2025) 'Sugar Polyols : Functional Characteristics, Production Pathways, Health Effects, and Contemporary', *SSRN* [Preprint].
- Goldsmith, F. *et al.* (2018) 'Microbiota But No Reduction in Abdominal Fat', *Mol Nutr Food Res.*, 61(1), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201501025>.Obese.
- Gorecki, A.R. *et al.* (2018) 'Influence of High Pressure or Autoclaving-Cooling Cycles and Pullulanase Treatment on Buckwheat Starch Properties and *Resistant starch* Formation.', *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 68(3), pp. 235–242.
- Haghikia, Arash *et al.* (2022) 'Propionate attenuates atherosclerosis by immune-dependent regulation of intestinal cholesterol metabolism', *European Heart Journal*, 43(6), pp. 518–533. Available at: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab644>.
- Han, K.H. *et al.* (2003) 'Enzyme-resistant fractions of beans lowered serum cholesterol and increased sterol excretions and hepatic mRNA levels in rats', *Lipids*, 38(9), pp. 919–924. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11745-003-1145-2>.



- Harazaki, T. *et al.* (2014) 'Resistant starch improves insulin resistance and reduces adipose tissue weight and CD11c expression in rat OLETF adipose tissue', *Nutrition*, 30(5), pp. 590–595. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.10.020>.
- Harris, K.F. (2019) 'An introductory review of resistant starch type 2 from high-amylose cereal grains and its effect on glucose and insulin homeostasis', *Nutrition Reviews*, 77(11), pp. 748–764. Available at: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuz040>.
- Heeney, D.D. *et al.* (2019) 'Lactobacillus plantarum bacteriocin is associated with intestinal and systemic improvements in diet-induced obese mice and maintains epithelial barrier integrity in vitro', *Gut Microbes*, 10(3), pp. 382–397. Available at: <https://doi.org/10.1080/19490976.2018.1534513>.
- Hemmingsen, B. *et al.* (2018) 'Diet, physical activity or both for prevention or delay of type 2 diabetes mellitus and its associated complications in people at increased risk of developing type 2 diabetes mellitus', *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2018(12). Available at: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005061.pub3>.
- Higgins, J.A. *et al.* (2004) 'Resistant starch consumption promotes lipid oxidation', *Nutrition and Metabolism*, 1, pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1186/1743-7075-1-8>.
- Higgins, J.A. *et al.* (2011) 'Resistant starch and exercise independently attenuate weight regain on a high fat diet in a rat model of obesity', *Nutrition and*

- Metabolism*, 8, pp. 1–15. Available at: <https://doi.org/10.1186/1743-7075-8-49>.
- Higgins, J.A. (2014) 'Resistant starch and Energy Balance: Impact on Weight Loss and Maintenance', *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(9), pp. 1158–1166. Available at: <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.629352>.
- Johnston, K.L. *et al.* (2010) 'Resistant starch improves insulin sensitivity in metabolic syndrome', *Diabetic Medicine*, 27(4), pp. 391–397. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2010.02923.x>.
- Keenan, M.J. *et al.* (2006) 'Effects of resistant starch, a non-digestible fermentable fiber, on reducing body fat', *Obesity*, 14(9), pp. 1523–1534. Available at: <https://doi.org/10.1038/oby.2006.176>.
- Keenan, M.J. *et al.* (2015) 'Role of resistant starch in improving gut health, adiposity, and insulin resistance', *Advances in Nutrition*, 6(2), pp. 198–205. Available at: <https://doi.org/10.3945/an.114.007419>.
- Lenhart, A. and Chey, W.D. (2017) 'A systematic review of the effects of polyols on gastrointestinal health and irritable bowel syndrome', *Advances in Nutrition*, 8(4), pp. 587–596. Available at: <https://doi.org/10.3945/an.117.015560>.
- Leu, R.K. Le, Hu, Y. and Young, G.P. (2002) 'Effects of resistant starch and nonstarch polysaccharides on colonic luminal environment and genotoxin-induced apoptosis in the rat to regulate tumorigenesis but the mechanisms are unclear. the acute apoptotic response to genotoxin-induced DNA', *Carcinogenesis*,

23(5), pp. 713–719.

- Li, S. *et al.* (2010) 'Nutriose dietary fiber supplementation improves insulin resistance and determinants of metabolic syndrome in overweight men: A double-blind, randomized, placebo-controlled study', *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 35(6), pp. 773–782. Available at: <https://doi.org/10.1139/H10-074>.
- Livesey, G. (2003) 'Health potential of polyols as sugar replacers, with emphasis on low glycaemic properties', *Nutrition Research Reviews*, 16(2), pp. 163–191. Available at: <https://doi.org/10.1079/nrr200371>.
- Lockyer, S. and Nugent, A.P. (2017) 'Health Effects of *Resistant starch*', *Nutrition Bulletin* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1111/nbu.12244>.
- Lunn, J. and Buttriss, J.L. (2007) 'Carbohydrates and dietary fibre', *Nutrition Bulletin*, 32(1), pp. 21–64. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2007.00616.x>.
- Magallanes-Cruz, P.A., Flores-Silva, P.C. and Bello-Perez, L.A. (2017) 'Starch Structure Influences Its Digestibility: A Review', *Journal of Food Science*, 82(9), pp. 2016–2023.
- Manning, S. and Batterham, R.L. (2014) 'The role of gut hormone peptide YY in energy and glucose homeostasis: Twelve years on', *Annual Review of Physiology*, 76(October 2013), pp. 585–608. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-021113-170404>.
- Mansueto, P. *et al.* (2015) 'Role of FODMAPs in Patients With

- Irritable Bowel Syndrome', *Nutrition in Clinical Practice*, 30(5), pp. 665–682. Available at: <https://doi.org/10.1177/0884533615569886>.
- Martinez-Flores, H.E. *et al.* (2004) 'Effect of high fiber products on blood lipids and lipoproteins in hamsters', *Nutrition Research*, 24(1), pp. 85–93. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2003.08.016>.
- Metzler-Zebeli, B.U. *et al.* (2019) 'Resistant starch reduces large intestinal pH and promotes fecal lactobacilli and bifidobacteria in pigs', *Animal*, 13(1), pp. 64–73. Available at: <https://doi.org/10.1017/S1751731118001003>.
- Miao, M. *et al.* (2013) 'Slowly Digestible Starch — A Review Critical', *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(12), pp. 1641–1656. Available at: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.704434>.
- Mikulíková, D., Masá, Š. and Kraic, J. (2008) 'Biodiversity of legume health-promoting starch', *Starch/Staerke*, 60(8), pp. 426–432. Available at: <https://doi.org/10.1002/star.200700693>.
- Muir, J.G. *et al.* (2004) 'Combining wheat bran with resistant starch has more beneficial effects on fecal indexes than does wheat bran alone', *American Journal of Clinical Nutrition*, 79(6), pp. 1020–1028. Available at: <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.6.1020>.
- Nichenametla, S.N. *et al.* (2014) 'Resistant starch type 4-enriched diet lowered blood cholesterol and improved body composition in a double blind controlled cross-over intervention', *Molecular Nutrition and Food Research*, 58(6), pp. 1365–1369.

- Available at:  
<https://doi.org/10.1002/mnfr.201300829>.
- Nishina, P.M. and Freedland, R.A. (1990) 'Effects of propionate on lipid biosynthesis in isolated rat hepatocytes', *Journal of Nutrition*, 120(7), pp. 668–673. Available at:  
<https://doi.org/10.1093/jn/120.7.668>.
- Oku, T. and Nakamura, S. (2007) 'Threshold for transitory diarrhea induced by ingestion of xylitol and lactitol in young male and female adults', *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 53(1), pp. 13–20. Available at: <https://doi.org/10.3177/jnsv.53.13>.
- Park, O.J. *et al.* (2004) 'Resistant starch supplementation influences blood lipid concentrations and glucose control in overweight subjects', *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 50(2), pp. 93–99. Available at: <https://doi.org/10.3177/jnsv.50.93>.
- Piecyk, M. *et al.* (2012) 'Chemical composition and starch digestibility in flours from Polish processed legume seeds', *Food Chemistry*, 135(12), pp. 1057–1064. Available at:  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.051>.
- Polakof, S. *et al.* (2013) 'Resistant starch intake partly restores metabolic and inflammatory alterations in the liver of high-fat-diet-fed rats', *Journal of Nutritional Biochemistry*, 24(11), pp. 1920–1930. Available at:  
<https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2013.05.008>.
- Rice, T. *et al.* (2020) 'A review of polyols–biotechnological production, food applications, regulation, labeling and health effects', *Critical Reviews in Food Science*

- and Nutrition*, 60(12), pp. 2034–2051. Available at: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1625859>.
- Roberfroid, M.B. (2007) 'Inulin-type fructans: Functional food ingredients', *Journal of Nutrition*, 137(11), pp. 2493S-2502S. Available at: <https://doi.org/10.1093/jn/137.11.2493s>.
- Robertson, M.D. *et al.* (2005) 'Insulin-sensitizing effects of dietary *resistant starch* and effects on skeletal muscle and adipose tissue metabolism', *American Journal of Clinical Nutrition*, 82(3), pp. 559–567. Available at: <https://doi.org/10.1093/ajcn.82.3.559>.
- Rochfort, S. and Panozzo, J. (2007) 'Phytochemicals for Health, the Role of Pulses', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, pp. 7981–7994.
- Rodríguez-Ambriz, S.L. *et al.* (2008) 'Characterization of a fibre-rich powder prepared by liquefaction of unripe banana flour', *Food Chemistry*, 107(4), pp. 1515–1521. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.007>.
- Sajilata, M.G., Singhal, R.S. and Kulkarni, P.R. (2006) '*Resistant starch* - A review', *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(1), pp. 1–17. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.tb00076.x>.
- Sánchez-zapata, E. *et al.* (2014) '*Resistant starch* as Functional Ingredient', in *Polysaccharides*. Spain: Springer International Publishing Switzerland, pp. 1–18. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-03751-6>.
- Sharma, A., Yadav, B.S. and Ritika, R. (2008) '*Resistant starch*:

- Physiological roles and food applications', *Food Reviews International*, 24(2), pp. 193–234. Available at: <https://doi.org/10.1080/87559120801926237>.
- Shen, D. *et al.* (2017) 'Positive effects of *resistant starch* supplementation on bowel function in healthy adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials', *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 68(2), pp. 149–157. Available at: <https://doi.org/10.1080/09637486.2016.1226275>.
- Shimotoyodome, A. *et al.* (2011) 'Dietary supplementation with hydroxypropyl-distarch phosphate from waxy maize starch increases resting energy expenditure by lowering the postprandial glucose-dependent insulinotropic polypeptide response in human subjects', *British Journal of Nutrition*, 106.
- Slavin, J. (2004) 'Whole grains and human health', *Nutrition Research Reviews*, 17(1), pp. 99–110. Available at: <https://doi.org/10.1079/nrr200374>.
- Slavin, J. (2013) 'Fiber and prebiotics: Mechanisms and health benefits', *Nutrients*, 5(4), pp. 1417–1435. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu5041417>.
- So, P.W. *et al.* (2007) 'Impact of *resistant starch* on body fat patterning and central appetite regulation', *PLoS ONE*, 2(12). Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001309>.
- Tan, J. *et al.* (2014) *The Role of Short-Chain Fatty Acids in Health and Disease*. 1st edn, *Advances in Immunology*. 1st edn. Elsevier Inc. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800100-4.00003-9>.

- Tapsell, L.C. (2004) 'Diet and metabolic syndrome: Where does *resistant starch* fit in?', *Journal of AOAC International*, 87(3), pp. 756–760. Available at: <https://doi.org/10.1093/jaoac/87.3.756>.
- Tharanathan, R.N. and Mahadevamma, S. (2003) 'Grain legumes - A boon to human nutrition', *Trends in Food Science and Technology*, 14(12), pp. 507–518. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.07.002>.
- Topping, D.L. and Clifton, P.M. (2001) 'Short-chain fatty acids and human colonic function: Roles of *resistant starch* and nonstarch polysaccharides', *Physiological Reviews*, 81(3), pp. 1031–1064. Available at: <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.3.1031>.
- Tuomilehto, J. *et al.* (2008) 'Prevention of Type 2 Diabetes Mellitus By Changes in Lifestyle Among Subjects With Impaired Glucose Tolerance', *The New England Journal of Medicine*, 344(18), pp. 1343–1350.
- Wang, Q., Wang, P. and Xiao, Z. (2018) '*Resistant starch* prevents tumorigenesis of dimethylhydrazine-induced colon tumors via regulation of an ER stress-mediated mitochondrial apoptosis pathway', *International Journal of Molecular Medicine*, 41(4), pp. 1887–1898. Available at: <https://doi.org/10.3892/ijmm.2018.3423>.
- Willis, H.J. *et al.* (2009) 'Greater satiety response with *resistant starch* and corn bran in human subjects', *Nutrition Research*, 29(2), pp. 100–105. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2009.01.004>.
- Xie, H. *et al.* (2018) 'Effect of heat-moisture treatment on the physicochemical properties and in vitro digestibility



- of the starch-guar complex of maize starch with varying amylose content', *Food Hydrocolloids*, 83, pp. 213–221. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.038>.
- Ze, X. *et al.* (2012) 'Ruminococcus bromii is a keystone species for the degradation of *resistant starch* in the human colon', *ISME Journal*, 6(8), pp. 1535–1543. Available at: <https://doi.org/10.1038/ismej.2012.4>.
- Zeng, H. *et al.* (2017) 'Lotus Seed *Resistant starch* Regulates Gut Microbiota and Increases Short-Chain Fatty Acids Production and Mineral Absorption in Mice', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(42), pp. 9217–9225. Available at: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02860>.
- Zhang, Y. *et al.* (2013) 'The in vitro effects of retrograded starch (*resistant starch* type 3) from lotus seed starch on the proliferation of Bifidobacterium adolescentis', *Food and Function*, 4(11), pp. 1609–1616. Available at: <https://doi.org/10.1039/c3fo60206k>.
- Zhou, D., Ma, Z. and Hu, X. (2021) 'Isolated Pea *Resistant starch* Substrates with Different Structural Features Modulate the Production of Short-Chain Fatty Acids and Metabolism of Microbiota in Anaerobic Fermentation in Vitro', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(18), pp. 5392–5404. Available at: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c08197>.
- Zhou, J. *et al.* (2008) 'Dietary *resistant starch* upregulates total GLP-1 and PYY in a sustained day-long manner through fermentation in rodents', *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 295(5), pp. 1160–1166. Available at:

<https://doi.org/10.1152/ajpendo.90637.2008>.

# **BAB 7**

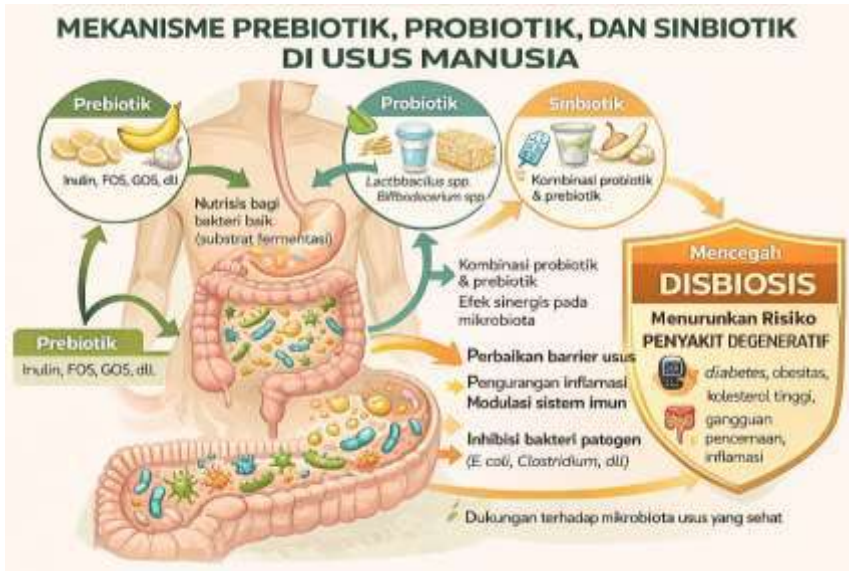
## **PROBIOTIK, PREBIOTIK, DAN SINBIOTIK SERTA PENGUJIANNYA**

**Oleh: Wahidah Mahanani Rahayu, S.T.P., M.Sc.**

### **A. Pendahuluan**

Probiotik, prebiotik, dan sinbiotik merupakan tiga komponen penting dalam pangan fungsional yang berbeda namun saling terkait. Probiotik adalah mikroorganisme hidup yang bila dikonsumsi dalam jumlah mencukupi dapat memberi manfaat kesehatan melalui peningkatan mikroflora pencernaan yang sehat, stimulasi produksi metabolit antimikrobia patogen, dan peningkatan fungsi *barrier* usus (*intestinal barrier*) (Ballini et al., 2023). Probiotik dapat meningkatkan produksi asam lemak rantai pendek dan menghambat pertumbuhan bakteri patogen, dua peran penting yang dapat menekan inflamasi kronis dan mencegah berbagai penyakit degeneratif (Pérez Guerra, 2025). Sedangkan prebiotik adalah komponen pangan non-cerna yang tidak dapat dipecah oleh enzim pencernaan manusia, antara lain inulin oligosakarida, namun secara selektif dapat dikonsumsi oleh mikroflora usus sehingga menstimulasi pertumbuhan dan aktivitasnya. Sinbiotik adalah kombinasi probiotik dan prebiotik, yang dirancang

memberikan efek sinergi: probiotik menjadi organisme hidup yang bermanfaat, didukung substrat prebiotik, sehingga viabilitas, pertumbuhan, dan fungsinya dalam saluran cerna lebih efektif daripada ketika masing-masing dikonsumsi sendiri (Al-Habsi et al., 2024). Ketiga komponen tersebut termasuk dalam pangan fungsional karena berkontribusi terhadap kesehatan pencernaan, keseimbangan mikrobiota, modulasi imun, dan pencegahan penyakit metabolik kronis melalui interaksi dengan mikrobiota usus (Pérez Guerra, 2025). Kombinasi berbagai komponen tersebut mendukung homeostasis mikrobiota usus, berkontribusi mencegah gangguan metabolik, menguatkan sistem imun, dan meningkatkan fungsi fisiologis secara keseluruhan menjadikannya pangan fungsional strategis dalam pola diet sehat dan pencegahan penyakit kronis. Terbuka peluang inovasi produk pangan dengan berbagai komponen tersebut untuk beragam fungsi Kesehatan, yang perlu diuji efikasi dan efektivitasnya. Bab ini akan memberi penjelasan lebih dalam mengenai probiotik, prebiotik, dan sinbiotik, serta berbagai pengujian untuk mempelajari mutu dan efektivitasnya.



**Gambar 7. 1** Skema mekanisme probiotik, prebiotik, dan sinbiotik di usus manusia

## B. Probiotik

Probiotik adalah mikrobia hidup yang jika dikonsumsi dalam jumlah mencukupi bisa memberi manfaat fungsional bagi kesehatan.

### 1. Ruang lingkup probiotik

*International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics* (ISAPP) dan *International Probiotics Association* (IPA) menyepakati bahwa probiotik adalah mikroorganisme hidup yang jika dikonsumsi dalam jumlah yang mencukupi akan memberi manfaat kesehatan bagi inang (Swanson et al., 2020). Dengan demikian, mikrobia tersebut harus tetap dalam kondisi hidup di saluran cerna. Hal ini yang menjadi

latar belakang konseptual dari berbagai pengujian probiotik, antara lain viabilitas sel, ketahanan terhadap asam lambung, dan aktivitas fungsional perlekatan probiotik di dinding usus dengan simulasi reaksi di saluran cerna (Lee et al., 2015). Terdapat beberapa klasifikasi utama dari bakteri probiotik (Tabel 7.1), yaitu Lactobacillaceae, Bifidobacteriaceae, dan jenis lain (Ballini et al., 2023). Probiotik memiliki beberapa mekanisme kerja di saluran cerna (Al-Habsi et al., 2024; Pérez Guerra, 2025), yaitu:

- a. Kompetisi nutrisi dan substrat pertumbuhan  
Probiotik bersaing dengan mikroorganisme patogen untuk mendapatkan nutrisi dan substrat pertumbuhan yang tersedia di usus.
- b. Produksi zat antimikrobia melawan pathogen  
Probiotik menghasilkan senyawa antimikrobia (bakteriosin) yang menghambat pertumbuhan bakteri patogen.
- c. Penguatan *barrier* usus  
Probiotik membantu menjaga integritas dinding mukosa usus untuk mencegah patogen dan toksin masuk.
- d. Modulasi sistem kekebalan tubuh  
Probiotik merangsang respons imun dengan meningkatkan produksi sitokin antiinflamasi (misalnya, IL-10) sekaligus menekan pro-inflamasi (misalnya, TNF- $\alpha$ , IL-6), serta meningkatkan respons imun bawaan dan adaptif.



**Gambar 7. 2** Diagram mekanisme fungsional probiotik

**Tabel 7. 1** Strain utama mikroorganisme probiotik

| <i>Lactobacillaceae</i>              | <i>Bifidobacteriaceae</i> | Lainnya                         |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| <i>L. acidophilus</i>                | <i>B. animalis</i>        | <i>Saccharomyces boulardii</i>  |
| <i>L. crispatus</i>                  | <i>B. adolescentis</i>    | <i>Saccharomyces cerevisiae</i> |
| <i>L. gasseri</i>                    | <i>B. bifidum</i>         | <i>Aspergillus niger</i>        |
| <i>L. helveticus</i>                 | <i>B. breve</i>           | <i>Aspergillus oryzae</i>       |
| <i>L. johnsonii</i>                  | <i>B. infantis</i>        | <i>Clostridium butyricum</i>    |
| <i>Lacticaseibacillus casei</i>      | <i>B. lactis</i>          | <i>Escherichia coli</i>         |
| <i>Lacticaseibacillus rhamnosus</i>  | <i>B. longum</i>          |                                 |
| <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> |                           |                                 |
| <i>Ligilactobacillus salivarius</i>  |                           |                                 |
| <i>Limosilactobacillus reuteri</i>   |                           |                                 |
| <i>Leuconostoc mesenteroides</i>     |                           |                                 |
| <i>Enterococcus faecium</i>          |                           |                                 |

(Sumber: Ballini et al., 2023)

Beberapa sifat probiotik ideal digambarkan dalam skema berikut.



**Gambar 7.3** Karakteristik probiotik ideal  
(Sumber : reproduksi dari Pandey et al., 2015)

## 2. Metode pengujian untuk probiotik

Aktivitas dan efektivitas suatu strain mikrobial probiotik diukur berdasarkan kemampuan fungsionalnya. Mikrobial tersebut harus masih hidup di saluran cerna, melekat, serta menghasilkan metabolit dengan fungsi tertentu (Lee *et al.*, 2015). Karakteristik probiotik dievaluasi melalui uji fungsional, keamanan, dan fisiologis *in vitro*, seperti yang dirangkum sebagai berikut:

### a. Toleransi dalam asam dan garam empedu

Analisis ini mengukur viabilitas strain probiotik untuk bertahan hidup dalam saluran cerna, diukur setelah diberi paparan kondisi pH rendah ( $\approx 2-3$ ) dan garam empedu, sebagai simulasi lingkungan lambung dan usus. Kultur probiotik yang telah diketahui jumlahnya pada kondisi



optimal pertumbuhan (misalnya  $2,5 \times 10^7$  CFU/ml) ditumbuhkan secara anaerobik dalam MRS *broth* suhu 30°C pH 2, 3, 4, 5, dan 7 (diatur dengan HCl atau NaOH 0.1 M) selama 8 jam untuk analisis toleransi asam, dan MRS *broth* pH 4 mengandung 0, 1, 10 g/kg *bile salt* selama 24 jam untuk analisis toleransi garam empedu, pada perbandingan 1 ml kultur dalam 9 ml *broth*. Sel hidup atau viable cell counts dihitung dengan pembiakan dalam agar MRS (Lee et al., 2015).

b. Aktivitas antimikrobia

Dalam analisis ini, diukur efek penghambatan strain probiotik terhadap bakteri patogen menggunakan metode difusi sumur agar atau ko-kultur, yang menunjukkan potensinya dalam menekan pertumbuhan mikrobia patogen, misal terhadap *Streptococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Yersinia sp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas hydrophilia*, *Vibrio cholerae*, *Salmonella sp.*, dan *Listeria monocytogenes* (Ballini et al., 2023; Devi et al., 2023a). Secara garis besar, MRS agar yang telah ditumbuhi sebelumnya dengan patogen kemudian diberi lubang untuk diisi dengan kultur strain probiotik berbagai konsentrasi yang ditumbuhkan pada pH 3,5 dan 7. Penghambatan patogen diukur dari diameter zona jernih setelah inkubasi 12 jam pada suhu 30°C.

c. Uji sitotoksitas melalui pengukuran viabilitas sel

Analisis ini dilakukan untuk menguji potensi sitotoksitas strain probiotik terhadap sel epitel usus secara in vitro. Pengujian dilakukan secara kolorimetri menggunakan 3-

(4,5-dimetiltiazol-2-yl)-2,5-fenil tetrazolium bromida (MTT). Secara prinsip, metode ini didasarkan pada kemampuan sel hidup dan aktif secara metabolik untuk mereduksi garam MTT menjadi kristal formazan ungu yang tidak larut. Ke dalam sumuran 96 lubang, dimasukkan *cell line* (biasanya NCM460) yang dikonfirmasi aktif dan sampel probiotik ( $10^8$  CFU/ml) dicampur dalam buffer fosfat kemudian diinkubasi selama 4 dan 24 jam pada suhu  $37^\circ\text{C}$  dalam inkubator  $\text{CO}_2$  5%. Setelah inkubasi, PBS diambil dan ditambahkan yang baru, kemudian ditambahkan MTT dan diinkubasi pada kondisi inkubator serupa selama 3 jam untuk pembentukan formazan. Sebagai koreksi, dibuat sumuran kontrol (perlakuan sama, tapi hanya *cell line* tanpa bakteri) dan sumuran blanko (tanpa *cell line*). Setelah kristal formazan ungu dilarutkan dengan isopropanol yang diasamkan larut, sumuran dikocok selama 10 menit, kemudian OD diukur pada 570 dan 630 nm. Persentase aktivitas metabolik dihitung dengan rumus  $[\text{OD sampel (sel dicampur probiotik)} / (\text{OD kontrol (sel tanpa probiotik)} \times 100)] - 100$  (Garcia-Gonzalez et al., 2018).

d. Kemampuan adhesi/perlekatan

Analisis ini mengevaluasi kapasitas strain probiotik untuk melekat dan membentuk koloni pada sel epitel usus, antara lain menggunakan model *cell line* Caco-2 (Lee et al., 2015) atau NCM460 (Garcia-Gonzalez et al., 2018) atau HT29 (Lee, Kim and Kang, 2023). Sebagaimana pengujian viabilitas, probiotik yang sudah diketahui jumlahnya dicampur dengan kultur sel dalam sumuran, kemudian diinkubasi selama 1,5

jam pada suhu 37°C dalam inkubator CO<sub>2</sub> 5%. Sel kemudian dicuci dengan PBS steril dan dilisiskan menggunakan larutan Trypsin/EDTA 0,25%. Suspensi yang masih ditemplei bakteri tersebut kemudian dibuat serial pengenceran menggunakan larutan garam, dan dibiakkan ke dalam agar MRS, dan diinkubasi selama 48 jam pada suhu 37°C dalam kondisi mikroaerofilik. Adhesi ke kultur sel dihitung sebagai persentase bakteri yang menempel yang berkorelasi dengan jumlah awal bakteri yang ditambahkan di setiap sumur.

e. Auto-agregasi dan ko-agregasi

Analisis ini mengukur kemampuan interaksi antarsel berkaitan dengan efek pembentukan koloni. Analisis ini didasarkan pada sifat auto-agregasi yaitu bakteri dari spesies/strain sama akan berkumpul dan membentuk massa sel, dan ko-agregasi yaitu strain yang berbeda (biasanya antara probiotik dan patogen target) saling menempel dan mengendap. Keduanya diukur dari penurunan *optical density* (OD). Semakin tinggi selisih OD, maka nilai agregasi meningkat (Ballini et al., 2023).

f. Penilaian Keamanan

Keamanan suatu strain probiotik dapat dikaji dengan uji aktivitas hemolitik, yang mengukur kemampuan bakteri menghasilkan enzim hemolisin yang memecah sel darah merah (eritrosit), indikator penting untuk mengidentifikasi patogenitas bakteri. Sel probiotik digoreskan pada agar yang mengandung 5% darah domba, kemudian diinkubasi pada suhu 37 °C selama 48 jam (Lee, Kim and Kang, 2023).

Hemolisis dievaluasi berdasarkan kerusakan sel darah merah di sekitar koloni dan dinyatakan sebagai  $\alpha$ -hemolisis (halo kehijauan),  $\beta$ -hemolisis (halo jernih), atau  $\gamma$ -hemolisis (tidak ada halo).

g. Aktivitas Enzimatis dan Fungsional

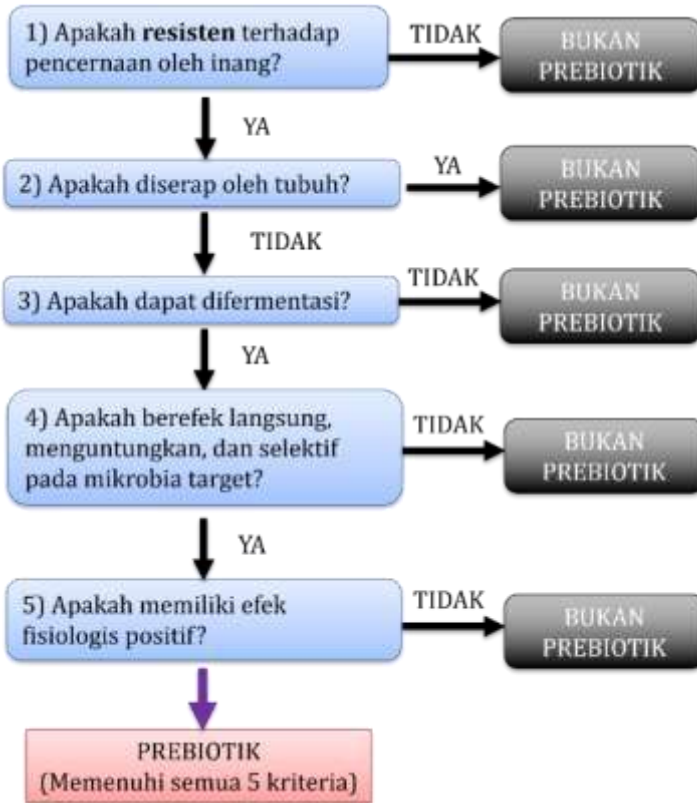
Aktivitas enzim spesifik probiotik dan sifat metabolik dinilai untuk mengevaluasi manfaat fungsional. Sebagian probiotik, misalnya *L. Brevis* dan *L. Plantarum*, dapat menghasilkan asam gamma-aminobutirat (GABA), suatu neurotransmitter yang dapat mempengaruhi poros usus-otak, menghasilkan nutrisi fungsional bagi otak (psikobiotik), sehingga meningkatkan mood positif dan menekan stres, oleh enzim glutamat dekarboksilase (GAD). Produksi senyawa ini dapat dioptimalkan dengan berbagai faktor, seperti sumber karbon dan kondisi fermentasi (Devi et al., 2023b). Probiotik juga dapat menghasilkan enzim  $\beta$ -glukosidase yang menghidrolisis senyawa polifenolik glikosidik menjadi aglikon, sehingga meningkatkan sifat fungsionalnya (Hwang et al., 2018).

## C. Prebiotik

### 1. Ruang lingkup prebiotik

*International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics* (ISAPP) mendefinisikan prebiotik sebagai substrat yang secara selektif dikonsumsi mikroorganisme inang yang memberikan manfaat kesehatan. Berbagai bahan pangan dapat mengandung prebiotik, antara lain fruktan, misalnya FOS, pati resisten dalam biji-bijian, dan

oligosakarida, misalnya dalam ASI (Pandey et al, 2015). Terdapat beberapa kriteria dalam bentuk lima pertanyaan untuk mengidentifikasi suatu senyawa sebagai prebiotik (Saville et al., 2025), sebagai berikut.



**Gambar 7. 4** Pertanyaan kriteria untuk mengidentifikasi prebiotik

(Sumber: reproduksi dari Saville et al., 2025)

Berbagai senyawa oligosakarida telah diidentifikasi sebagai prebiotik, yaitu fruktan (termasuk di dalamnya

inulin), Galakto-oligosaccharida (GOS), Xylo-oligosakarida (XOS), Manno-oligosakarida (MOS), Arabinoxilo oligosakarida (AXOS), Isomaltooligosakarida, Isomalto-oligosakarosa, beta glukukan, oligosakarida ASI (sudah ditemukan lebih dari 200 struktur senyawa oligosakarida spesifik ASI), dan beta glukooligosakarida(Saville *et al.*, 2025). Beberapa jenis oligosakarida prebiotik diproduksi secara in situ selama pencernaan polisakarida, antara lain  $\beta$ -glukan, mannan, xilan, dan arabinan dalam serat makanan. Terdapat pula beberapa jenis prebiotik sintetis yang telah dikembangkan yang berbeda dari yang ditemukan secara alami atau berasal dari polisakarida makanan (Al-Habsi et al., 2024).



**Gambar 7. 5** Klasifikasi prebiotik  
(Sumber: Ali et al., 2025)

Berikut ini adalah gambaran umum jenis, sumber, mekanisme kerja, dan manfaat kesehatan prebiotik dari berbagai sumber.

**Tabel 7. 2** Jenis, sumber bahan pangan, mekanisme kerja, dan manfaat kesehatan prebiotik

| <b>Jenis</b>                                                | <b>Bahan pangan</b>                               | <b>Mekanisme kerja</b>                                                                        | <b>Manfaat kesehatan / bukti klinis</b>                                                                      |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inulin (Lee et al., 2023)                                   | Akar chicory, bawang putih, artichoke             | Fermentasi selektif; produksi asam lemak rantai pendek (SCFA); menguatkan <i>barrier</i> usus | Meningkatkan keteraturan buang air besar, meningkatkan penyerapan kalsium, dan mendukung fungsi imun         |
| Frukto-oligosakari da (FOS) (Rahim et al., 2021)            | Pisang, bawang putih, asparagus                   | Meningkatkan Bifidobacteria, produksi SCFA, dan modulasi sistem imun                          | Mengurangi gejala iritasi usus besar, memperbaiki pencernaan, dan mencegah alergi                            |
| Galakto-oligosakari da (GOS) (Pandey, Naik and Vakil, 2015) | Susu ibu dan susu sapi                            | Fermentasi selektif; meningkatkan sinyal neurokimia melalui sumbu usus-otak                   | Meningkatkan respon imun, mengurangi kecemasan/depresi, dan mendukung kesehatan usus bayi                    |
| Oligosakari da Air Susu Ibu (HMOs) (Swanson et al., 2020)   | Air susu ibu                                      | Mendukung mikrobiota spesifik bayi; anti-patogen; meningkatkan imunitas mukosa                | Melindungi usus dari infeksi, dan mendukung kesehatan metabolik serta imun jangka panjang                    |
| Pati Resisten (Al-Habsi et al., 2024)                       | Pisang, kentang yang didinginkan, kacang-kacangan | Produksi SCFA (butirat); meningkatkan penghalang usus; mengatur metabolisme                   | Meningkatkan sensitivitas insulin, menurunkan risiko kanker kolorektal, dan membantu pengelolaan berat badan |

| Jenis                                            | Bahan pangan                  | Mekanisme kerja                                                        | Manfaat kesehatan / bukti klinis                                                     |
|--------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Senyawa Polifenol (Davani-Davari et al., 2019)   | Buah beri, kakao, teh, anggur | Modulasi mikrobiota usus; aktivitas antioksidan; mengurangi peradangan | Mendukung kesehatan kardiovaskular, menurunkan LDL, dan meningkatkan kesehatan kulit |
| Xylo-oligosakari da (XOS) (Álvarez et al., 2023) | Tongkol jagung, rebung bambu  | Fermentasi selektif; modulasi pH usus; meningkatkan keragaman mikroba  | Meningkatkan metabolisme lipid dan mengurangi peradangan saluran cerna               |
| Laktulosa (Ali et al., 2025)                     | Disintesis dari laktosa       | Difermentasi menjadi SCFA; menurunkan pH kolon; menghambat patogen     | Mengatasi konstipasi dan mendukung penyerapan kalsium                                |

Prebiotik memiliki berbagai manfaat kesehatan, antara lain melalui mekanisme (Davani-Davari et al., 2019), sebagai berikut:

- a. Meningkatkan pertumbuhan probiotik usus
- b. Meningkatkan produksi asam lemak rantai pendek atau *short-chain fatty acids* (SCFAs), antara lain asam asetat, propionat, dan butirat yang menurunkan pH sehingga menekan pertumbuhan bakteri patogen di usus besar.
- c. Meningkatkan volume feses sehingga meningkatkan keteraturan buang air besar.
- d. Meningkatkan sistem imun dan meredakan inflamasi



- e. Meningkatkan absorpsi mineral, misalnya kalsium dan zat besi, sehingga meningkatkan kepadatan tulang dan mencegah anemia
- f. Memperbaiki regulasi glukosa darah karena membantu meningkatkan sensitivitas insulin
- g. Mendukung perbaikan metabolisme lemak. SCFA, misalnya propionate, dapat membantu menurunkan sintesis kolesterol synthesis
- h. Meningkatkan kekuatan *gut barrier* sehingga membantu mencegah molekul berbahaya untuk melewati dinding usus
- i. Berpotensi melindungi pencernaan dari inflamasi dan mendukung homeostasis sistem imun.
- j. Membantu mencegah berbagai masalah pencernaan, misalnya *irritable bowel syndrome* (IBS), dan memperbaiki Kesehatan saluran cerna secara keseluruhan.
- k. Membantu manajemen berat badan, melalui interaksi SCFA dengan jalur hormon usus (misalnya, GLP-1, PYY) dan homeostasis energi, yang dapat memengaruhi nafsu makan dan pengaturan berat badan.
- l. Pengaruh terhadap kondisi psikologis. Peningkatan mikrobia baik yang didukung oleh konsumsi prebiotik dapat memengaruhi sinyal di luar usus, misalnya, metabolisme, kekebalan, hingga mood.

2. Metode pengujian untuk prebiotik

Beberapa karakteristik fungsional dapat menjadi parameter pengujian bahan pangan yang mengandung prebiotik, antara lain produksi SCFA, indeks prebiotik, dan pertumbuhan mikrobia probiotik yang diberi bahan prebiotik sebagaimana dirangkum dalam Tabel 7.2. Terdapat analisis yang bersifat in vitro dan in vivo pada hewan coba maupun manusia.

Tabel 7.3 Jenis analisis karakteristik prebiotik pangan

| No. | Pendekatan                                                  | Aspek yang dikaji dan referensi                                                                                                     |
|-----|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Fermentasi in vitro dengan feses                            | Kemampuan fermentasi dan modulasi mikrobiota (Lai et al., 2025)                                                                     |
| 2.  | Indeks Prebiotik Index (PI)                                 | Stimulasi selektif terhadap mikrobiota baik (Lee et al., 2023)                                                                      |
| 3.  | Pengukuran produksi SCFA dengan kromatografi (HPLC atau GC) | Produk metabolic dari fermentasi mikrobia yang diberi prebiotik (Álvarez et al., 2023)                                              |
| 4.  | Perubahan pH dan penggunaan karbohidrat                     | Dinamika fermentasi (Davani-Davari et al., 2019)                                                                                    |
| 5.  | Pertumbuhan bakteri probiotik dengan pemberian prebiotik    | Pengukuran langsung efek prebiotik terhadap pertumbuhan probiotik (Álvarez et al., 2023)                                            |
| 6.  | Pemberian bahan yang mengandung prebiotik pada hewan coba   | Efek prebiotik terhadap profil digesta, antara lain pH kadar air, kadar SCFA dan profil probiotik hewan coba (Lestari et al., 2025) |

## **D. Sinbiotik**

### **1. Ruang lingkup sinbiotik**

Sinbiotik merupakan produk pangan hasil kombinasi terukur antara probiotik dan prebiotik yang bekerja secara sinergis dalam saluran cerna untuk meningkat efektivitas manfaat kesehatan dibandingkan penggunaan masing-masing komponen secara terpisah. Di dalam produk sinbiotik, tersedia probiotik sebagai mikrobia yang bermanfaat, sekaligus substrat prebiotik yang mendukung pertumbuhan dan aktivitasnya, sehingga memaksimalkan keseimbangan mikrobia yang sehat (Swanson et al., 2020). Sinbiotik diaplikasikan dalam berbagai bentuk pangan fungsional termasuk produk fermentasi, minuman fungsional, suplemen nutrisi, hingga makanan hewani yang diolah khusus untuk memberikan manfaat kesehatan mikrobiota usus (Markowiak and Ślizewska, 2017). Kombinasi probiotik dan prebiotik menjadi sinbiotik lebih menarik secara komersial, maka seleksi mikrobia dan substrat yang tepat dan mampu bersinergi menjadi aspek penting dalam riset dan pengembangan produk. Dalam memilih komponen probiotik dan prebiotik yang sesuai, terdapat beberapa kriteria sebagai berikut.



**Gambar 7. 6** Kriteria probiotik dan prebiotik yang dapat dikombinasikan menjadi sinbiotik  
(Sumber: Markowiak and Ślizewska, 2017)

Salah satu aspek utama yang harus diperhatikan saat menyusun formula sinbiotik adalah pemilihan probiotik dan prebiotik yang tepat. Hal ini didasarkan pada penentuan sifat spesifik yang harus dimiliki oleh prebiotik agar memiliki efek menguntungkan pada probiotik, misalnya peningkatan pertumbuhan probiotik atau meningkatkan stabilitas probiotik selama pengolahan. Beberapa contoh hasil riset produk sinbiotik adalah sebagai berikut.

**Tabel 7. 4** Contoh produk sinbiotik beserta jenis probiotik dan prebiotik yang digunakan

| No | Produk                                                                  | Probiotik (strain/jenis)       | Prebiotik / Substrat      | Sumber                 |
|----|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------|
| 1  | Yoghurt sinbiotik – Bifidobacterium bifidum + gum arabic & ekstrak jahe | <i>Bifidobacterium bifidum</i> | Gum arabic + ekstrak jahe | (Pingkan et al., 2023) |
| 2  | Yoghurt sinbiotik – <i>Lactobacillus</i>                                | <i>Lactobacillus paracasei</i> | Laktitol                  |                        |

| No | Produk                                                                                      | Probiotik (strain/jenis)         | Prebiotik / Substrat                               | Sumber                  |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------|
|    | <i>paracasei</i> + laktitol                                                                 |                                  |                                                    |                         |
| 3  | Yoghurt sinbiotik – <i>Lactobacillus acidophilus</i> + FOS & isomaltooligosakarida          | <i>Lactobacillus acidophilus</i> | Fruktooligosakari da (FOS) + Isomaltooligosakarida |                         |
| 4  | Yoghurt sinbiotik (Pisang Barangan + Inulin)                                                | <i>Lactobacillus casei</i>       | Inulin + pure pisang Barangan                      | (Amelia et al., 2022)   |
| 5  | Soyghurt sinbiotik – <i>Lactobacillus casei</i> + FOS / Maltodekstrin / Chito-oligosakarida | <i>Lactobacillus casei</i>       | FOS, Maltodekstrin, Chito-oligosakarida            | (Rumiyati et al., 2015) |

## 2. Metode pengujian sinbiotik

Pada dasarnya metode pengujian karakteristik sinbiotik dapat dilakukan serupa dengan probiotik dan prebiotik, karena merupakan kombinasi keduanya. Namun terdapat beberapa pengujian lain yang dapat dilakukan sebagai parameter pengukuran adanya efek sinergi.

### a. Uji Viabilitas

Uji viabilitas dilakukan untuk mengukur seberapa baik probiotik tetap hidup saat dikombinasikan dengan prebiotik dalam kombinasi sinbiotik selama pemrosesan dan atau penyimpanan. Parameter uji adalah jumlah koloni dalam CFU/mL atau laju pertumbuhan yang dihitung sebagai % viabilitas setelah waktu tertentu. Relevansi uji ini adalah

viabilitas tinggi menunjukkan sinergisme sinbiotik yang baik dan potensial manfaat kesehatan (Lee et al., 2015; Lee, Kim and Kang, 2023).

b. Uji produksi metabolit (SCFA, asam organik)

Probiotik yang memfermentasi prebiotik akan menghasilkan *short-chain fatty acids* (SCFAs) seperti asetat, propionat, butirat yang diukur dengan kromatografi gas (GC) atau HPLC setelah fermentasi. Parameter yang diukur adalah kadar SCFA (mmol/L), rasio metabolit berbanding prebiotik awal, serta perubahan pH media. Peningkatan SCFA menunjukkan efektivitas sinbiotik dalam proses fermentatif (Ballini et al., 2023; Lai et al., 2025).

c. Uji Antimikrobia atau antagonisme terhadap patogen

Pengujian ini mengukur kemampuan sinbiotik dalam menghambat pertumbuhan mikroba patogen melalui produksi asam organik, bacteriosin, atau kompetisi nutrisi. Metode yang umum digunakan adalah berupa *agar diffusion assay*, atau *co-culture assay*. Parameter yang diukur adalah diameter zona hambat atau perubahan CFU patogen, misalnya terhadap *Staphylococcus aureus*.

d. Uji modulasi sistem imun (in vivo / klinis)

Prinsip pengujian ini didasarkan pada pengukuran perubahan biomarker imun setelah konsumsi sinbiotik pada hewan coba atau manusia, antara lain sitokin (IL-6, TNF- $\alpha$ ), CRP, IgA, aktivitas sel NK, serta parameter inflamasi lain. Penilaian efek imunomodulasi ini dapat dilakukan pada berbagai formulasi kombinasi probiotik-prebiotik untuk

mengetahui efek fungsionalnya terhadap inang (Markowiak and Ślizewska, 2017; Lee, Kim and Kang, 2023).

e. Uji karakteristik fisikokimia dan sensorik produk sinbiotik

Sebagai produk pangan, kandungan gizi menentukan kualitas bahan. Kadar senyawa proksimat perlu diukur untuk menentukan nilai gizi produk yang dihasilkan, misalnya untuk menghitung nilai kalori (Korengkeng et al., 2020). Selain itu, atribut sensori memegang peranan penting dalam penerimaan. Parameter kesukaan terhadap rasa, aroma, tekstur produk sinbiotik fermentasi, misalnya yoghurt, perlu diukur, baik oleh panelis terlatih atau konsumen (Amelia et al., 2022). Tekstur dapat pula diuji menggunakan alat *texture analyzer* untuk mengukur viskositas produk. Pengujian tersebut penting dilakukan sebelum produk dipasarkan atau sebelum *scale-up* skala pabrik, meski bukan mekanisme biologis langsung, sebagai bagian dari evaluasi produk.

## E. Penutup

Peningkatan jumlah penderita penyakit degeneratif yang dipicu dysbiosis perlu diikuti dengan peningkatan kesadaran masyarakat terhadap upaya menjaga kesehatan, salah satunya dengan mengkonsumsi pangan dengan sifat fungsional. Produk probiotik, prebiotik, dan sinbiotik dapat menjadi alternatif untuk mendukung gaya hidup dan pola makan yang lebih sehat, terutama untuk mencegah

dysbiosis. Berbagai pengujian dapat dilakukan untuk menguji efektivitas maupun penerimaan produk.



## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Habsi, N. *et al.* (2024) "Health Benefits of Prebiotics, Probiotics, Synbiotics, and Postbiotics," *Nutrients* . Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). Available at: <https://doi.org/10.3390/nu16223955>.
- Ali, S. *et al.* (2025) "Recent advances in prebiotics: Classification, mechanisms, and health applications," *Future Foods*. Elsevier B.V. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100680>.
- Álvarez, C. *et al.* (2023) "In Vitro Assessment of the Prebiotic Potential of Xylooligosaccharides from Barley Straw," *Foods*, 12(1). Available at: <https://doi.org/10.3390/foods12010083>.
- Amelia, F.Y. *et al.* (2022) "Karakteristik Organoleptik Yoghurt Sinbiotik dengan Penambahan Inulin Pure Pisang Barangan (*Musa acuminata* Colla)," *Food Technology and Halal Science Journal*, 5(1), pp. 32–44. Available at: <https://doi.org/10.22219/fths.v5i1.18760>.
- Ballini, A. *et al.* (2023) "About Functional Foods: The Probiotics and Prebiotics State of Art," *Antibiotics*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/antibiotics12040635>.
- Davani-Davari, D. *et al.* (2019) "Prebiotics: Definition, types, sources, mechanisms, and clinical applications," *Foods*.

- MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute.  
Available at: <https://doi.org/10.3390/foods8030092>.
- Devi, P.B. *et al.* (2023a) "Gamma-aminobutyric acid (GABA) production by potential probiotic strains of indigenous fermented foods origin and RSM based production optimization," *LWT*, 176. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114511>.
- Devi, P.B. *et al.* (2023b) "Gamma-aminobutyric acid (GABA) production by potential probiotic strains of indigenous fermented foods origin and RSM based production optimization," *LWT*, 176. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114511>.
- Garcia-Gonzalez, N. *et al.* (2018) "Adhesion properties of food-associated *Lactobacillus plantarum* strains on human intestinal," *Frontiers in Microbiology*, 9(OCT). Available at: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02392>.
- Hwang, C.E. *et al.* (2018) "Comparison of  $\gamma$ -aminobutyric acid and isoflavone aglycone contents, to radical scavenging activities of high-protein soybean sprouting by lactic acid fermentation with *Lactobacillus brevis*," *Korean Journal of Food Preservation*, 25(1), pp. 7–18. Available at: <https://doi.org/10.11002/kjfp.2018.25.1.7>.
- Korengkeng, A.C. *et al.* (2020) "Kualitas fisikokimia dan mikrobia yoghurt sinbiotik yang diberi pati

termodifikasi umbi uwi ungu (*Dioscorea alata*) dengan level berbeda,” 40(1), pp. 124–133.

Lai, Y. *et al.* (2025) “In vitro fermentation characteristics and prebiotic activity of herbal polysaccharides: a review,” *Frontiers in Nutrition*, 12. Available at: <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1687766>.

Lee, D.H. *et al.* (2023) “Evaluating the prebiotic effect of oligosaccharides on gut microbiome wellness using in vitro fecal fermentation,” *npj Science of Food*, 7(1). Available at: <https://doi.org/10.1038/s41538-023-00195-1>.

Lee, J., Kim, S. and Kang, C.H. (2023) “Screening and Probiotic Properties of Lactic Acid Bacteria with Potential Immunostimulatory Activity Isolated from Kimchi,” *Fermentation*, 9(1). Available at: <https://doi.org/10.3390/fermentation9010004>.

Lee, J.S. *et al.* (2015) “Evaluation and characterization of a novel probiotic *Lactobacillus pentosus* PL11 isolated from Japanese eel (*Anguilla japonica*) for its use in aquaculture,” *Aquaculture Nutrition*, 21(4), pp. 444–456. Available at: <https://doi.org/10.1111/anu.12176>.

Lestari, L.A. *et al.* (2025) “Effect of Fiber Drink Consumption Containing Glucomannan and Isomaltooligosaccharide on Digesta Profile and Gut Microbiota,” *Trends in Sciences*, 22(2). Available at: <https://doi.org/10.48048/tis.2025.8642>.

- Markowiak, P. and Ślizewska, K. (2017) "Effects of probiotics, prebiotics, and synbiotics on human health," *Nutrients*. MDPI AG. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu9091021>.
- Pandey, K.R., Naik, S.R. and Vakil, B. V. (2015) "Probiotics, prebiotics and synbiotics- a review," *Journal of Food Science and Technology*. Springer India, pp. 7577–7587. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1921-1>.
- Pérez Guerra, N. (2025) "The Impact of Probiotics, Prebiotics, and Functional Foods on Human Health," *Nutrients* . Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). Available at: <https://doi.org/10.3390/nu17091529>.
- Pingkan, A. *et al.* (2023) "Synbiotic increasing probiotic viability with the addition of prebiotics in synbiotic yogurt," *Zigma*, 38(2), pp. 29–40.
- Rahim, M.A. *et al.* (2021) "Functional and nutraceutical properties of fructo-oligosaccharides derivatives: a review," *International Journal of Food Properties*. Taylor and Francis Ltd., pp. 1588–1602. Available at: <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1986520>.
- Saville, S.H. *et al.* (2025) "The prebiotic landscape: history, health and physiological benefits, and regulatory challenges-an IPA perspective part 1," *Beneficial Microbes*. Brill Wageningen Academic, pp. 1–33.

Available at: <https://doi.org/10.1163/18762891-bja00056>.

Swanson, K.S. *et al.* (2020) "The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of synbiotics," *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*. Nature Research, pp. 687–701. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41575-020-0344-2>.

# **BAB 8**

## **PROTEIN DAN PEPTIDA**

### **BIOAKTIF**

**Oleh: Dr. Aprilia Fitriani, S.T.P., M.Sc.**

#### **A. Pendahuluan**

Protein termasuk ke dalam komponen gizi makro yang secara luas terkandung dalam berbagai jenis bahan pangan, baik yang berasal dari sumber nabati maupun hewani. Keberadaan protein dalam pangan berperan utama dalam menunjang kecukupan asupan protein bagi tubuh. Selain fungsi gizinya, protein turut menentukan karakteristik fisikokimia serta atribut sensori suatu produk pangan. Seiring berkembangnya penelitian, protein juga diketahui memiliki potensi sebagai senyawa bioaktif yang dapat dimanfaatkan sebagai ingredien pangan maupun dalam pengembangan produk kesehatan.

Protein yang berperan sebagai senyawa bioaktif umumnya ditemukan dalam ukuran yang kecil, yang disebut sebagai peptida. Dalam beberapa dekade terakhir, perhatian peneliti banyak tertuju pada aktivitas biologis peptida. Beragam fungsi biologis telah diidentifikasi, antara lain sebagai penambah cita rasa, agen pengemulsi dan penstabil, serta memiliki aktivitas antihipertensi, antiinflamasi, antiadipogenik, antimikroba, dan antioksidan. Selain itu,

peptida tertentu juga berperan dalam memodulasi pertumbuhan bakteri probiotik. Sumber peptida bioaktif yang telah banyak diteliti berasal dari bahan pangan hewani seperti daging, telur, dan ikan, sementara dari sisi nabati, kelompok sereal dan kacang-kacangan menjadi objek kajian utama.

Efektivitas peptida bioaktif dalam menunjang kesehatan telah dibuktikan melalui berbagai penelitian. Aktivitas antihipertensi yang diuji melalui mekanisme penghambatan enzim ACE (*Angiotensin converting enzyme*), baik secara *in vitro* maupun *in vivo*, menunjukkan kinerja yang setara bahkan lebih unggul dibandingkan senyawa obat sintetis. Keunggulan lain dari peptida bioaktif adalah kemampuannya menekan risiko toksisitas serta efek samping yang umumnya dikaitkan dengan penggunaan obat kimia. Berdasarkan perspektif lingkungan, peptida bioaktif dinilai lebih aman karena bersifat *biodegradable*, sehingga tidak menimbulkan dampak pencemaran seperti halnya residu obat sintetis yang masih aktif.

Keunggulan peptida bioaktif tersebut menjadikannya sebagai fokus penting dalam penelitian di bidang pangan fungsional dan nutrasetikal, khususnya terkait proses produksi, karakterisasi, dan pemanfaatannya. Oleh karena itu, informasi ilmiah yang komprehensif mengenai peptida bioaktif sangat diperlukan sebagai dasar pengembangan ilmu pengetahuan dan aplikasi inovatif di masa mendatang.

## **B. Definisi Peptida Bioaktif**

Peptida bioaktif merujuk pada segmen tertentu dari molekul protein yang tersusun atas urutan asam amino spesifik dan memiliki fungsi biologis yang khas. Fungsi biologis tersebut berkaitan dengan kemampuan urutan asam amino dalam menimbulkan berbagai aktivitas, seperti bertindak sebagai pengemulsi, penambah cita rasa, penstabil, antioksidan, antihipertensi, antiadipogenik, antimikroba, antiinflamasi, serta berperan dalam pencegahan penyakit kardiovaskular (de Castro and Sato, 2015). Menurut (Korhonen and Pihlanto, 2006), peptida bioaktif merupakan fragmen protein yang mampu memberikan efek menguntungkan terhadap fungsi organ dan berkontribusi pada peningkatan status kesehatan. Sementara itu, (Fitzgerald and Murray, 2006) menjelaskan bahwa peptida bioaktif dapat menunjukkan aktivitas menyerupai hormon atau agen farmakologis, yang bekerja dengan cara berikatan pada reseptor spesifik di sel target sehingga memicu respons fisiologis tertentu.

Secara umum, peptida bioaktif tersusun atas dua hingga dua puluh residu asam amino dengan berat molekul kurang dari 6000 Da (de Castro and Sato, 2015). Aktivitas biologinya sangat dipengaruhi oleh jenis, komposisi, dan urutan asam amino yang menyusunnya (Korhonen and Pihlanto, 2006). Tingkat hidrofobisitas merupakan salah satu faktor kunci yang menentukan potensi aktivitas peptida bioaktif. Sifat hidrofobik berperan penting dalam pembentukan struktur dan interaksi molekul protein,

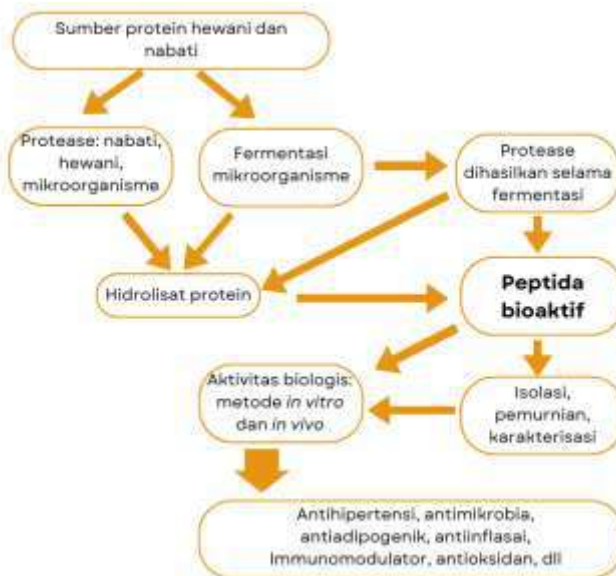


termasuk kemampuan berikatan dengan membran sel, pengenalan molekul target, serta pembentukan kompleks dengan senyawa lain yang memiliki aktivitas biologis (Mundi and Aluko, 2014). Di samping karakteristik molekuler, metode produksi juga memengaruhi aktivitas peptida yang dihasilkan. Peptida bioaktif dapat diperoleh melalui hidrolisis enzimatis menggunakan enzim pencernaan atau enzim proteolitik asal tumbuhan, proses fermentasi oleh mikroorganisme penghasil enzim proteolitik, maupun melalui kombinasi kedua pendekatan tersebut (de Castro and Sato, 2015).

### **C. Proses Produksi Peptida Bioaktif**

Secara umum, tahapan produksi peptida bioaktif dapat digambarkan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.1. Dalam proses pembentukan peptida bioaktif melalui hidrolisis protein, terdapat sejumlah parameter kunci yang harus dikendalikan. Faktor-faktor tersebut meliputi jenis dan karakteristik bahan baku protein yang digunakan, termasuk sifat fisik dan kimianya, serta karakteristik enzim yang diaplikasikan, seperti tingkat kemurnian, spesifisitas terhadap substrat, aktivitas spesifik, dan kondisi optimum pH serta suhu yang memengaruhi kinerja dan stabilitas enzim. Selain itu, kondisi proses hidrolisis juga berperan penting, mencakup perbandingan konsentrasi enzim dan substrat, nilai pH, suhu proses, serta lama waktu reaksi (de Castro and Sato, 2015; Fitriani *et al.*, 2022). Pendekatan hidrolisis enzimatis umumnya dimanfaatkan untuk mengidentifikasi peptida bioaktif yang dihasilkan oleh

enzim tertentu. Namun, metode ini lebih sesuai diterapkan pada skala laboratorium mengingat biaya enzim yang relatif tinggi. Sebaliknya, metode fermentasi dinilai lebih aplikatif untuk produksi peptida bioaktif dalam skala industri, karena mikroorganisme dapat menjadi sumber enzim protease yang lebih ekonomis dan aman digunakan (M. Liu et al., 2016).



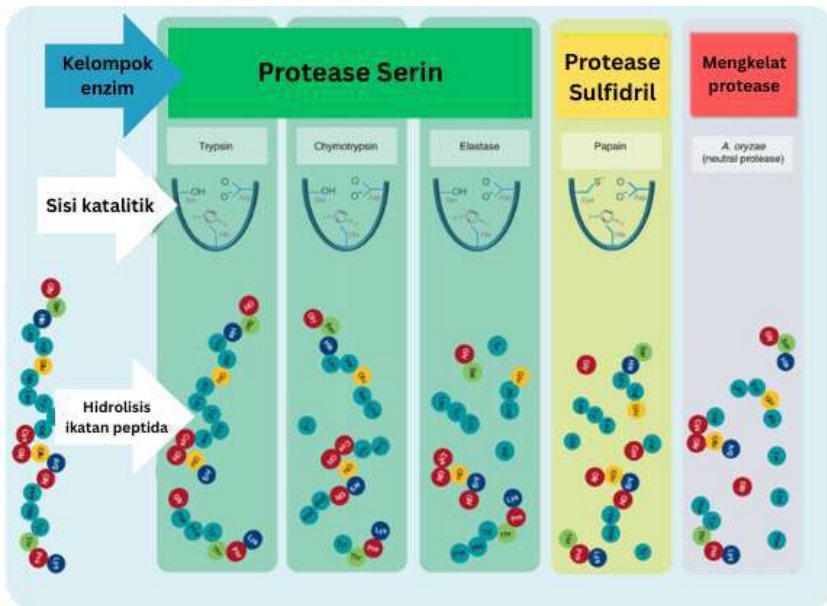
**Gambar 8. 1** Proses Produksi Peptida Bioaktif dan Bioaktivitasnya

## 1. Hidrolisis Enzimatis

Hidrolisis enzimatis dikenal sebagai metode yang paling efisien, aman, dan mudah dikendalikan dalam menghasilkan peptida bioaktif. Selain menghasilkan peptida dengan aktivitas biologis tertentu, metode ini juga berpotensi

meningkatkan fungsi fisiologis serta nilai biologis peptida yang diperoleh. Lebih lanjut, hidrolisis enzimatis dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan nilai tambah limbah atau hasil samping industri pangan (de Castro and Sato, 2015).

Proses hidrolisis enzimatis bekerja dengan memutus dan memodifikasi struktur tersier protein, sehingga menyebabkan penurunan berat molekul dan perubahan karakteristik kelarutan peptida. Terbukanya struktur protein selama proses hidrolisis menghasilkan molekul peptida dengan paparan gugus hidrofobik yang lebih tinggi pada permukaannya (de Castro and Sato, 2015; Mora, Aristoy and Toldrá, 2018). Enzim protease berperan sebagai katalis dalam reaksi pemutusan berbagai jenis ikatan, termasuk ikatan peptida, ikatan kovalen tertentu, dan ikatan hidrogen (Zhang et al., 2013). Selain itu, hidrolisis enzimatis juga dapat memperkuat interaksi antarmolekul peptida maupun antara peptida dan lingkungannya, yang pada akhirnya memengaruhi sifat fungsional peptida yang dihasilkan (de Castro, Bagagli and Sato, 2015). Jenis-jenis enzim protease yang umum digunakan dalam proses ini beserta mekanisme pemutusan ikatan peptidanya disajikan pada Gambar 8.2.



**Gambar 8.2** Enzim protease dan spesifisitas pemutusan ikatan peptida

(Sumber: (de Castro, Bagagli and Sato, 2015))

Berdasarkan informasi yang disajikan pada Gambar 8.2, diketahui bahwa setiap enzim protease memiliki karakteristik dan mekanisme kerja yang berbeda-beda. Papain termasuk ke dalam kelompok sistein endopeptidase yang memiliki rentang spesifisitas substrat relatif luas, dengan kemampuan utama menghidrolisis ikatan peptida yang melibatkan residu asam amino arginin, lisin, dan fenilalanin. Proses pemutusan rantai protein oleh papain umumnya diawali dari residu asam amino pada ujung C-terminal. Sementara itu, tripsin merupakan enzim serin protease yang memiliki selektivitas substrat lebih sempit, dengan aktivitas spesifik pada pemutusan ikatan peptida di

sisi gugus karboksilat dari residu lisin dan arginin. Berbeda dengan kedua enzim tersebut, pankreatin merupakan campuran beberapa jenis enzim pencernaan, yang meliputi lipase, amilase, serta protease seperti tripsin, kemotripsin, dan elastase. Kompleks enzim ini memiliki pola hidrolisis yang lebih luas dan tidak terarah, dengan kemampuan memotong ikatan protein pada gugus N-terminal yang terfosforilasi, residu hidrofobik di ujung C-terminal, serta bagian tengah molekul  $\beta$ -kasein (de Castro, Bagagli and Sato, 2015).

Proses hidrolisis protein, nilai derajat hidrolisis (*degree of hydrolysis*/DH), serta karakteristik hidrolisat yang dihasilkan dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain jenis dan spesifisitas enzim yang digunakan, kondisi awal sampel, lama waktu reaksi, serta perbandingan antara enzim dan substrat. Spesifisitas protease dan parameter proses seperti pH, suhu, serta durasi hidrolisis berperan penting dalam menentukan panjang rantai peptida dan urutan asam amino yang terbentuk, yang selanjutnya memengaruhi munculnya aktivitas biologis tertentu pada hidrolisat protein (Kitts and Weiler, 2003; de Castro and Sato, 2015). Perbedaan jenis enzim maupun kondisi proses juga berdampak langsung pada besarnya nilai DH yang dicapai (de Castro, Bagagli and Sato, 2015). Derajat hidrolisis sendiri didefinisikan sebagai persentase ikatan peptida yang terputus selama proses hidrolisis berlangsung (Adler-Nissen, 1979). Nilai DH sebesar 100% menggambarkan pemecahan protein secara sempurna hingga menjadi asam amino bebas, sedangkan penggunaan

enzim dengan spesifisitas tertentu umumnya menghasilkan DH yang lebih rendah dari nilai tersebut (Leeb et al., 2015).

Tingginya nilai DH mencerminkan ketepatan pemilihan enzim serta kesesuaian kondisi hidrolisis yang diterapkan. Kondisi hidrolisis enzimatis dinyatakan optimum apabila mampu menghasilkan nilai DH yang relatif tinggi, yang umumnya sejalan dengan peningkatan aktivitas biologis peptida yang dihasilkan. Hubungan antara DH dan aktivitas biologis tersebut tercermin pada hasil penelitian yang dirangkum dalam Tabel 8.1, yang menunjukkan kondisi optimum hidrolisis beberapa enzim pada substrat kolagen.

Hidrolisis kolagen menggunakan alkalase menunjukkan kondisi optimum pada berbagai waktu reaksi, terutama setelah perlakuan awal perebusan 5 menit yang menghasilkan DH dan aktivitas penghambatan ACE lebih tinggi (Zhang et al., 2013). Sebaliknya, kolagen tanpa perlakuan awal memberikan DH dan aktivitas inhibisi ACE tertinggi saat dihidrolisis dengan kolagenase. Enzim lain, seperti proteinase K, pepsin, thermolysin, dan tripsin, menghasilkan DH yang lebih rendah meskipun masih menunjukkan aktivitas penghambatan ACE. Hasil ini menegaskan bahwa spesifisitas enzim sangat menentukan efektivitas hidrolisis dan karakteristik peptida bioaktif yang dihasilkan (de Castro and Sato, 2015).

**Tabel 8. 1** Enzim, buffer, dan kondisi reaksi yang digunakan pada hidrolisis sampel kolagen

| Enzim        | Kondisi optimal | Larutan <i>buffer</i>       |
|--------------|-----------------|-----------------------------|
| Alkalase     | pH 8,0; 55 °C   | 0,1 M <i>buffer</i> fosfat  |
| Kolagenase   | pH 7,5; 37 °C   | 0,1 M <i>buffer</i> fosfat  |
| Termolisin   | pH 8,0; 37 °C   | 0,1 M <i>buffer</i> fosfat  |
| Proteinase K | pH 7,5; 37 °C   | 0,1 M <i>buffer</i> fosfat  |
| Pepsin       | pH 2,0; 37 °C   | 0,05 M <i>buffer</i> fosfat |
| Tripsin      | pH 8,0; 37 °C   | 0,1 M <i>buffer</i> fosfat  |

(Sumber: (Zhang et al., 2013))

Variasi durasi hidrolisis terbukti menghasilkan nilai derajat hidrolisis (DH) yang berbeda. Pada proses hidrolisis plasma pada babi selama 0,5; 2; dan 5 jam, nilai DH yang diperoleh masing-masing sebesar 6,2%, 12,7%, dan 17,6%. Peningkatan nilai DH tersebut sejalan dengan meningkatnya aktivitas antioksidan yang diukur melalui penghambatan radikal DPPH serta kemampuan pengkelatan logam. Sampel dengan nilai DH tertinggi, yaitu 17,6%, menunjukkan aktivitas penghambatan radikal DPPH paling besar sebesar 76,53%, serta kemampuan pengkelatan logam tertinggi terhadap ion  $\text{Cu}^{2+}$  sebesar 44,45% dan ion  $\text{Fe}^{2+}$  sebesar 12,03% (Liu et al., 2010).

Pengaruh perbandingan antara enzim dan substrat dalam proses hidrolisis enzimatis terhadap pembentukan peptida bioaktif telah dikaji oleh (Tavares et al., 2011). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa peningkatan rasio enzim terhadap substrat (E/S) berbanding lurus dengan kenaikan nilai DH. Penggunaan rasio E/S (% v/v) sebesar 1,5%, 6,5%, dan 11,5% pada hidrolisis konsentrat whey

protein dengan enzim kardosin, yang termasuk kelompok aspartat protease, menghasilkan nilai DH masing-masing sebesar 7,9%, 13,0%, dan 15,7%.

## **2. Fermentasi**

Fermentasi dikenal sebagai salah satu pendekatan yang paling efektif dan ekonomis dalam proses hidrolisis protein untuk menghasilkan peptida bioaktif. Selama fermentasi berlangsung, sistem proteolitik mikroorganisme akan menghasilkan enzim proteinase yang berperan dalam pembentukan peptida bioaktif sesuai dengan tingkat spesifisitasnya. Melalui proses ini, protein kompleks akan terurai menjadi senyawa yang lebih sederhana, seperti oligopeptida, dipeptida, dan tripeptida. Proses degradasi tersebut juga menyebabkan meningkatnya keterpaparan sisi aktif molekul protein, yang selanjutnya dapat memperkuat aktivitas biologisnya (W. Liu et al., 2016).

Penerapan fermentasi dalam produksi peptida bioaktif banyak dijumpai pada pengolahan produk berbasis susu, mengingat bahan pangan ini secara alami mengandung protein prekursor yang berpotensi menghasilkan senyawa bioaktif. Selama fermentasi susu, berbagai jalur metabolisme mikroba berlangsung secara simultan dan menghasilkan metabolit yang berkontribusi signifikan terhadap karakteristik kimia, biokimia, serta nilai gizi produk fermentasi. Sistem proteolitik bakteri asam laktat (BAL) memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi dan tersusun atas tiga komponen utama, yaitu: (1) protease yang terikat pada dinding sel dan berfungsi menginisiasi



pemecahan kasein menjadi oligopeptida, (2) sistem transport spesifik yang memfasilitasi perpindahan oligopeptida ke dalam sitoplasma dan peptida intraseluler, serta (3) tahap akhir hidrolisis yang menghasilkan asam amino bebas atau peptida dengan berat molekul lebih rendah. Beberapa spesies BAL yang diketahui memiliki aktivitas proteolitik tinggi antara lain *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Lactococcus lactis* subsp. *diacetylactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, dan *Streptococcus salivarius* subsp. *Thermophilus* (de Castro and Sato, 2015).

Selain diaplikasikan pada produk susu, proses fermentasi juga banyak dimanfaatkan pada bahan pangan berbasis kekacangan dan sereal untuk menghasilkan peptida bioaktif. Beberapa jenis kapang yang umum digunakan dalam fermentasi kelompok bahan tersebut antara lain *Aspergillus oryzae* dan *Aspergillus sojae* (de Castro and Sato, 2015). Di samping itu, fermentasi juga diterapkan pada produk daging sebagai upaya menghasilkan peptida bioaktif, salah satunya pada produk tradisional Jinhua ham. Produksi peptida bioaktif melalui fermentasi Jinhua ham dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan dan proses, seperti konsentrasi NaCl, suhu, nilai pH, serta intensitas cahaya selama fermentasi berlangsung (M. Liu et al., 2016).

### **3. Kombiniasi hidrolisis enzimatik dengan fermentasi**

Hidrolisis enzimatis yang dikombinasikan dengan enzim komersial digunakan untuk meningkatkan jumlah dan

aktivitas peptida bioaktif, terutama ketika metode tunggal menghasilkan peptida berantai panjang dengan aktivitas rendah. Fermentasi susu oleh bakteri asam laktat (BAL) menghasilkan whey protein dengan aktivitas antihipertensi, dan penggabungannya dengan hidrolisis enzimatis terbukti lebih efektif dalam meningkatkan konsentrasi serta aktivitas biologis peptida dibandingkan perlakuan tunggal (Hafeez et al., 2014).

## **D. Pemurnian dan Identifikasi Peptida Bioaktif**

### **1. Kromatografi**

#### **a. HPLC (*High Perform Liquid Chromatography*)**

Teknik kromatografi merupakan teknik pemisahan dan pemurnian peptida yang paling umum digunakan berdasarkan karakteristik fisikokimia dari peptida target.

#### **b. UHPLC (*Ultra High Pressure Liquid Chromatography*)**

UHPLC mampu menunjukkan potensi pemisahan peptida bioaktif dengan berat molekul yang rendah. UHPLC mampu meningkatkan/memperbaiki hasil yang diperoleh dari teknik HPLC. Selain itu, kelebihan lain dari teknik UHPL adalah tingkat resolusi dan sensitifitasnya yang lebih baik.

#### **c. RP-HPLC (*Reversed Phase Chromatography*)**

RP-HPLC dapat digunakan untuk memisahkan peptida berdasarkan hidrofobisitasnya.

- d. *HILIC (Hydrophilic Interaction Liquid Chromatography)*  
HILIC digunakan untuk memisahkan substansi hidrofilik dari suatu peptida. Metode ini didasarkan pada peningkatan retensi dengan peningkatan polaritas fase diam dan pelarut, serta menurunkan polaritas pelarut organik yang digunakan dalam proses elusi. Prinsip teknik HILIC berkebalikan dengan prinsip teknik RP-HPLC.
- e. *Affinity Chromatography*  
Teknik kromatografi afinitas didasarkan pada interaksi bioaktif yang spesifik antara peptida dengan molekul komplementari pada fase padat, sehingga molekul target terikat dengan fase padat dan dapat diperoleh.
- f. *Ion-exchange Chromatography (IEC)*  
Kromatografi pertukaran ion didasarkan pada interaksi muatan peptida bioaktif dengan fase padat bermuatan yang berlawanan dari analit diinginkan.
- g. *Isoelectric Focussing (IEF)*  
Pemisahan protein/peptida didasarkan dengan titik isoelektriknya, sehingga matriks dengan protein/peptida yang diharapkan akan terkumpul. Teknik ini didasarkan pada pH larutan.
- h. *Size Exclusion Chromatography (SEC)*  
Teknik ini didasarkan pada fraksinasi dari peptida yang tertahan pada fase diam dengan ukuran molekul tertentu, sedangkan molekul peptida dengan berat molekul yang lebih besar akan terlebih dahulu melewati pori dengan waktu retensi yang singkat.

## **2. *Gel electrophoresis and ultrafiltration***

Metode tambahan yang umum digunakan untuk menganalisis struktur dan komposisi kimia suatu peptida

## **3. *Mass spectrometry***

- a. MALDI-TOF (*Matrix Assisted Laser Desorption/Ionization – Time of Flight*)

Teknik MALDI-TOF didasarkan pada pemberian energi laser pada suatu analit yang dilarutkan pada matriks pelarut sehingga berdampak pada akumulasi energi densitas tinggi, akibatnya akan dihasilkan penguapan analit dan matriks. Umumnya penggunaan MALDI dikombinasikan dengan TOF MS, sehingga dapat diketahui retensi waktu ion-ion analit menuju detector dan diperoleh rasio M/Z.

- b. LC-MS (*Liquid Chromatography-Mass Spectrometry*)

Teknik LC-MS umumnya digunakan untuk identifikasi *sequence* dari suatu peptida.

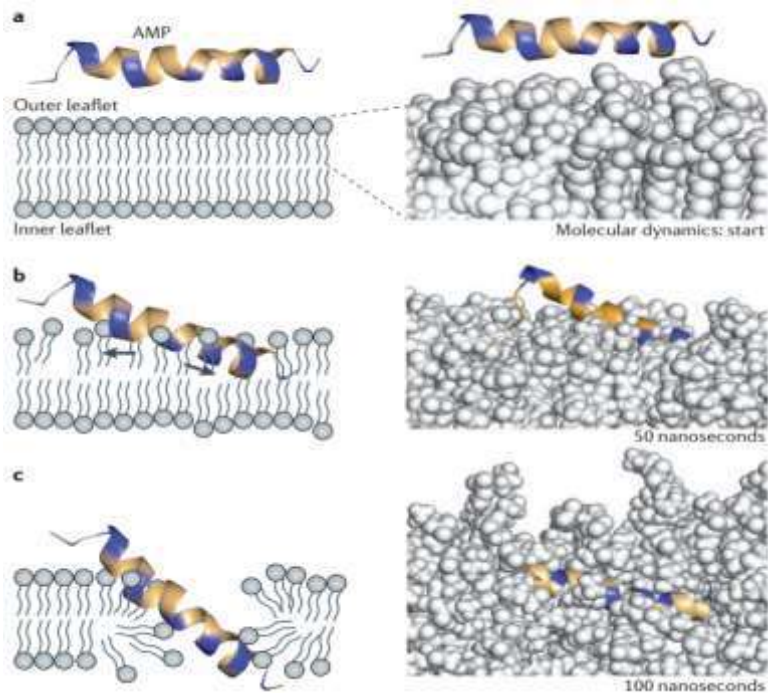
## **E. Aplikasi Peptida Bioaktif**

### **1. Peptida bioaktif sebagai antimikrobia**

Sebagian besar makhluk hidup memiliki kemampuan alami untuk menghasilkan peptida antimikrobia sebagai bagian dari sistem pertahanan biologisnya. Peptida ini umumnya tersusun atas rantai asam amino yang relatif pendek, berkisar antara 12 hingga 100 residu, bermuatan positif dengan kisaran muatan +2 sampai +9, serta memiliki sifat amfifilik. Peptida antimikrobia dapat diperoleh dari

berbagai sumber biologis, mulai dari mikroorganisme uniseluler, serangga dan invertebrata lainnya, tumbuhan, amfibi, aves, ikan, hingga mamalia, termasuk manusia. Secara langsung, peptida antimikrobia mampu menghambat atau membunuh mikroorganisme patogen. Namun demikian, efektivitas aktivitas tersebut dapat menurun akibat pengaruh kondisi fisiologis tertentu, seperti keberadaan kation divalen dalam konsentrasi sedang hingga tinggi, aktivitas protease inang, keberadaan anion polivalen, serta konsentrasi peptida yang relatif rendah (Jenssen, Hamill and Hancock, 2006).

Baik peptida antimikrobia alami maupun yang telah dimodifikasi umumnya menunjukkan spesifisitas terhadap spesies mikroba tertentu. Sifat ini memungkinkan peptida tersebut menargetkan bakteri patogen tanpa mengganggu keseimbangan mikrobiota normal (Mondhe et al., 2014). Mekanisme kerja peptida antibakteri diawali oleh interaksi elektrostatis antara muatan positif peptida dan muatan negatif lipid pada permukaan luar dinding sel bakteri atau membran sitoplasma. Tahapan selanjutnya dalam proses inaktivasi bakteri sangat bergantung pada jenis peptida yang terlibat (Kusumaningtyas et al., 2015). Secara umum, mekanisme aktivitas antibakteri peptida dapat diklasifikasikan ke dalam dua kelompok utama, yaitu peptida yang bekerja dengan mengganggu permeabilitas membran sel dan peptida yang menargetkan komponen intraseluler di dalam sitoplasma (Jenssen, Hamill and Hancock, 2006).



**Gambar 8. 3** Mekanisme kerusakan membran atau translokasi oleh peptida antimikrobia. Peptida antimikrobia (AMP) dengan bagian hidrofobik berwarna biru  
(Sumber: (Fjell et al., 2012))

Peptida antimikrobia yang bekerja dengan memodifikasi permeabilitas membran sel bakteri umumnya menjalankan mekanismenya melalui pembentukan pori pada membran. Interaksi awal antara peptida dan membran bakteri kemudian diikuti oleh terjadinya kerusakan struktur membran serta gangguan fungsi fisiologisnya, seperti proses biosintesis dinding sel, pembelahan sel, maupun perpindahan peptida melintasi membran untuk berinteraksi langsung dengan komponen sitoplasma sel target

(Kusumaningtyas et al., 2015). Mekanisme kerusakan membran dan proses translokasi peptida antimikrobia tersebut ditunjukkan pada Gambar 8.3. Tahapan awal ditandai dengan adsorpsi peptida pada permukaan membran (a), yang kemudian diikuti oleh penetrasi atau penyisipan ke dalam membran luar (b). Namun, tidak semua peptida antimikrobia mampu menembus dan merusak membran (c) atau membentuk struktur pori.

Pembentukan pori oleh peptida dipengaruhi oleh panjang rantai dan konsentrasinya, di mana peptida pendek kurang efektif membentangkan bilayer lipid, sedangkan peningkatan konsentrasi mendorong pelengkungan membran dan pembentukan pori. Sebaliknya, peptida antimikrobia intraseluler bekerja dengan menembus membran tanpa merusaknya dan menghambat fungsi penting sel, seperti sintesis asam nukleat dan aktivitas enzimatik (Jenssen, Hamill and Hancock, 2006; Fjell et al., 2012).

## **2. Peptida bioaktif dengan aktifitas antioksidan**

Antioksidan merupakan senyawa yang mampu menunda atau menghambat secara signifikan terjadinya reaksi oksidasi pada suatu substrat. Dalam konteks nutrasetikal, antioksidan memegang peranan penting dalam melindungi tubuh dari dampak reaksi oksidatif yang berlebihan (Bougatef et al., 2009). Selain itu, antioksidan juga banyak dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pangan untuk mencegah terjadinya oksidasi pada produk pangan selama pengolahan dan penyimpanan (de Castro and Sato, 2015).

Kehadiran antioksidan berperan dalam menekan aktivitas radikal bebas yang dapat memicu berbagai kerusakan biologis, seperti degradasi protein dan lipid, mutasi DNA, oksidasi membran fosfolipid, serta peningkatan kadar kolesterol LDL (Korhonen and Pihlanto, 2006).

Aktivitas antioksidan pada peptida bioaktif dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain berat molekul, kandungan asam amino hidrofobik dan aromatik, keberadaan asam amino bermuatan, urutan asam amino, serta jenis asam amino yang memiliki potensi antioksidan tinggi (Kusumaningtyas et al., 2015). Peptida bioaktif dapat mengekspresikan aktivitas antioksidan melalui beberapa mekanisme, di antaranya penghambatan peroksidasi lipid, penangkapan radikal bebas, pengkelatan ion logam, serta penurunan pembentukan spesies oksigen reaktif (de Castro, Bagagli and Sato, 2015).

Ukuran molekul peptida berperan penting dalam menentukan kemampuan penghambatan radikal DPPH. Peptida dengan berat molekul rendah (*Low Molecular Weight/LMW*), khususnya yang berada di bawah 1 kDa, menunjukkan aktivitas penghambatan radikal DPPH yang lebih tinggi dibandingkan fraksi peptida dengan berat molekul lebih besar (*High Molecular Weight/HMW*), terutama pada kisaran 3–5 kDa dan 5–10 kDa. Hal ini berkaitan dengan tingginya kandungan asam amino hidrofobik dan aromatik pada fraksi peptida bermassa molekul rendah (Ajibola et al., 2011). Selain itu, fraksi peptida dengan berat molekul kecil juga dilaporkan



memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menangkal radikal superoksida (Li et al., 2008), meskipun aktivitas tersebut masih lebih rendah jika dibandingkan dengan sistem enzimatis antioksidan endogen seperti glutathione superoxide dismutase (Ajibola et al., 2011).

Asam amino aromatik seperti tirosin, triptofan, dan fenilalanin memiliki gugus fungsional fenolik, indol, dan imidazol yang memungkinkan perannya sebagai donor proton bagi senyawa radikal yang kekurangan elektron (Duan et al., 2014). Histidin juga berkontribusi melalui gugus imidazol pada rantai sampingnya (Ajibola et al., 2011). Keberadaan asam amino tirosin, triptofan, metionin, lisin, dan sistein dianggap sebagai faktor kunci dalam menentukan potensi antioksidan suatu peptida, terutama dalam kemampuannya mereduksi ion  $\text{Fe}^{3+}$  menjadi  $\text{Fe}^{2+}$  serta mengkelat ion logam seperti  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Cu}^{2+}$  (Carrasco-Castilla et al., 2012). Metionin dan sistein diketahui mampu menyumbangkan atom hidrogen dari gugus sulfur sehingga efektif dalam menetralkan senyawa radikal (Ajibola et al., 2011). Sementara itu, fenilalanin, isoleusin, valin, dan leusin juga berkontribusi dalam penghambatan radikal superoksida (Li et al., 2008).

Tingkat hidrofobisitas peptida menunjukkan hubungan positif dengan kemampuannya dalam menangkal radikal DPPH dan senyawa radikal lainnya. Peptida dengan sifat hidrofobik yang lebih tinggi umumnya memiliki aktivitas antioksidan yang lebih kuat dibandingkan peptida dengan hidrofobisitas rendah. Sifat ini memungkinkan

peptida lebih mudah larut dalam media nonpolar, sehingga meningkatkan peluang interaksi antara peptida dan senyawa radikal untuk menghentikan reaksi oksidasi (Ajibola et al., 2011).

Evaluasi aktivitas antioksidan peptida bioaktif dapat dilakukan melalui pendekatan *in vitro* maupun *in vivo*. Pengujian *in vitro* meliputi metode penghambatan radikal DPPH, pengukuran kapasitas penangkapan radikal peroksil (ORAC), reduksi ion logam sebagai prooksidan (FRAP), penghambatan radikal ABTS, pengkelatan ion  $\text{Cu}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{2+}$ , serta analisis produk peroksidasi lipid. Sementara itu, pengujian *in vivo* umumnya dilakukan dengan mengukur aktivitas enzim antioksidan pada hewan uji, seperti superoxide dismutase (SOD), katalase (CAT), glutathione (GSH), glutathione-S-transferase (GST), glutathione peroksidase (GPx), serta kadar malonaldehid sebagai indikator peroksidasi lipid (de Castro and Sato, 2015).

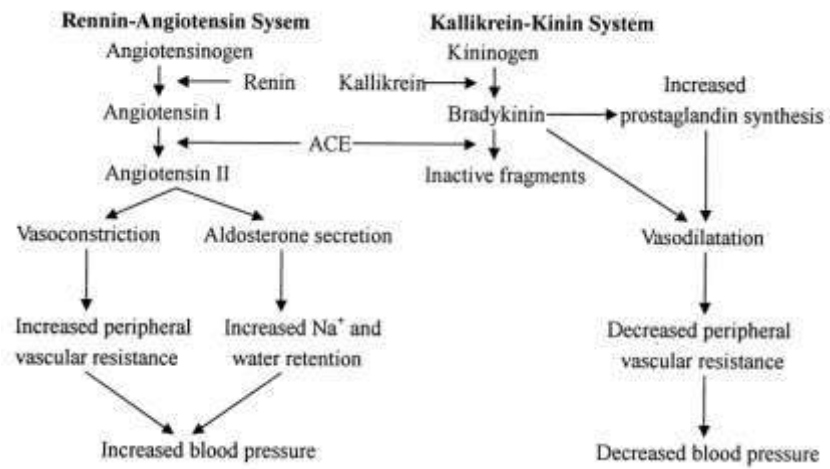
### **3. Peptida bioaktif dengan aktifitas anti-adipogenik**

Obesitas merupakan kondisi akibat ketidakseimbangan antara asupan dan kebutuhan energi yang ditandai oleh peningkatan jaringan adiposa. Pengendalian obesitas dapat dilakukan dengan menghambat adipogenesis melalui penekanan aktivitas enzim kunci, seperti *Glycerol-3-Phosphate Dehydrogenase* (GPDH) dan *Fatty Acid Synthase* (FAS), yang berperan dalam sintesis lipid. Penurunan aktivitas kedua enzim tersebut mampu mengurangi akumulasi lipid, sehingga hidrolisat protein berpotensi

dimanfaatkan sebagai agen pencegah obesitas (de Castro and Sato, 2015).

Hidrolisat protein kedelai dilaporkan memiliki daya inhibisi yang kuat terhadap enzim FAS, yang ditunjukkan oleh nilai  $IC_{50}$  yang relatif rendah. Aktivitas ini terutama dikaitkan dengan keberadaan  $\beta$ -conglycinin (BC), yaitu fraksi protein khas pada kelompok kacang-kacangan. Nilai  $IC_{50}$  hidrolisat protein kedelai terhadap aktivitas FAS dilaporkan berada pada kisaran 50–175  $\mu$ M. Studi pemerikayaan protein pada berbagai genotipe kedelai menunjukkan bahwa kedelai dengan kandungan BC yang lebih tinggi memiliki kemampuan penghambatan FAS yang lebih besar dibandingkan dengan glycinin (GL). Temuan ini mengindikasikan bahwa BC mengandung peptida yang lebih efektif dalam menekan aktivitas FAS. Variasi komposisi subunit pada BC dan GL turut memengaruhi efektivitas biologis hidrolisat proteinnya. Aktivitas penghambatan FAS diketahui meningkat seiring dengan tingginya proporsi subunit  $\alpha$  dan  $\alpha'$  pada BC. Perbedaan fungsi biologis antara BC dan GL disebabkan oleh variasi jenis, komposisi, dan urutan asam amino penyusunnya. Meskipun BC dan GL memiliki subunit yang bersifat homolog, bobot molekul keduanya berbeda. Kandungan asam amino asam (asam aspartat dan asam glutamat), asam amino basa (arginin, histidin, dan lisin), serta asam amino aromatik (fenilalanin dan tirosin) pada BC relatif lebih tinggi dibandingkan dengan GL, sedangkan GL lebih kaya akan asam amino yang mengandung sulfur, seperti sistein dan metionin. Penggunaan subunit  $\alpha$  dan  $\alpha'$  dari BC dilaporkan mampu

menurunkan kadar LDL yang ditambahkan pada kultur sel, sementara subunit  $\beta$  menunjukkan aktivitas yang lebih rendah (Mejia et al., 2010).



**Gambar 8. 4** Mekanisme Aktivitas ACE pada Regulasi Tekanan Darah  
(Sumber: (Li et al., 2004))

Aktivitas penghambatan adipogenesis juga ditunjukkan oleh tripeptida yang tersusun atas isoleusin, glisin, dan asparagin, dengan nilai  $IC_{50}$  sebesar 0,014 mg protein/mL. Hidrolisat protein kedelai yang kaya akan gugus hidrofobik dan asam diketahui mampu menurunkan kadar trigliserida serum serta meningkatkan metabolisme lipid. Selain itu, isolat protein kedelai menunjukkan tingkat ekspresi mRNA FAS yang lebih rendah pada jaringan adiposa. Dengan demikian, isolat dan hidrolisat protein kedelai memiliki potensi sebagai agen pengendali

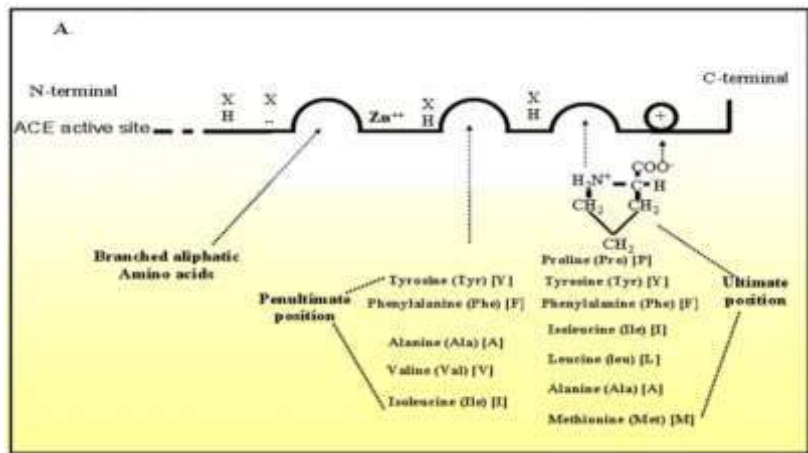
adipogenesis melalui modulasi metabolisme dan akumulasi lipid (Wei et al., 2007).

#### **4. Peptida bioaktif dengan aktivitas anti-hipertensi**

Hipertensi merupakan masalah kesehatan global yang berkaitan erat dengan penyakit kardiovaskular, seperti aterosklerosis dan stroke. Kondisi ini dipengaruhi oleh aktivitas *Angiotensin Converting Enzyme* (ACE) yang mengubah angiotensin I menjadi angiotensin II, sehingga memicu vasokonstriksi dan peningkatan tekanan darah. Inhibitor ACE bekerja secara kompetitif dengan menghambat pembentukan angiotensin II, menekan vasokonstriksi dan sekresi aldosteron, serta mempertahankan aktivitas bradikinin yang mendukung vasodilatasi dan penurunan tekanan darah (Li et al., 2004). Model interaksi antara inhibitor kompetitif dan sisi aktif ACE ditampilkan pada Gambar 8.4.

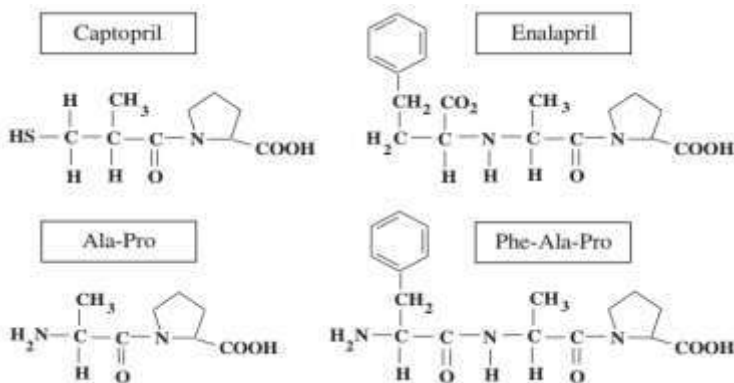
Gambar 8.5 menggambarkan pemodelan molekuler interaksi pengikatan antara inhibitor kompetitif dengan sisi aktif ACE. Area yang ditandai sebagai S, S'1, dan S'2 menunjukkan domain pengikatan enzim yang berinteraksi dengan residu asam amino spesifik pada substrat atau inhibitor peptida. Ion seng ( $\text{Zn}^{2+}$ ) yang berada di antara situs S dan S'1 berperan penting dalam reaksi hidrolisis ikatan peptida, khususnya pada ikatan antara residu antepenultimate dan penultimate dari substrat, sehingga menghasilkan dipeptida sebagai produk reaksi. Gugus X-H berfungsi sebagai donor proton yang berinteraksi dengan residu terminal peptida. Sementara itu, ikatan peptida non-

siklik terletak di antara situs S'1 dan S'2, dan muatan positif pada sisi aktif ACE membentuk interaksi ionik dengan muatan negatif gugus karboksilat pada ujung C-terminal substrat (Li et al., 2004).



**Gambar 8. 5** Model Pengikatan Interaksi antara Substrat sebagai Inhibitor Kompetitif dengan Sisi Aktif pada ACE  
(Sumber: (Wilson, Hayes and Carney, 2011))

Kemampuan peptida bioaktif dalam menekan aktivitas *Angiotensin Converting Enzyme* (ACE) dipengaruhi oleh berbagai karakteristik struktural, antara lain komposisi asam amino, bobot molekul, serta tingkat hidrofobisitas peptida. Kehadiran residu asam amino aromatik dan alifatik, seperti prolin, fenilalanin, dan tirosin pada ujung C-terminal, serta valin dan isoleusin pada ujung N-terminal, diketahui berkorelasi positif dengan meningkatnya aktivitas penghambatan ACE (de Castro and Sato, 2015).



**Gambar 8. 6** Struktur Obat-obatan Penghambat Aktivitas ACE dan Korelasinya dengan Peptida  
(Sumber: (Matsui and Matsumoto, 2006))

Selain itu, keseimbangan antara sifat hidrofilik dan hidrofobik pada struktur peptida merupakan determinan utama dalam efektivitas inhibisi ACE. Peptida dengan tingkat hidrofilisitas yang tinggi cenderung menunjukkan penurunan, bahkan kehilangan, kemampuan menghambat ACE. Kondisi ini terjadi karena karakter hidrofilik menghambat interaksi peptida dengan sisi aktif enzim, sehingga afinitas pengikatan terhadap ACE menjadi lebih rendah (Li et al., 2004).

## DAFTAR PUSTAKA

- Adler-Nissen, J. (1979) 'Determination of the Degree of Hydrolysis of Food Protein Hydrolysates by Trinitrobenzenesulfonic Acid', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 27(6), pp. 1256–1262. Available at: <https://doi.org/10.1021/jf60226a042>.
- Ajibola, C.F. *et al.* (2011) 'Effect of peptide size on antioxidant properties of African yam bean seed (*Sphenostylis stenocarpa*) protein hydrolysate fractions', *International Journal of Molecular Sciences*, 12(10), pp. 6685–6702. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms12106685>.
- Bougatef, A. *et al.* (2009) 'Antioxidant and free radical-scavenging activities of smooth hound (*Mustelus mustelus*) muscle protein hydrolysates obtained by gastrointestinal proteases', *Food Chemistry*, 114(4), pp. 1198–1205. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.075>.
- Carrasco-Castilla, J. *et al.* (2012) 'Antioxidant and metal chelating activities of *Phaseolus vulgaris* L. var. Jamapa protein isolates, phaseolin and lectin hydrolysates', *Food Chemistry*, 131(4), pp. 1157–1164. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.084>.
- de Castro, R.J.S., Bagagli, M.P. and Sato, H.H. (2015) 'Improving the functional properties of milk proteins:



- Focus on the specificities of proteolytic enzymes', *Current Opinion in Food Science*, 1(1), pp. 64–69. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2014.12.004>.
- de Castro, R.J.S. and Sato, H.H. (2015) 'Biologically active peptides: Processes for their generation, purification and identification and applications as natural additives in the food and pharmaceutical industries', *Food Research International*, 74, pp. 185–198. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.013>.
- Duan, X. *et al.* (2014) 'Purification and characterization of a natural antioxidant peptide from fertilized eggs', *Food Research International*, 56, pp. 18–24. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.12.016>.
- Fitriani, A. *et al.* (2022) 'Angiotensin-I-converting enzyme inhibitory (ACE-I) peptide from germinated Lamtoro Gung (*Leucaena laucocephala* ssp. Glabrata (Rose) S. Zarate) flour', *Sains Malaysiana*, 51(11).
- Fitzgerald, R.J. and Murray, B.A. (2006) 'Bioactive peptides and lactic fermentations', *International Journal of Dairy Technology*, 59(2), pp. 118–125.
- Fjell, C.D. *et al.* (2012) 'Designing antimicrobial peptides: Form follows function', *Nature Reviews Drug Discovery*, 11(1), pp. 37–51. Available at: <https://doi.org/10.1038/nrd3591>.
- Hafeez, Z. *et al.* (2014) 'Strategies of producing bioactive

- peptides from milk proteins to functionalize fermented milk products', *Food Research International*, 63, pp. 71–80. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.002>.
- Jenssen, H., Hamill, P. and Hancock, R.E.W. (2006) 'Peptide antimicrobial agents', *Clinical Microbiology Reviews*, 19(3), pp. 491–511. Available at: <https://doi.org/10.1128/CMR.00056-05>.
- Kitts, D. and Weiler, K. (2003) 'Bioactive Proteins and Peptides from Food Sources. Applications of Bioprocesses used in Isolation and Recovery', *Current Pharmaceutical Design*, 9(16), pp. 1309–1323. Available at: <https://doi.org/10.2174/1381612033454883>.
- Korhonen, H. and Pihlanto, A. (2006) 'Bioactive peptides: Production and functionality', *International Dairy Journal*, 16(9), pp. 945–960. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.10.012>.
- Kusumaningtyas, E. *et al.* (2015) 'Aktivitas Antibakteri Dan Antioksidan Hidrolisat Hasil Hidrolisis Protein Susu Kambing Dengan Ekstrak Kasar Bromelin', *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 26(2), pp. 179–188. Available at: <https://doi.org/10.6066/jtip.2015.26.2.179>.
- Leeb, E. *et al.* (2015) 'Influence of denaturation and aggregation of ??-lactoglobulin on its tryptic hydrolysis and the release of functional peptides',

- Food Chemistry*, 187, pp. 545–554. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.034>.
- Li, G.H. *et al.* (2004) 'Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides derived from food proteins and their physiological and pharmacological effects', *Nutrition Research*, 24(7), pp. 469–486. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2003.10.014>.
- Li, Y. *et al.* (2008) 'Antioxidant and free radical-scavenging activities of chickpea protein hydrolysate (CPH)', *Food Chemistry*, 106(2), pp. 444–450. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.067>.
- Liu, M. *et al.* (2016) 'Bioactive peptides derived from traditional Chinese medicine and traditional Chinese food: A review', *Food Research International*, 89, pp. 63–73. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.009>.
- Liu, Q. *et al.* (2010) 'Antioxidant activity and functional properties of porcine plasma protein hydrolysate as influenced by the degree of hydrolysis', *Food Chemistry*, 118(2), pp. 403–410. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.013>.
- Liu, W. *et al.* (2016) 'Developments in methods for measuring the intestinal absorption of nanoparticle-bound drugs', *International Journal of Molecular Sciences*, 17(7). Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms17071171>.
- Matsui, T. and Matsumoto, K. (2006) 'Antihypertensive

peptides from natural resources', *Lead Molecules from Natural Products* [Preprint].

Mejia, E.G. De *et al.* (2010) 'Fatty acid synthase and in vitro adipogenic response of human adipocytes inhibited by a and a 0 subunits of soybean b -conglycinin hydrolysates', *Food Chemistry*, 119(4), pp. 1571–1577. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.044>.

Mondhe, M. *et al.* (2014) 'Species-selective killing of bacteria by antimicrobial Peptide-PNAs', *PLoS ONE*, 9(2). Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089082>.

Mora, L., Aristoy, M.C. and Toldrá, F. (2018) 'Bioactive peptides', *Encyclopedia of Food Chemistry*, pp. 381–389. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22397-4>.

Mundi, S. and Aluko, R.E. (2014) 'Inhibitory Properties of Kidney Bean Protein Hydrolysate and its Membrane Fractions Against Renin , Angiotensin Converting Enzyme , and Free Radicals', *Austin Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2(1), pp. 1008–1019.

Tavares, T. *et al.* (2011) 'Novel Whey-Derived Peptides with Inhibitory Effect Against Angiotensin-Converting Enzyme: In Vitro Effect and Stability to Gastrointestinal Enzymes', *Peptides*, 32(5), pp. 1013–1019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2011.02.005>.

- Wei, C. *et al.* (2007) 'Rice albumin N-terminal (Asp-His-His-Gln) prevents against copper ion-catalyzed oxidations', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(6), pp. 2149–2154. Available at: <https://doi.org/10.1021/jf062387g>.
- Wilson, J., Hayes, M. and Carney, B. (2011) 'Angiotensin-I-converting enzyme and prolyl endopeptidase inhibitory peptides from natural sources with a focus on marine processing by-products', *Food Chemistry*, 129(2), pp. 235–244. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.081>.
- Zhang, Y.-J. *et al.* (2013) 'Chemical Components and Bioactivities of Cape Gooseberry (*Physalis peruviana*)', *International Journal of Food Nutrition and Safety International Journal of Food Nutrition and Safety Journal homepage: www.ModernScientificPress.com/Journals/IJFNS.aspx*, 3(1), pp. 15–24. Available at: <http://modernscientificpress.com/Journals/ViewArticle.aspx?6ZIT7oAL6Lqarm6Ljqm1AEElk+hj9A+fv9GWpU/xhwwRe+2q2RWNomBD9aIj2kYX>.

# BAB 9

## ASAM LEMAK FUNGSIONAL DAN FITOSTEROL

Oleh: Dr. Masrukan, S.T.P., M.Sc

### A. Pendahuluan

Dalam beberapa dekade terakhir, kesadaran akan pentingnya nutrisi fungsional dalam pencegahan penyakit dan peningkatan kualitas hidup telah mendorong eksplorasi mendalam terhadap berbagai senyawa bioaktif alami. Bukti ilmiah terkini menunjukkan bahwa senyawa bioaktif dari sumber makanan memainkan peran krusial dalam modulasi proses fisiologis dan patologis tubuh (Calder, 2015). Di antara senyawa-senyawa ini, asam lemak fungsional dan fitosterol telah muncul sebagai komponen yang memainkan peran penting dan saling melengkapi dalam pemeliharaan kesehatan.

Asam lemak fungsional, yang meliputi asam lemak *polyunsaturated fatty acid* (PUFA) seperti omega-3 dan omega-6, asam lemak terkonjugasi, dan *medium-chain triglycerides* (MCT), telah banyak diteliti karena manfaatnya bagi kesehatan. PUFA omega-3 dan omega-6 berperan penting dalam modulasi peradangan, kesehatan kardiovaskular, fungsi kognitif, dan reproduksi. Asam lemak fungsional meningkatkan perkembangan folikel, maturasi

oosit, dan perkembangan embrio pada hewan ternak melalui peningkatan suplai energi dan prekursor untuk sintesis hormon reproduksi (Saini, R.K., Keum, 2018). Secara paralel, fitosterol-sterol yang berasal dari tumbuhan dengan struktur kimia mirip kolesterol, telah lama diakui kemampuannya dalam menurunkan kolesterol LDL. Mekanisme aksi fitosterol melalui kompetisi dengan kolesterol dalam absorpsi di usus telah dilaporkan secara empiris dalam berbagai studi (Ostlund, 2002). Fitosterol tidak hanya menurunkan kolesterol LDL tetapi juga memodulasi fluiditas membran sel dan transduksi sinyal seluler.

Sinergi antara asam lemak fungsional dan fitosterol menawarkan pendekatan nutrisi yang komprehensif. PUFA dan fitosterol menghasilkan efek hipokolesterolemik yang lebih signifikan dibandingkan dengan penggunaan tunggal (Jones, P.J., AbuMweis, 2009). Dalam pendekatan terintegrasi ini, asam lemak berperan dalam menyediakan energi, prekursor hormon, dan molekul pensinyalan, sementara fitosterol berkontribusi dalam kesehatan lipid darah dan stabilitas membran sel (Moreau, R.A., Nyström, L., Whitaker, B.D., 2018).

Potensi aplikasi dari kombinasi ini semakin diperkuat dengan temuan terbaru mengenai sumber-sumber non-konvensional. (Akonjuen, B.M., Onuh, J.O. and Aryee, 2023) mengidentifikasi bahwa sumber non-konvensional seperti alga, tanaman *underutilized*, dan sumber laut mengandung baik asam lemak fungsional maupun fitosterol dengan profil

bioaktif yang unik, membuka peluang baru untuk pengembangan produk fungsional yang berkelanjutan.

Secara keseluruhan, perkembangan penelitian mengenai asam lemak fungsional dan fitosterol memberikan efek kesehatan yang baik dan mendukung regulasi metabolik tubuh. Penemuan sumber-sumber non-konvensional semakin memperluas ruang inovasi dalam pengembangan pangan fungsional berkelanjutan. Oleh karena itu, bab ini akan membahas mekanisme kerja, sumber bioaktif, serta aplikasi sinergis keduanya, sekaligus memetakan tantangan dan peluang yang relevan bagi kesehatan manusia dan industri nutrisi.

## **B. Asam Lemak: Klasifikasi Dan Struktur Dasar**

### **1. Apa Itu Asam Lemak?**

Asam lemak adalah komponen penyusun lemak yang terdiri dari rantai hidrokarbon dengan gugus karboksil pada ujungnya. Struktur dasar ini menentukan sifat-sifat kimia dan biologis dari masing-masing asam lemak. Secara umum, struktur asam lemak terdiri atas: Bagian nonpolar (hidrofobik): rantai hidrokarbon lurus atau bercabang. Bagian polar (hidrofilik): gugus karboksil ( $\text{-COOH}$ ) di ujung rantai.

Ketika tiga molekul asam lemak berinteraksi dengan satu molekul gliserol, gugus karboksil dari masing-masing asam lemak akan bereaksi dengan gugus hidroksil pada gliserol melalui proses esterifikasi. Reaksi ini menghasilkan satu molekul trigliserida suatu bentuk lemak netral dan





umumnya berbentuk padat pada suhu ruang, seperti yang ditemukan pada mentega dan lemak hewani. Contoh asam lemak jenuh yang banyak dijumpai adalah asam palmitat (C16:0) dan asam stearat (C18:0).

b. Asam Lemak Tak Jenuh Tunggal (*Monounsaturated Fatty Acids*, MUFA)

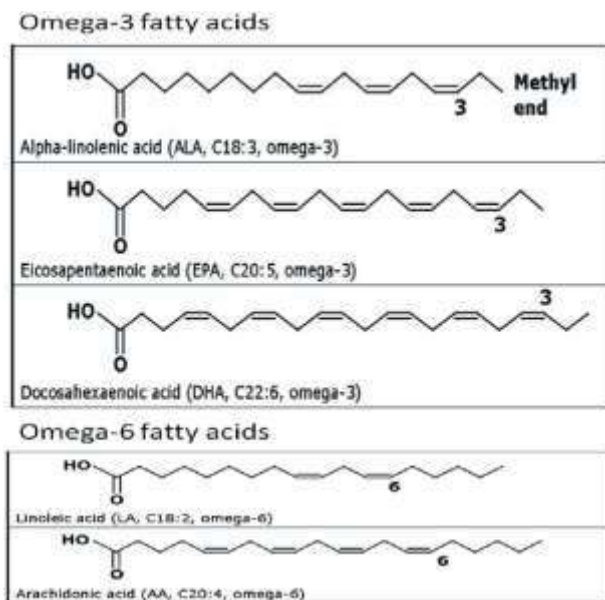
Asam lemak tak jenuh tunggal memiliki satu ikatan ganda dalam rantai hidrokarbonnya. Keberadaan ikatan ganda ini menyebabkan struktur rantai sedikit bengkok sehingga asam lemak lebih cair pada suhu ruang, meskipun dapat mengental pada suhu dingin. Contoh utama MUFA adalah asam oleat (C18:1) yang banyak terdapat pada minyak zaitun, alpukat, dan kacang-kacangan.

c. Asam Lemak Tak Jenuh Ganda (*Polyunsaturated Fatty Acids*, PUFA)

Asam lemak tak jenuh ganda memiliki dua atau lebih ikatan ganda dalam rantai hidrokarbonnya, sehingga struktur molekulnya lebih fleksibel dan selalu berbentuk cair, bahkan pada suhu rendah. Contoh PUFA yang penting adalah asam linoleat (omega-6) dan asam alfa-linolenat (omega-3), yang termasuk dalam kelompok asam lemak esensial karena tidak dapat disintesis oleh tubuh dan harus diperoleh dari makanan. PUFA banyak ditemukan pada ikan laut, minyak nabati, serta biji-bijian seperti chia dan flaxseed.

Selain klasifikasi berdasarkan kejenuhan, asam lemak juga dapat dibedakan menurut posisi ikatan ganda pertama yang dihitung dari ujung metil ( $-\text{CH}_3$ ) rantai hidrokarbon,

yaitu: Omega-3, Omega-6 dan Omega-9. Asam lemak omega-3 ditandai dengan adanya ikatan ganda pertama pada atom karbon ke-3 dari ujung metil rantai hidrokarbon. Kelompok ini mencakup asam *alfa-linolenat* (ALA), eikosapentaenoat (EPA), dan dokosaheksaenoat (DHA).



**Gambar 9. 2** Struktur molekul asam lemak omega-3 dan omega-6

(Sumber: (Hegde, Z. and Adekar, 2016))

Asam lemak omega-6 memiliki ikatan ganda pertama pada atom karbon ke-6 dari ujung metil. Contoh utama dari kelompok ini adalah asam linoleat dan asam arakidonat. Asam lemak omega-9 memiliki ikatan ganda pertama pada atom karbon ke-9 dari ujung metil. Contoh yang paling dikenal adalah asam oleat, yang banyak ditemukan pada minyak zaitun, alpukat, dan kacang-kacangan. Omega-9

bukan termasuk asam lemak esensial karena tubuh dapat mensintesisnya, tetapi tetap memberikan manfaat kesehatan yang signifikan. Gambar 9.2 menunjukkan struktur khas asam lemak omega-3 dan omega-6, dengan penekanan pada posisi ikatan ganda dari ujung metil yang menjadi dasar klasifikasi.

### **3. Asam Lemak Esensial**

Asam lemak esensial adalah jenis asam lemak yang tidak dapat disintesis oleh tubuh manusia karena keterbatasan enzim tertentu, sehingga harus diperoleh dari makanan sehari-hari. Dua asam lemak esensial utama adalah asam linoleat (omega-6) dan asam alfa-linolenat (omega-3). Keduanya berperan penting dalam menjaga fungsi tubuh, mulai dari pembentukan senyawa bioaktif hingga mendukung kesehatan jantung dan sistem saraf.

Sumber pangan yang kaya asam lemak esensial antara lain minyak nabati, kacang-kacangan, biji-bijian, serta ikan laut. Kekurangan asam lemak esensial dapat menimbulkan gangguan kesehatan seperti kulit kering, pertumbuhan terhambat, dan penurunan fungsi imun. Oleh karena itu, pemenuhan kebutuhan asam lemak esensial melalui pola makan seimbang menjadi hal yang sangat penting.

## **C. Asam Lemak Omega**

### **1. Jenis-jenis Utama**

Asam lemak omega-3 merupakan kelompok asam lemak tak jenuh ganda yang memiliki ikatan ganda pertama pada atom

karbon ke-3 dari ujung metil rantai hidrokarbon. Kelompok ini terdiri atas tiga jenis utama, yaitu *asam alfa-linolenat* (ALA), *asam eikosapentaenoat* (EPA), dan *asam dokosaheksaenoat* (DHA). Ketiganya memiliki peran fisiologis yang berbeda namun saling melengkapi dalam mendukung kesehatan tubuh.

ALA adalah asam lemak omega-3 dengan rantai pendek yang terutama berasal dari sumber nabati, seperti biji chia, flaxseed, kacang kenari, dan minyak kanola. ALA berfungsi sebagai prekursor bagi pembentukan EPA dan DHA, meskipun konversinya dalam tubuh relatif terbatas. EPA merupakan asam lemak omega-3 dengan rantai panjang yang banyak ditemukan pada sumber pangan laut, terutama ikan berlemak seperti salmon, sarden, dan makarel. EPA berperan penting dalam sintesis eikosanoid yang bersifat antiinflamasi, sehingga berkontribusi dalam mengurangi risiko penyakit kardiovaskular dan mendukung sistem imun. DHA adalah asam lemak omega-3 dengan rantai panjang yang menjadi komponen struktural utama pada otak dan retina. DHA berperan dalam perkembangan sistem saraf, fungsi kognitif, serta kesehatan penglihatan. Sumber utama DHA adalah ikan laut dan produk olahan laut.

## **2. Biosintesis dan Konversi**

Proses biosintesis asam lemak omega-3 dalam tubuh manusia dimulai dari asam alfa-linolenat (ALA) yang diperoleh melalui sumber nabati. ALA kemudian mengalami serangkaian reaksi elongasi (penambahan atom karbon pada rantai hidrokarbon) dan desaturasi (pembentukan

ikatan ganda baru) untuk menghasilkan asam lemak omega-3 rantai panjang, yaitu eikosapentaenoat (EPA) dan dokosaheksaenoat (DHA).

Meskipun jalur metabolisme ini tersedia, efisiensi konversi ALA menjadi EPA dan DHA pada manusia relatif terbatas. Hanya sekitar 5–10% ALA yang berhasil dikonversi menjadi EPA, dan lebih rendah lagi, sekitar 2–5% menjadi DHA. Rendahnya efisiensi ini dipengaruhi oleh faktor genetik, status gizi, serta kompetisi dengan asam lemak omega-6 yang menggunakan enzim desaturase yang sama.

### **3. Fungsi dan Manfaat Kesehatan**

Asam lemak omega-3 memiliki berbagai fungsi fisiologis yang memberikan manfaat signifikan bagi kesehatan manusia. Salah satu peran utamanya adalah dalam kesehatan kardiovaskular. Omega-3 terbukti mampu menurunkan kadar trigliserida dalam darah, sehingga mengurangi risiko hipertrigliseridemia. Selain itu, omega-3 memiliki efek anti-aritmia yang membantu menjaga irama jantung tetap stabil, serta sifat anti-inflamasi yang berkontribusi dalam menekan proses peradangan kronis. Omega-3 juga berperan dalam meningkatkan stabilitas plak aterosklerotik, sehingga menurunkan risiko terjadinya penyumbatan pembuluh darah yang dapat memicu serangan jantung atau stroke.

Dalam konteks perkembangan dan fungsi otak, omega-3, khususnya DHA, merupakan komponen struktural penting dari membran sel saraf. Kehadirannya mendukung proses neurogenesis, yaitu pembentukan sel saraf baru,

serta plastisitas sinaptik yang memungkinkan otak beradaptasi dan belajar. Peran ini sangat krusial pada masa perkembangan anak, sekaligus penting dalam mempertahankan fungsi kognitif pada orang dewasa.

Selain itu, omega-3 juga memberikan kontribusi besar terhadap kesehatan mental. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa asupan omega-3 dapat membantu dalam manajemen depresi dan gangguan mood, karena sifat antiinflamasi dan pengaruhnya terhadap neurotransmitter otak. Pada lanjut usia, omega-3 mendukung fungsi kognitif dan dapat memperlambat penurunan kemampuan berpikir yang berkaitan dengan penuaan.

## **D. Asam Lemak Omega-6**

### **1. Jenis-Jenis Utama**

Asam lemak omega-6 merupakan kelompok asam lemak tak jenuh ganda yang memiliki ikatan ganda pertama pada atom karbon ke-6 dari ujung metil rantai hidrokarbon. Jenis utama yang termasuk dalam kelompok ini adalah asam linoleat (LA) dan asam arakidonat (AA).

Asam Linoleat (LA) adalah asam lemak omega-6 esensial yang tidak dapat disintesis oleh tubuh, sehingga harus diperoleh dari makanan. Sumber utama LA adalah minyak nabati seperti minyak kedelai, jagung, dan bunga matahari. LA berperan sebagai prekursor bagi pembentukan asam arakidonat, yang kemudian digunakan dalam berbagai proses fisiologis.

Asam Arakidonat (AA) merupakan turunan dari asam linoleat yang berfungsi sebagai komponen penting membrane sel. AA juga menjadi prekursor bagi pembentukan eikosanoid, yaitu senyawa bioaktif seperti prostaglandin, tromboksan, dan leukotrien yang berperan dalam regulasi peradangan, fungsi imun, serta homeostasis tubuh.

## **2. Peran Biologis Omega-6**

Asam lemak omega-6 memiliki peran biologis yang sangat penting dalam menjaga fungsi dan keseimbangan tubuh. Dari sisi fungsi struktural, omega-6 berperan sebagai komponen utama membran sel, terutama dalam fosfolipid yang menyusun bilayer membran. Kehadirannya memengaruhi fluiditas membran, sehingga menentukan fleksibilitas, permeabilitas, serta kemampuan sel untuk beradaptasi terhadap perubahan lingkungan.

Selain fungsi struktural, omega-6 juga memiliki fungsi biologis yang krusial. Asam arakidonat (AA), turunan dari asam linoleat, berperan sebagai prekursor bagi pembentukan eikosanoid seperti prostaglandin, tromboksan, dan leukotrien. Senyawa-senyawa ini berfungsi sebagai mediator biologis yang mengatur berbagai proses fisiologis, termasuk respons inflamasi, regulasi tekanan darah, serta kontraksi otot polos. Omega-6 juga berperan penting dalam mendukung fungsi sistem imun, dengan memfasilitasi komunikasi antar sel imun dan memperkuat mekanisme pertahanan tubuh terhadap infeksi.



### **3. Dampak Kelebihan Asam Lemak Omega-6**

Meskipun asam lemak omega-6 memiliki peran penting dalam fungsi biologis tubuh, konsumsi berlebihan tanpa diimbangi dengan asupan omega-3 dapat menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan. Salah satu dampaknya adalah peningkatan produksi eikosanoid pro-inflamasi, seperti prostaglandin dan leukotrien, yang dapat memicu proses peradangan berlebihan. Kondisi ini berpotensi berkembang menjadi inflamasi kronis, yang sering dikaitkan dengan berbagai penyakit degeneratif.

Selain itu, ketidakseimbangan rasio omega-6 dan omega-3 dalam pola makan dapat meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular, termasuk aterosklerosis, hipertensi, dan gangguan irama jantung. Hal ini terjadi karena dominasi omega-6 mendorong terbentuknya mediator inflamasi yang memperburuk kondisi pembuluh darah.

## **E. Keseimbangan Omega-3 dan Omega-6**

### **1. Konsep Rasio Omega-3: Omega-6**

Keseimbangan antara asupan omega-3 dan omega-6 merupakan faktor penting dalam menjaga kesehatan tubuh. Rasio optimal yang dianjurkan dalam diet berkisar antara 1:1 hingga 4:1. Namun, pola makan modern sering menunjukkan rasio yang jauh lebih tinggi, yaitu 10:1 hingga 20:1, akibat dominasi konsumsi minyak nabati dan makanan olahan. Ketidakseimbangan ini berkontribusi terhadap

berbagai masalah kesehatan, terutama yang berkaitan dengan inflamasi kronis dan penyakit degeneratif.

## **2. Pola Makan Modern vs Tradisional**

Pola makan tradisional, seperti diet Mediterania atau pola makan masyarakat pesisir, umumnya memiliki rasio omega-6:omega-3 yang lebih seimbang karena kaya akan ikan, sayuran, dan kacang-kacangan. Sebaliknya, pola makan modern cenderung didominasi oleh minyak nabati tinggi omega-6 (misalnya minyak jagung, kedelai, dan bunga matahari) serta makanan olahan. Perubahan ini menyebabkan peningkatan konsumsi omega-6 secara signifikan, sementara asupan omega-3 relatif rendah.

## **3. Dampak Ketidakseimbangan**

Ketidakseimbangan rasio omega-6:omega-3 dalam pola makan modern dapat menimbulkan sejumlah masalah kesehatan. Rasio yang terlalu tinggi mendorong terbentuknya senyawa yang memicu peradangan sistemik, sehingga tubuh berada dalam kondisi inflamasi kronis. Hal ini berhubungan dengan meningkatnya risiko penyakit kardiovaskular, seperti penyumbatan pembuluh darah dan tekanan darah tinggi. Selain itu, ketidakseimbangan ini dapat mengganggu kerja sistem imun sehingga memicu gangguan autoimun, di mana tubuh menyerang jaringan sendiri. Beberapa penelitian juga menunjukkan kaitan dengan masalah kesehatan mental, termasuk depresi dan penurunan fungsi kognitif.

#### **4. Strategi Untuk Menyeimbangkan Rasio**

Menjaga rasio omega-6:omega-3 tetap seimbang dapat dilakukan melalui perubahan pola makan yang sederhana namun konsisten. Salah satu cara utama adalah meningkatkan konsumsi ikan berlemak seperti salmon, sarden, dan makarel, yang kaya akan EPA dan DHA. Selain itu, memilih minyak nabati dengan komposisi lebih seimbang, seperti minyak kanola atau minyak zaitun, dapat membantu mengurangi dominasi omega-6. Di sisi lain, memperbanyak sayuran, kacang-kacangan, dan biji-bijian akan menambah asupan ALA sebagai prekursor omega-3 sekaligus menyediakan serat dan antioksidan. Dengan strategi ini, rasio omega-6:omega-3 dapat dikembalikan ke kisaran sehat, sehingga mendukung pencegahan penyakit kronis dan menjaga kualitas hidup.

### **F. Fitosterol: Kolesterol dari Dunia Tumbuhan**

#### **1. Definisi dan Struktur Kimia**

Fitosterol adalah kelompok senyawa sterol yang secara alami terdapat dalam tumbuhan. Secara struktur, fitosterol memiliki kerangka kimia yang sangat mirip dengan kolesterol, yaitu berupa cincin sterol dengan gugus hidroksil pada posisi C-3. Perbedaan utama terletak pada rantai samping (*side chain*) yang lebih bervariasi dibandingkan kolesterol.

Kesamaan struktur ini memungkinkan fitosterol berinteraksi dengan metabolisme kolesterol dalam tubuh, terutama pada proses penyerapan di usus. Namun, karena

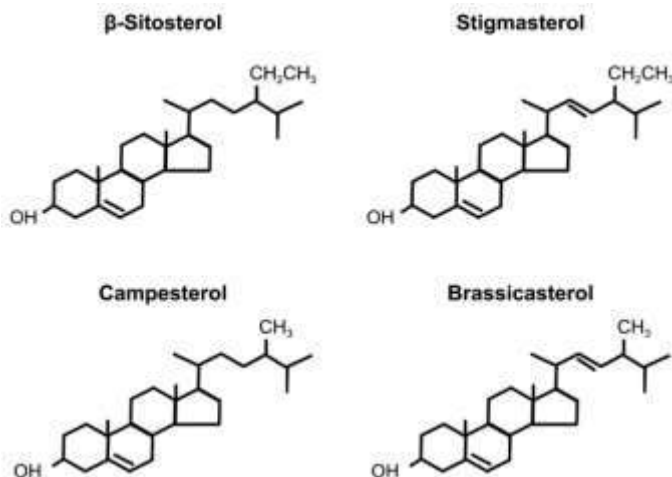
perbedaan gugus samping, fitosterol tidak dapat dimetabolisme sepenuhnya seperti kolesterol, sehingga memberikan efek fisiologis yang unik, terutama dalam menurunkan kadar kolesterol darah.

## **2. Jenis-Jenis Fitosterol Utama**

Fitosterol yang paling umum ditemukan dalam diet manusia adalah  $\beta$ -sitosterol, campesterol, dan stigmasterol. Senyawa-senyawa ini memiliki struktur kimia yang mirip dengan kolesterol, sehingga mampu berkompetisi dalam proses penyerapan di usus dan secara efektif menurunkan kadar kolesterol LDL dalam darah.

Campesterol memiliki struktur yang sangat mirip dengan  $\beta$ -sitosterol, namun dengan bioavailabilitas yang lebih tinggi, sehingga lebih mudah diserap oleh tubuh. Perannya dalam menurunkan kolesterol menjadikannya salah satu fitosterol penting dalam pangan fungsional.

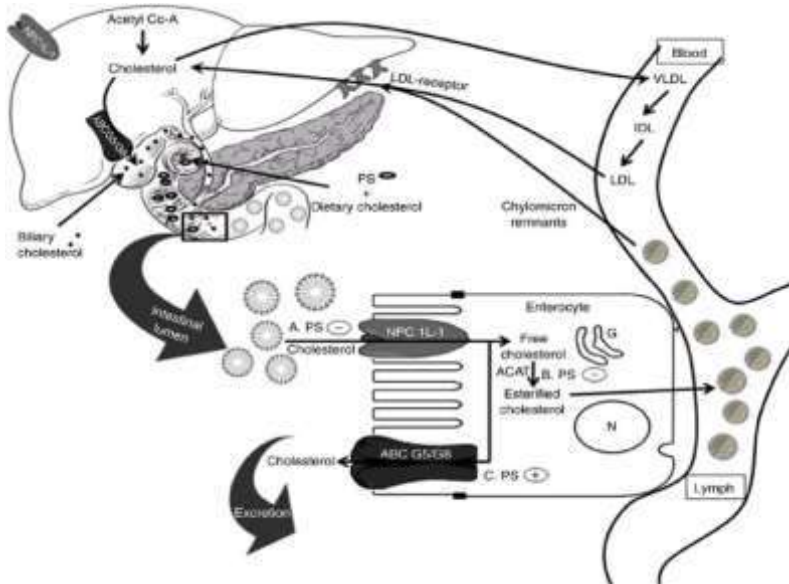
Stigmasterol ditandai dengan adanya ikatan ganda tambahan pada rantai sampingnya. Selain berkontribusi terhadap penurunan kolesterol, beberapa penelitian menunjukkan bahwa stigmasterol memiliki potensi manfaat bagi kesehatan prostat, sehingga menarik perhatian dalam kajian nutrisi klinis. Gambar 9.3 menunjukkan struktur kimia dari beberapa jenis fitosterol utama, yaitu  $\beta$ -sitosterol, stigmasterol, campesterol, dan brassicasterol.



**Gambar 9. 3** Struktur kimia β-sitosterol, stigmasterol, campesterol, dan brassicasterol  
(Sumber: (NCBI, 2025))

### 3. Mekanisme Kerja

Fitosterol merupakan senyawa bioaktif nabati yang memiliki struktur mirip dengan kolesterol, sehingga dapat berkompetisi pada tahap absorpsi lipid di saluran cerna. Di lumen usus, kolesterol dan fitosterol terdispersi bersama garam empedu membentuk misel campuran. Kehadiran fitosterol dalam misel ini menurunkan kelarutan kolesterol, sehingga fraksi kolesterol yang siap diabsorpsi menjadi lebih sedikit. Pada tahap transport ke enterosit, protein transpor kolesterol (NPC1L1) yang berfungsi membawa kolesterol juga mengenali fitosterol. Karena itu, fitosterol berkompetisi secara kompetitif pada situs pengikatan, sehingga jumlah kolesterol yang masuk ke dalam sel usus berkurang.



**Gambar 9. 4** Jalur metabolisme kolesterol dalam tubuh manusia

(Sumber: (Bauer, Brüne and Schmid, 2023))

Kolesterol yang berhasil masuk biasanya diesterifikasi oleh enzim ACAT (*Acyl-CoA:cholesterol acyltransferase*) untuk membentuk kolesterol ester, sedangkan fitosterol tidak diesterifikasi secara efisien sehingga lebih mudah diekstruksi kembali. Proses ini diperkuat oleh keberadaan transporter ABCG5/G8 yang aktif mengeluarkan kolesterol maupun fitosterol kembali ke lumen usus. Akibatnya, kolesterol yang tidak diabsorpsi akan dikeluarkan melalui feses, sehingga kadar kolesterol plasma, khususnya LDL, menurun. Dengan mekanisme ini, fitosterol efektif menurunkan bioavailabilitas kolesterol dan berperan penting dalam pangan fungsional untuk mendukung

kesehatan kardiovaskular. Gambar 9.4 memperlihatkan jalur metabolisme kolesterol di usus dan hati, dengan titik intervensi fitosterol pada tahap absorpsi di enterosit melalui kompetisi dengan NPC1L1 serta peningkatan refluks oleh ABCG5/G8.

#### **4. Manfaat Kesehatan**

Selain perannya dalam menurunkan kadar kolesterol, fitosterol juga memiliki sejumlah manfaat kesehatan tambahan. Beberapa penelitian menunjukkan potensi efek anti-kanker, terutama melalui mekanisme penghambatan proliferasi sel dan induksi apoptosis pada sel abnormal. Fitosterol juga memiliki sifat anti-inflamasi, yang membantu menekan proses peradangan kronis dan mendukung keseimbangan sistem imun.

Selain itu, konsumsi fitosterol dikaitkan dengan dukungan terhadap kesehatan prostat, khususnya melalui peran stigmasterol yang dapat memperbaiki fungsi jaringan dan menurunkan risiko hiperplasia. Fitosterol juga berkontribusi sebagai antioksidan, dengan kemampuan menetralkan radikal bebas dan melindungi sel dari kerusakan oksidatif. Dengan demikian, fitosterol tidak hanya berfungsi sebagai agen hipokolesterolemik, tetapi juga sebagai komponen pangan fungsional dengan manfaat kesehatan yang lebih luas.

## **G. Sinergi Asam Lemak Fungsional dan Fitosterol**

### **1. Pendekatan Terintegrasi Untuk Kesehatan Jantung**

Pendekatan gizi modern menekankan pentingnya kombinasi berbagai komponen bioaktif untuk mendukung kesehatan kardiovaskular. Omega-3 berperan dalam menurunkan trigliserida, memperbaiki fungsi endotel, dan menghasilkan eikosanoid anti-inflamasi. Omega-6 dalam rasio seimbang membantu menjaga integritas membran sel dan mendukung fungsi imun, namun harus dikonsumsi proporsional agar tidak memicu inflamasi berlebihan. Sementara itu, fitosterol bekerja dengan cara menghambat penyerapan kolesterol di usus, sehingga menurunkan kadar LDL dalam plasma.

Ketika dikombinasikan, ketiga komponen ini memberikan efek sinergis: omega-3 menekan inflamasi, omega-6 seimbang menjaga fungsi fisiologis, dan fitosterol menurunkan kolesterol. Sinergi ini menghasilkan perlindungan ganda terhadap sistem kardiovaskular melalui mekanisme yang saling melengkapi, sehingga dapat menurunkan risiko aterosklerosis, hipertensi, dan penyakit jantung koroner. Untuk memberikan gambaran komparatif mengenai sifat masing-masing, Tabel 9.1 menyajikan perbedaan karakteristik utama omega-3, omega-6, dan fitosterol.



**Tabel 9. 1** Perbandingan karakteristik omega-3 dan omega-6 dan fitosterol

| Karakteristik    | Omega-3                                                                            | Omega-6                                                                                 | Fitosterol                                                                         |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Jenis utama      | ALA (nabati), EPA & DHA (ikan, alga)                                               | LA (linoleat), AA (arachidonat)                                                         | $\beta$ -sitosterol, campesterol, stigmasterol                                     |
| Sumber pangan    | Ikan berlemak, flaxseed, chia seed, kenari, minyak kanola, alga                    | Minyak nabati (kedelai, jagung, bunga matahari), kacang-kacangan, biji-bijian, unggas   | Minyak nabati, kacang, biji-bijian, alpukat, sayuran hijau                         |
| Peran fisiologis | Menurunkan trigliserida, antiinflamasi, mendukung fungsi otak & jantung            | Mendukung pertumbuhan, fungsi kulit, respon imun, pro-inflamasi bila berlebih           | Menurunkan kolesterol LDL dengan menghambat absorpsi kolesterol di usus            |
| Efek Kesehatan   | Protektif terhadap penyakit kardiovaskular, neurodegeneratif, dan inflamasi kronis | Penting untuk metabolisme, tetapi konsumsi berlebih dapat meningkatkan risiko inflamasi | Menurunkan LDL plasma 7–12%, mendukung kesehatan jantung                           |
| Kebutuhan harian | ALA: 1,6 g (pria), 1,1 g (wanita); EPA+DHA: 250–500 mg                             | LA: 17 g (pria), 12 g (wanita)                                                          | 2–3 g/hari untuk efek penurunan LDL                                                |
| Catatan khusus   | Rasio ideal dengan omega-6: 1 : 2–4                                                | Rasio sering berlebih dalam diet modern                                                 | Tidak dianjurkan untuk anak sehat, lebih relevan bagi dewasa dengan hiperlipidemia |

(Sumber: (FoodData Central, 2025); (Phillips, L.G., Whitehead, D.M., Kinsella, 1994); (Moreau, R.A., Nyström, L., Whitaker, B.D., 2018))

## 2. Dukungan untuk Profil Lipid Darah yang Optimal

Sinergi antara fitosterol dan asam lemak omega-3 memberikan dukungan komprehensif terhadap profil lipid darah. Fitosterol bekerja dengan cara menghambat

penyerapan kolesterol di usus, sehingga efektif menurunkan kadar kolesterol LDL yang berperan dalam pembentukan plak aterosklerotik. Sementara itu, omega-3 berkontribusi dalam menurunkan kadar trigliserida plasma, sekaligus meningkatkan stabilitas membran sel dan fungsi endotel.

Kombinasi keduanya menghasilkan efek yang saling melengkapi: fitosterol menargetkan kolesterol LDL, sedangkan omega-3 menurunkan trigliserida. Dengan demikian, profil lipid darah dapat diperbaiki secara menyeluruh, mencakup penurunan risiko aterosklerosis, peningkatan elastisitas pembuluh darah, serta perlindungan terhadap penyakit kardiovaskular.

### **3. Sumber Makanan Asam Lemak Omega-3, Omega-6 dan Fitosterol**

Asam lemak omega-3 merupakan komponen penting dalam menjaga kesehatan kardiovaskular, fungsi otak, dan sistem imun. Sumber utama omega-3 adalah ikan berlemak seperti salmon, makarel, dan sarden, yang kaya akan EPA dan DHA dengan tingkat bioavailabilitas tinggi. Selain itu, terdapat sumber nabati yang menyediakan ALA sebagai prekursor omega-3, antara lain flaxseed (biji rami) dan chia seed, yang juga kaya serat dan antioksidan. Kacang kenari merupakan salah satu kacang dengan kandungan ALA tertinggi, sehingga berperan penting dalam perbaikan profil lipid darah.

Asam lemak omega-6 berperan penting dalam pembentukan membran sel, regulasi sistem imun, serta produksi senyawa bioaktif yang mengatur proses fisiologis.

Minyak nabati tertentu, seperti minyak kedelai, jagung, dan bunga matahari, merupakan sumber utama omega-6 yang banyak digunakan dalam masakan maupun produk olahan. Selain itu, kacang-kacangan seperti kacang tanah dan almond, serta biji-bijian seperti biji bunga matahari dan wijen, juga memberikan kontribusi signifikan terhadap asupan harian.

**Tabel 9. 2** Kandungan Omega-3, Omega-6, dan Fitosterol pada berbagai bahan makanan (per 100 g)

| Makanan                     | Omega-3(g) | Omega-6(g) | Fitosterol(mg) |
|-----------------------------|------------|------------|----------------|
| Salmon                      | 2,3        | 0,4        | <10            |
| Sarden                      | 1,5        | 0,3        | <10            |
| <i>Flaxseed</i> (biji rami) | 22,8       | 5,9        | 270            |
| Chia seed                   | 17,8       | 5,8        | 180            |
| Kenari (walnut)             | 9,1        | 38,1       | 120            |
| Minyak kanola               | 9,0        | 19,0       | 600            |
| Minyak kedelai              | 7,0        | 50,0       | 300            |
| Minyak bunga matahari       | 0,1        | 65,7       | 360            |
| Kacang tanah                | 0,0        | 15,6       | 220            |
| Biji bunga matahari         | 0,1        | 34,0       | 270            |
| Alpukat                     | 0,1        | 1,7        | 76             |
| Bayam (sayuran hijau)       | 0,1        | 0,1        | 40             |

(Sumber: (*FoodData Central*, 2025))

Sejumlah bahan pangan alami diketahui mengandung kombinasi asam lemak fungsional, khususnya omega-3, dan fitosterol, sehingga memberikan manfaat ganda bagi kesehatan kardiovaskular. Alpukat merupakan contoh buah yang kaya lemak tak jenuh tunggal sekaligus fitosterol,

sehingga berperan dalam menurunkan kadar kolesterol LDL. Kacang kenari dan biji chia dikenal sebagai sumber nabati utama asam lemak omega-3 (ALA) yang juga menyediakan fitosterol dalam jumlah signifikan. Minyak kanola memiliki rasio omega-6: omega-3 yang lebih seimbang dibandingkan minyak nabati lain, serta mengandung fitosterol yang mendukung perbaikan profil lipid darah. Sementara itu, kacang almond kaya akan lemak tak jenuh dan fitosterol, sehingga turut berkontribusi terhadap kesehatan jantung. Untuk memudahkan pemahaman, tabel berikut menunjukkan rata-rata kandungan zat gizi tersebut per 100 gram makanan.

#### **4. Rekomendasi Asupan Harian**

Asupan harian asam lemak fungsional dan fitosterol telah ditetapkan oleh berbagai lembaga kesehatan internasional untuk mendukung kesehatan metabolik dan kardiovaskular. Asam lemak omega-3 terdiri atas tiga bentuk utama, yaitu ALA, EPA, dan DHA. Rekomendasi asupan ALA adalah sekitar 1,6 g/hari untuk pria dan 1,1 g/hari untuk wanita, sedangkan kombinasi EPA + DHA dianjurkan 250–500 mg/hari untuk mendukung fungsi jantung dan otak.

Untuk asam lemak omega-6, bentuk utama yang dikonsumsi adalah asam linoleat (LA). Rekomendasi asupan harian LA adalah 17 g/hari untuk pria dan 12 g/hari untuk wanita, terutama diperoleh dari minyak nabati, kacang-kacangan, dan biji-bijian. Sementara itu, fitosterol terbukti efektif menurunkan kadar kolesterol LDL bila dikonsumsi dalam jumlah 2–3 g/hari. Konsumsi rutin dalam kisaran

tersebut dapat menurunkan LDL plasma sekitar 7,5–12%, sehingga fitosterol sering digunakan dalam pangan fungsional maupun suplemen.

Dengan demikian, pemenuhan asupan omega-3, omega-6, dan fitosterol sesuai rekomendasi harian menjadi strategi penting dalam menjaga keseimbangan lipid dan menurunkan risiko penyakit kardiovaskular. Untuk memberikan gambaran yang lebih sistematis mengenai kebutuhan gizi, rekomendasi asupan harian omega-3, omega-6, dan fitosterol berdasarkan kelompok usia dapat dirangkum dalam Tabel 9.3 berikut.

**Tabel 9.3** Kebutuhan Omega-3, Omega-6, dan Fitosterol berdasarkan kelompok usia

| Kelompok usia             |        | Omega-3<br>(ALA, EPA, DHA)                                 | Omega-6<br>(LA)              | Fitosterol |
|---------------------------|--------|------------------------------------------------------------|------------------------------|------------|
| Bayi<br>bulan)            | (0-12  | 0,5–0,8 g ALA; 100<br>mg DHA                               | 4-5 g                        | -          |
| Anak-anak<br>tahun)       | (1-8   | 0,7–0,9 g ALA; 100–<br>250 mg EPA+DHA                      | 7-10 g                       | -          |
| Remaja<br>tahun)          | (9-18  | 1,0–1,6 g ALA; 250<br>mg EPA+DHA                           | 10-16 g                      | -          |
| Dewasa<br>tahun)          | (19-50 | 1,1 g (wanita), 1,6 g<br>(pria) ALA; 250–500<br>mg EPA+DHA | 12 g (wanita)<br>17 g (pria) | 2-3 g/hari |
| Lansia<br>tahun)          | (>50   | 1,1–1,6 g ALA; 500<br>mg EPA+DHA                           | 11-15 g                      | 2-3 g/hari |
| Ibu hamil dan<br>menyusui |        | 1,4 g ALA; 300–500<br>mg DHA                               | 13-15 g                      | 2-3 g/hari |

(Sumber: (Calder, 2015); (Kris-Etherton, P.M., Harris, W.S., Appel, 2002); (Simopoulos, 2008))

## **5. Pertimbangan Khusus Suplementasi**

Suplementasi asam lemak fungsional maupun fitosterol dapat dipertimbangkan dalam kondisi tertentu. Individu dengan kebutuhan khusus, seperti ibu hamil, menyusui, atau lansia, sering kali memerlukan tambahan asupan untuk mendukung fungsi metabolik dan kesehatan kardiovaskular. Suplementasi juga relevan bagi mereka yang tidak dapat memenuhi kebutuhan melalui diet, misalnya karena keterbatasan akses pangan, pola makan tertentu, atau intoleransi terhadap sumber makanan utama.

Selain itu, pada kondisi medis tertentu, suplementasi hanya dianjurkan dengan pengawasan dokter, misalnya pada pasien dengan hiperlipidemia, penyakit jantung, atau gangguan metabolisme lemak. Dalam kasus tersebut, dosis dan bentuk suplementasi harus disesuaikan dengan kebutuhan klinis serta mempertimbangkan keamanan jangka panjang.

## **H. Kesimpulan dan Perspektif Masa Depan**

Asam lemak fungsional omega-3 dan omega-6, bersama dengan fitosterol, memiliki peran krusial dalam pemeliharaan kesehatan dan pencegahan penyakit degeneratif. Keseimbangan antara omega-3 dan omega-6, serta asupan fitosterol yang memadai, terbukti mendukung perbaikan profil lipid, menurunkan risiko kardiovaskular, dan menjaga fungsi metabolik tubuh.

Dalam konteks perkembangan ilmu gizi dan pangan fungsional, arah penelitian dan aplikasi di masa mendatang

akan difokuskan pada eksplorasi sumber baru yang berkelanjutan, kajian mendalam mengenai interaksi gen-nutrisi, serta penerapan konsep *personalized nutrition* yang menyesuaikan rekomendasi gizi dengan profil individu. Selain itu, inovasi dalam pengembangan produk pangan fungsional dengan komposisi optimal diharapkan mampu meningkatkan bioavailabilitas dan penerimaan konsumen. Dengan pendekatan tersebut, nutrisi fungsional tidak hanya berperan dalam pencegahan penyakit, tetapi juga menjadi bagian integral dari strategi kesehatan masyarakat dan inovasi pangan masa depan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akonjuen, B.M., Onuh, J.O. and Aryee, A.N.A. (2023) 'Bioactive fatty acids from non-conventional lipid sources and their potential application in functional food development', *Food Science & Nutrition*, 11, pp. 5689–5700. Available at: <https://doi.org/10.1002/fsn3.3521>.
- Bauer, R., Brüne, B. and Schmid, T. (2023) 'Cholesterol metabolism in the regulation of inflammatory responses', *Frontiers in Pharmacology*, 14(January), pp. 1–7. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1121819>.
- Calder, P.C. (2015) 'Functional roles of fatty acids and their effects on human health', *JPEN Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 39, pp. 18–32. Available at: <https://doi.org/10.1177/0148607115595980>.
- FoodData Central* (2025). Available at: <https://fdc.nal.usda.gov>.
- Hegde, M., Z., A. and Adekar, S.P. (2016) *Omega-3 fatty acids: Keys to nutritional health*. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-40458-5>.
- Jones, P.J., AbuMweis, S.S. (2009) 'Phytosterols as functional food ingredients', *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 12, pp. 147–151. Available at: <https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e328326770f>.



- Kris-Etherton, P.M., Harris, W.S., Appel, L.J. (2002) 'Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease', *Circulation*, 106(21), pp. 2747–2757.
- Moreau, R.A., Nyström, L., Whitaker, B.D., et al. (2018) 'Phytosterols and their derivatives', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66, pp. 2277–2290. Available at: Journal of Agricultural and Food Chemistry.
- NCBI (2025) *PubChem Compound Database: Plant sterols*. Available at: <https://doi.org/PubChem>.
- Ostlund, R.E. (2002) 'Phytosterols in human nutrition', *Annual Review of Nutrition*, 22, pp. 533–549. Available at: 10.1146/annurev.nutr.22.020702.075220.
- Patel, R. & Thompson, P.D. (2017) 'Triglycerides and Cardiovascular Disease: Understanding the Role of Triglyceride Metabolism', *Progress in Cardiovascular Diseases*, 59, pp. 361–367.
- Phillips, L.G., Whitehead, D.M., Kinsella, J.E. (1994) *Structure-Function Properties of Food Proteins*. Academic Press, San Diego, CA.
- Saini, R.K., Keum, Y.S. (2018) 'Omega-3 and omega-6 PUFA: sources, metabolism, significance', *Life Sciences*, 203, pp. 255–267. Available at: 10.1016/j.lfs.2018.04.030%0A.
- Simopoulos, A.P. (2008) 'The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease

and other chronic diseases', *Experimental Biology and Medicine*, 233, pp. 674–688. Available at: <https://doi.org/10.3181/0711-MR-311>.

# **BAB 10**

## **SENYAWA BIOAKTIF HASIL LAUT**

**Oleh: Wafi Adizara Muzakki, S.T.P., M.Sc.**

### **A. Pendahuluan**

Perkembangan ilmu pangan dan gizi dalam beberapa dekade terakhir menunjukkan pergeseran paradigma (Kim and Wijesekara, 2010) dari pangan sebagai pemenuh kebutuhan dasar menuju pangan sebagai agen peningkatan kesehatan dan pencegah penyakit. Konsep ini melahirkan bidang pangan fungsional dan nutrasetikal, yang menekankan peran komponen bioaktif alami dalam mendukung fungsi fisiologis tubuh di luar nilai gizi konvensional. Dalam konteks ini, sumber daya laut menjadi salah satu bahan baku paling prospektif karena kekayaan keanekaragaman hayati serta kandungan senyawa bioaktif yang bervariasi dan multifungsi (Shahidi and Ambigaipalan, 2018).

Hasil laut, baik yang berasal dari ikan, krustasea, moluska, maupun alga, telah lama dikonsumsi sebagai sumber protein bermutu tinggi. Namun, penelitian modern menunjukkan bahwa organisme laut juga mengandung berbagai senyawa bioaktif yang berperan penting dalam pencegahan penyakit degeneratif, seperti penyakit kardiovaskular, diabetes, obesitas, gangguan inflamasi, dan penurunan fungsi kognitif (Gates, 2010). Keunggulan

senyawa bioaktif laut terletak pada struktur kimianya yang khas, seperti asam lemak rantai panjang, polisakarida sulfat, pigmen unik, dan peptida bioaktif, yang jarang ditemukan pada sumber pangan darat.

Ikan merupakan sumber utama asam lemak omega-3 rantai panjang, khususnya *eicosapentaenoic acid* (EPA) dan *docosahexaenoic acid* (DHA), yang telah terbukti berperan dalam menjaga kesehatan jantung, fungsi otak, dan modulasi inflamasi. Sementara itu, protein hasil laut dapat dihidrolisis menjadi peptida bioaktif dengan berbagai aktivitas biologis, seperti antihipertensi, antioksidan, antidiabetik, dan imunomodulator (Kim and Wijesekara, 2010). Keberadaan peptida bioaktif ini menjadikan hasil laut sebagai bahan baku potensial untuk pengembangan pangan fungsional berbasis protein.

Kelompok organisme laut non-ikan, seperti krustasea dan moluska, juga memiliki peran penting sebagai sumber senyawa bioaktif. Krustasea dikenal sebagai sumber astaxanthin serta kitin dan kitosan, sedangkan moluska kaya akan taurin, mineral esensial, dan peptida fungsional. Di sisi lain, makroalga dan mikroalga menghasilkan polisakarida bioaktif, pigmen laut seperti fucoxanthin dan fikosianin, serta lipid fungsional yang bernilai tinggi. Senyawa-senyawa ini tidak hanya berfungsi sebagai komponen aktif, tetapi juga sebagai agen tekstural dan stabilisator alami dalam sistem pangan (Holdt and Kraan, 2011).

Pemanfaatan senyawa bioaktif dari hasil laut juga memiliki dimensi keberlanjutan yang kuat. Banyak senyawa

bernilai tinggi dapat diperoleh dari hasil samping dan limbah pengolahan perikanan, seperti kepala, kulit, tulang ikan, serta cangkang krustasea. Pendekatan ini sejalan dengan konsep ekonomi sirkular dan *zero waste*, yang bertujuan meningkatkan nilai tambah sumber daya laut sekaligus mengurangi dampak lingkungan (Younes and Rinaudo, 2015).

Berdasarkan potensi tersebut, pemahaman yang komprehensif mengenai jenis sumber hasil laut dan karakteristik senyawa bioaktif yang dikandungnya menjadi sangat penting. Bab ini disusun untuk memberikan landasan ilmiah mengenai berbagai sumber hayati laut dan jenis senyawa bioaktif utama yang berperan dalam pangan fungsional dan nutrasetikal, sebagai dasar bagi pengembangan produk inovatif yang berkelanjutan dan berorientasi pada kesehatan masyarakat.

## **B. Klasifikasi Sumber Laut Penghasil Senyawa Bioaktif**

### **1. Ikan**

Ikan merupakan salah satu komoditas pangan yang memiliki peran strategis dalam pengembangan pangan fungsional dan produk nutrasetikal. Selain dikenal sebagai sumber protein hewani berkualitas tinggi, ikan juga kaya akan berbagai senyawa bioaktif yang berkontribusi terhadap pemeliharaan kesehatan dan pencegahan penyakit degeneratif. Senyawa bioaktif tersebut meliputi asam lemak omega-3 rantai panjang, peptida bioaktif, vitamin larut

lemak, mineral esensial, serta pigmen bioaktif yang bekerja secara sinergis dalam tubuh manusia (FAO, 2016).

Asam lemak omega-3, terutama *eicosapentaenoic acid* (EPA) dan *docosahexaenoic acid* (DHA), merupakan komponen bioaktif utama yang paling banyak dikaji dari ikan laut. Senyawa ini berperan penting dalam menjaga kesehatan kardiovaskular melalui mekanisme penurunan kadar trigliserida, penghambatan agregasi trombosit, serta pengaturan respon inflamasi (Shahidi and Ambigaipalan, 2018). Selain itu, DHA memiliki fungsi krusial dalam perkembangan dan pemeliharaan fungsi otak serta retina, sehingga konsumsi ikan sejak usia dini hingga lanjut usia sangat dianjurkan sebagai bagian dari pola makan fungsional (Calder, 2010).

Selain asam lemak, ikan juga merupakan sumber peptida bioaktif yang dihasilkan dari hidrolisis protein ikan, baik secara enzimatis maupun selama proses pencernaan. Peptida bioaktif ini dilaporkan memiliki berbagai aktivitas biologis, seperti antihipertensi melalui penghambatan enzim *angiotensin-converting enzyme* (ACE), aktivitas antioksidan, antidiabetik, serta imunomodulator (Kim and Wijesekara, 2010). Potensi peptida bioaktif dari ikan menjadikannya kandidat penting dalam pengembangan bahan baku nutrasetikal berbasis protein alami.

Ikan juga mengandung vitamin larut lemak, terutama vitamin D, yang berperan dalam metabolisme kalsium, kesehatan tulang, serta fungsi sistem imun. Kandungan vitamin D pada ikan berlemak seperti salmon, sarden, dan

makarel relatif tinggi dibandingkan sumber pangan lainnya, sehingga ikan berpotensi digunakan sebagai pangan fungsional untuk mengatasi defisiensi vitamin D yang masih banyak terjadi di berbagai populasi (Progress and Holick, 2007). Selain itu, mineral esensial seperti selenium, iodium, dan seng dalam ikan berperan sebagai kofaktor enzim antioksidan dan pengatur fungsi tiroid (Ralston and Raymond, 2010).

Pigmen bioaktif juga menjadi komponen penting dalam ikan, khususnya pada ikan dan produk perikanan tertentu. Astaxanthin, karotenoid yang banyak ditemukan pada ikan salmonid dan produk laut terkait, memiliki aktivitas antioksidan yang sangat kuat dan dilaporkan berperan dalam perlindungan sel terhadap stres oksidatif serta peradangan kronis (Hussein et al., 2006). Keberadaan pigmen bioaktif ini semakin memperkuat posisi ikan sebagai sumber nutrasetikal alami.

Dengan kandungan senyawa bioaktif yang beragam dan mekanisme kerja yang multifungsi, ikan memiliki potensi besar sebagai bahan baku pangan fungsional dan nutrasetikal. Optimalisasi pemanfaatan ikan, termasuk hasil samping dan limbah pengolahannya, melalui pendekatan teknologi pangan yang tepat dapat meningkatkan nilai tambah produk perikanan sekaligus mendukung kesehatan masyarakat secara berkelanjutan.

## **2. Krustasea**

Krustasea merupakan kelompok biota perairan yang mencakup udang, kepiting, lobster, dan rajungan, yang

memiliki nilai ekonomi tinggi sekaligus potensi besar sebagai sumber senyawa bioaktif. Dalam konteks pangan fungsional dan nutrasetikal, krustasea tidak hanya berperan sebagai sumber protein hewani, tetapi juga sebagai penyedia komponen bioaktif yang berkontribusi terhadap peningkatan kesehatan dan pencegahan berbagai penyakit degeneratif. Senyawa bioaktif utama yang terdapat pada krustasea meliputi karotenoid (terutama astaxanthin), kitin dan kitosan, peptida bioaktif, asam lemak tak jenuh, serta mineral esensial (Venugopal, 2009).

Astaxanthin merupakan senyawa bioaktif paling menonjol pada krustasea, khususnya udang dan kepiting. Karotenoid ini bertanggung jawab terhadap warna merah-oranye khas krustasea dan dikenal memiliki aktivitas antioksidan yang sangat kuat, bahkan dilaporkan lebih efektif dibandingkan  $\beta$ -karoten dan vitamin E dalam menangkal radikal bebas (Taylor et al., 1998). Astaxanthin berperan dalam menurunkan stres oksidatif, menghambat peradangan, serta memberikan efek protektif terhadap penyakit kardiovaskular, neurodegeneratif, dan gangguan metabolik (Goycoolea, 2007). Oleh karena itu, ekstrak astaxanthin dari krustasea banyak dikembangkan sebagai bahan baku suplemen nutrasetikal.

Selain karotenoid, krustasea juga merupakan sumber kitin dan turunannya, yaitu kitosan, yang terutama diperoleh dari limbah cangkang. Kitin dan kitosan memiliki berbagai aktivitas biologis, antara lain sebagai agen antimikroba, antioksidan, penurun kolesterol, serta



pengikat lemak dan logam berat (Rinaudo, 2006). Dalam bidang pangan fungsional, kitosan dimanfaatkan sebagai serat pangan fungsional dan bahan tambahan alami yang berpotensi meningkatkan kesehatan saluran pencernaan serta mengontrol kadar lipid darah.

Protein krustasea juga berpotensi menghasilkan peptida bioaktif melalui proses hidrolisis enzimatis. Peptida ini dilaporkan memiliki aktivitas antihipertensi, antioksidan, antidiabetik, serta imunomodulator (He et al., 2013). Peptida bioaktif dari udang dan kepiting telah banyak diteliti sebagai kandidat bahan nutrasetikal alami yang aman dan berkelanjutan, terutama karena dapat diperoleh dari hasil samping industri pengolahan perikanan.

Krustasea juga mengandung asam lemak tak jenuh, termasuk asam lemak omega-3, meskipun dalam jumlah yang relatif lebih rendah dibandingkan ikan berlemak. Namun demikian, keberadaan asam lemak ini tetap berkontribusi terhadap efek antiinflamasi dan perlindungan kesehatan jantung (Kris-etherton, Harris and Appel, 2012). Selain itu, kandungan mineral seperti kalsium, fosfor, seng, dan selenium pada krustasea berperan penting dalam mendukung fungsi enzim, sistem imun, serta kesehatan tulang.

Pemanfaatan krustasea sebagai sumber senyawa bioaktif memiliki prospek yang sangat menjanjikan, terutama melalui pendekatan *zero waste* dengan mengolah limbah cangkang dan kepala menjadi produk bernilai tambah. Integrasi teknologi ekstraksi dan pemurnian

senyawa bioaktif dari krustasea dapat mendukung pengembangan pangan fungsional dan nutrasetikal berbasis sumber daya laut yang berkelanjutan serta ramah lingkungan.

### 3. Moluska

Moluska merupakan kelompok organisme perairan yang mencakup bivalvia (kerang-kerangan), gastropoda (siput laut), dan cephalopoda (cumi-cumi, sotong, dan gurita). Kelompok ini dikenal luas sebagai sumber pangan bernilai gizi tinggi dan memiliki potensi besar sebagai sumber senyawa bioaktif untuk pengembangan pangan fungsional dan nutrasetikal. Moluska mengandung berbagai komponen bioaktif, seperti protein dan peptida fungsional, asam lemak tak jenuh ganda, glikogen, taurin, polisakarida, serta mineral dan mikronutrien yang berperan penting dalam mendukung kesehatan manusia. Protein moluska memiliki profil asam amino esensial yang baik dan relatif mudah dicerna. Melalui proses hidrolisis enzimatis, protein moluska dapat menghasilkan peptida bioaktif dengan aktivitas biologis yang beragam, antara lain sebagai antioksidan, antihipertensi, antimikroba, dan antidiabetik (Kim and Mendis, 2006). Peptida bioaktif yang berasal dari cumi-cumi dan kerang dilaporkan mampu menghambat aktivitas *Angiotensin-Converting Enzyme* (ACE), sehingga berpotensi digunakan sebagai komponen nutrasetikal untuk membantu pengendalian tekanan darah.

Moluska juga merupakan sumber asam lemak tak jenuh ganda, khususnya asam lemak omega-3 seperti

*eicosapentaenoic acid* (EPA) dan *docosahexaenoic acid* (DHA). Kandungan asam lemak ini berkontribusi terhadap efek antiinflamasi, peningkatan fungsi kardiovaskular, serta perlindungan terhadap gangguan metabolik (Gladyshev, Sushchik and Gubanenko, 2014). Meskipun kandungan lemak total pada moluska relatif rendah, kualitas lemaknya menjadikan kelompok ini relevan sebagai pangan fungsional rendah lemak namun kaya komponen bioaktif.

Senyawa bioaktif khas lainnya pada moluska adalah taurin, yaitu asam amino bebas yang berperan dalam pengaturan osmoregulasi, fungsi sistem saraf, dan kesehatan kardiovaskular. Taurin banyak ditemukan pada cephalopoda seperti cumi-cumi dan gurita, serta dikaitkan dengan aktivitas antioksidan dan efek protektif terhadap stres oksidatif (Huxtable, 1992). Selain taurin, moluska mengandung polisakarida dan glikogen yang dapat berfungsi sebagai sumber energi serta berpotensi dimanfaatkan sebagai komponen fungsional dalam formulasi pangan.

Dengan keberagaman senyawa bioaktif yang dimilikinya, moluska memiliki prospek besar dalam pengembangan produk pangan fungsional dan nutrasetikal. Pemanfaatan moluska, termasuk hasil samping pengolahannya, melalui pendekatan teknologi pangan yang tepat dapat meningkatkan nilai tambah produk sekaligus mendukung keberlanjutan sumber daya laut.

#### 4. Makroalga

Makroalga merupakan sumber daya hayati laut yang memiliki potensi besar dalam pengembangan pangan fungsional dan nutrasetikal. Berdasarkan pigmen dominannya, makroalga diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama, yaitu alga coklat (*Phaeophyceae*), alga merah (*Rhodophyceae*), dan alga hijau (*Chlorophyceae*). Ketiga kelompok tersebut mengandung berbagai senyawa bioaktif unik yang jarang ditemukan pada pangan darat, sehingga menjadikan makroalga sebagai kandidat penting dalam formulasi pangan fungsional modern (Holdt and Kraan, 2011).

Salah satu kelompok senyawa bioaktif utama dalam makroalga adalah polisakarida fungsional. Alga coklat kaya akan alginat, fucoidan, dan laminaran, sedangkan alga merah mengandung agar dan karaginan, serta alga hijau mengandung ulvan. Polisakarida tersebut diketahui memiliki berbagai aktivitas biologis, antara lain sebagai serat pangan larut, antioksidan, antikoagulan, antiinflamasi, serta imunomodulator (Wijesinghe and Jeon, 2012). Fucoidan, misalnya, banyak dilaporkan memiliki aktivitas antikanker dan antivirus, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai bahan nutrasetikal berbasis laut.

Selain polisakarida, makroalga juga mengandung senyawa fenolik laut yang dikenal sebagai phlorotannin, terutama pada alga coklat. Phlorotannin merupakan antioksidan alami dengan kemampuan menangkap radikal bebas dan menghambat peroksidasi lipid (Li et al., 2011).

Senyawa ini juga dilaporkan memiliki aktivitas antidiabetik melalui penghambatan enzim  $\alpha$ -glukosidase dan  $\alpha$ -amilase, sehingga berpotensi digunakan dalam pangan fungsional untuk pengendalian glukosa darah.

Makroalga juga merupakan sumber pigmen bioaktif yang bernilai tinggi. Alga coklat mengandung fucoxanthin, karotenoid dengan aktivitas antioksidan dan antiobesitas, sedangkan alga merah dan hijau mengandung fikobiliprotein dan klorofil yang berperan dalam aktivitas antiinflamasi dan proteksi sel (Peng et al., 2011). Fucoxanthin telah banyak diteliti karena kemampuannya dalam meningkatkan metabolisme lemak dan mengurangi akumulasi jaringan adiposa.

Dari sisi nutrisi, makroalga mengandung vitamin (A, C, E, dan beberapa vitamin B), mineral esensial seperti iodium, kalsium, magnesium, dan besi, serta asam lemak tak jenuh ganda dalam jumlah moderat. Kandungan iodium yang tinggi pada rumput laut berperan penting dalam fungsi kelenjar tiroid, meskipun konsumsinya perlu dikontrol untuk menghindari kelebihan asupan (Roleda et al., 2018).

Dengan keragaman senyawa bioaktif dan manfaat kesehatannya, makroalga memiliki prospek luas sebagai bahan baku pangan fungsional dan nutrasetikal. Pemanfaatan makroalga secara berkelanjutan melalui inovasi teknologi pengolahan dan ekstraksi senyawa bioaktif dapat meningkatkan nilai tambah produk rumput laut sekaligus mendukung ketahanan pangan dan kesehatan masyarakat.

## 5. Mikroalga

Mikroalga merupakan kelompok mikroorganisme fotosintetik yang hidup di lingkungan perairan tawar maupun laut dan dikenal sebagai salah satu sumber senyawa bioaktif paling potensial untuk pengembangan pangan fungsional dan nutrasetikal. Berbeda dengan makroalga, mikroalga memiliki laju pertumbuhan yang cepat, produktivitas biomassa tinggi, serta kemampuan menghasilkan metabolit bioaktif dalam konsentrasi yang relatif besar. Beberapa spesies mikroalga yang banyak dimanfaatkan antara lain *Spirulina*, *Chlorella*, *Dunaliella*, *Haematococcus*, dan *Nannochloropsis* (Pulz and Gross, 2004).

Salah satu keunggulan utama mikroalga adalah kandungan protein yang tinggi dengan komposisi asam amino esensial yang lengkap. *Spirulina* dan *Chlorella*, misalnya, mengandung protein hingga lebih dari 50% berat kering, sehingga banyak dikembangkan sebagai pangan fungsional berbasis protein nabati alternatif (Becker, 2007). Selain sebagai sumber protein, mikroalga juga menghasilkan peptida bioaktif yang memiliki aktivitas antioksidan, antihipertensi, dan imunomodulator, yang berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai bahan nutrasetikal.

Mikroalga juga merupakan sumber utama asam lemak tak jenuh ganda rantai panjang, terutama docosahexaenoic acid (DHA) dan eicosapentaenoic acid (EPA). Asam lemak omega-3 yang berasal dari mikroalga menjadi alternatif penting pengganti minyak ikan, terutama bagi konsumen

vegetarian dan vegan (Adarme-vega *et al.*, 2012). Konsumsi DHA dan EPA dari mikroalga dikaitkan dengan peningkatan kesehatan kardiovaskular, fungsi otak, serta penurunan respon inflamasi.

Selain lipid fungsional, mikroalga menghasilkan berbagai pigmen bioaktif dengan aktivitas biologis yang tinggi. *Haematococcus pluvialis* dikenal sebagai sumber alami astaxanthin dengan aktivitas antioksidan yang sangat kuat, sedangkan *Dunaliella salina* kaya akan  $\beta$ -karoten. Pigmen lain seperti klorofil, fikosianin, dan lutein juga banyak ditemukan pada mikroalga dan berperan dalam perlindungan sel terhadap stres oksidatif, peradangan, serta kerusakan akibat radikal bebas (Borowitzka, 2013).

Dengan keragaman senyawa bioaktif dan fleksibilitas sistem produksinya, mikroalga memiliki prospek besar sebagai sumber pangan fungsional dan nutrasetikal masa depan. Pengembangan teknologi kultivasi, pemanenan, dan ekstraksi senyawa bioaktif mikroalga yang efisien dan berkelanjutan akan semakin memperkuat peran mikroalga dalam mendukung kesehatan manusia dan ketahanan pangan global.

## **C. Bioavailabilitas dan Stabilitas Senyawa Bioaktif Laut**

Keberadaan senyawa bioaktif dalam hasil laut tidak secara otomatis menjamin manfaat kesehatannya dapat diperoleh secara optimal oleh konsumen. Efektivitas senyawa bioaktif sangat ditentukan oleh stabilitasnya selama proses

pengolahan dan penyimpanan pangan, serta kemampuannya untuk dilepaskan, diserap, dan dimanfaatkan oleh tubuh setelah dikonsumsi. Senyawa bioaktif laut umumnya memiliki struktur kimia yang kompleks dan sensitif terhadap faktor lingkungan, sehingga rentan mengalami degradasi atau kehilangan aktivitas biologis. Oleh karena itu, pemahaman mengenai bioavailabilitas dan stabilitas menjadi aspek krusial dalam pengembangan pangan fungsional dan nutrasetikal berbasis hasil laut (Carbonell-capella et al., 2014).

### **1. Tantangan Oksidasi Asam Lemak Omega-3 (EPA dan DHA)**

Asam lemak omega-3 rantai panjang, khususnya eicosapentaenoic acid (EPA) dan docosahexaenoic acid (DHA), merupakan komponen bioaktif utama dari hasil laut yang berperan penting dalam pencegahan penyakit kardiovaskular, regulasi inflamasi, serta pemeliharaan fungsi otak. Namun demikian, karakteristik struktur kimia EPA dan DHA yang memiliki banyak ikatan rangkap menjadikannya sangat rentan terhadap reaksi oksidasi lipid. Oksidasi ini dapat terjadi sejak tahap penanganan bahan baku, proses pengolahan, hingga penyimpanan produk akhir, terutama ketika terpapar oksigen, cahaya, suhu tinggi, dan logam prooksidan. Proses oksidasi tidak hanya menyebabkan penurunan kadar omega-3, tetapi juga berdampak pada penurunan kualitas sensorik seperti timbulnya bau tengik dan rasa tidak diinginkan, yang dapat



menurunkan penerimaan konsumen (Shahidi and Zhong, 2010; Shahidi and Ambigaipalan, 2018).

Secara kimia, oksidasi EPA dan DHA berlangsung melalui mekanisme reaksi berantai yang melibatkan pembentukan radikal bebas dan hidroperoksida sebagai produk oksidasi primer, yang selanjutnya terdegradasi menjadi aldehida, keton, dan senyawa volatil lainnya sebagai produk oksidasi sekunder. Senyawa-senyawa ini tidak hanya berkontribusi terhadap kerusakan mutu pangan, tetapi juga berpotensi menurunkan nilai fungsional dan bioavailabilitas omega-3. Beberapa produk oksidasi lipid bahkan dilaporkan memiliki sifat sitotoksik dan proinflamasi apabila dikonsumsi dalam jumlah berlebih. Oleh karena itu, pengendalian oksidasi EPA dan DHA menjadi tantangan utama dalam formulasi pangan fungsional dan nutrasetikal berbasis minyak ikan atau bahan laut kaya lipid (Shahidi and Zhong, 2010).

Selain faktor lingkungan, bentuk fisik dan matriks pangan juga memengaruhi tingkat oksidasi EPA dan DHA. Omega-3 yang berada dalam sistem emulsi atau produk pangan dengan luas permukaan tinggi cenderung lebih mudah teroksidasi dibandingkan dalam bentuk utuh. Interaksi dengan komponen lain, seperti protein dan mineral, dapat bersifat protektif maupun prooksidan tergantung pada kondisi sistem pangan. Untuk mengatasi tantangan ini, berbagai strategi telah dikembangkan, termasuk penggunaan antioksidan alami, pengendalian kondisi pengolahan dan penyimpanan, serta penerapan

teknologi proteksi seperti enkapsulasi. Pendekatan-pendekatan tersebut bertujuan untuk mempertahankan stabilitas EPA dan DHA sekaligus memastikan ketersediaan hayatinya tetap optimal hingga dikonsumsi dan dimanfaatkan oleh tubuh (Shahidi and Ambigaipalan, 2018).

## **2. Degradasi Pigmen dan Peptida Bioaktif**

Pigmen bioaktif laut merupakan kelompok senyawa yang berperan penting dalam aktivitas antioksidan dan proteksi seluler, namun memiliki stabilitas yang relatif rendah terhadap faktor lingkungan. Pigmen seperti astaxanthin, fucoxanthin, dan fikosianin memiliki struktur konjugasi yang memungkinkan aktivitas penangkap radikal bebas, tetapi pada saat yang sama menjadikannya sangat sensitif terhadap panas, cahaya, dan oksigen. Paparan kondisi tersebut dapat menyebabkan reaksi oksidatif, isomerisasi, serta degradasi struktur molekul, yang berujung pada penurunan aktivitas biologis dan perubahan warna produk pangan. Degradasi pigmen tidak hanya menurunkan nilai fungsional, tetapi juga memengaruhi mutu sensorik dan daya tarik visual produk pangan fungsional berbasis hasil laut (Ambati et al., 2014).

Fucoxanthin, sebagai pigmen khas alga cokelat, dilaporkan mudah mengalami degradasi selama proses termal dan penyimpanan jangka panjang, terutama pada kondisi suhu tinggi dan paparan cahaya. Astaxanthin, meskipun relatif lebih stabil, tetap rentan terhadap oksidasi apabila tidak dilindungi oleh matriks yang sesuai. Degradasi pigmen-pigmen tersebut dapat menyebabkan berkurangnya

efektivitas antioksidan dan menurunkan kontribusinya terhadap manfaat kesehatan yang diharapkan. Oleh karena itu, pengendalian kondisi pengolahan, seperti suhu, waktu pemanasan, serta paparan cahaya, menjadi faktor penting dalam mempertahankan stabilitas pigmen bioaktif laut dalam sistem pangan (Ambati et al., 2014).

Selain pigmen, peptida bioaktif hasil hidrolisis protein laut juga menghadapi tantangan degradasi yang signifikan. Peptida bioaktif umumnya memiliki ukuran molekul kecil dan urutan asam amino spesifik yang menentukan aktivitas biologisnya, seperti antihipertensi, antioksidan, dan imunomodulator. Perubahan pH, interaksi dengan komponen pangan lain, serta aktivitas enzim proteolitik selama penyimpanan dan proses pencernaan dapat menyebabkan pemutusan ikatan peptida atau perubahan struktur, sehingga aktivitas biologisnya menurun. Namun demikian, beberapa peptida laut menunjukkan ketahanan terhadap proses gastrointestinal dan tetap mempertahankan aktivitas fisiologisnya setelah absorpsi, bahkan dalam beberapa kasus proses pencernaan justru berkontribusi terhadap pembentukan peptida aktif baru. Kondisi ini menunjukkan bahwa pemahaman mendalam mengenai stabilitas dan perilaku peptida bioaktif sangat penting dalam pengembangan pangan fungsional berbasis hasil laut (Udenigwe and Aluko, 2012).

### **3. Pengaruh Proses Pengolahan terhadap Bioavailabilitas**

Proses pengolahan pangan memegang peranan penting dalam menentukan bioavailabilitas senyawa bioaktif dari hasil laut. Perlakuan pengolahan dapat memengaruhi struktur kimia dan fisik senyawa bioaktif, sehingga berdampak langsung pada kemampuannya untuk dilepaskan dari matriks pangan dan diserap oleh saluran pencernaan. Pada satu sisi, proses seperti pemanasan, pengeringan, dan penggilingan berpotensi menyebabkan degradasi senyawa sensitif, termasuk asam lemak omega-3 dan pigmen bioaktif. Namun, di sisi lain, pengolahan yang tepat dapat meningkatkan bioaksesibilitas senyawa tertentu melalui perubahan struktur matriks pangan dan pelepasan komponen aktif yang sebelumnya terikat (McClements, 2000).

Perlakuan panas merupakan faktor pengolahan yang paling berpengaruh terhadap bioavailabilitas senyawa bioaktif laut. Suhu tinggi dan waktu pemanasan yang lama dapat mempercepat oksidasi lipid serta degradasi pigmen dan peptida, sehingga menurunkan aktivitas biologisnya. Sebaliknya, pada kondisi yang terkontrol, pemanasan dapat menyebabkan denaturasi protein yang memudahkan pelepasan peptida bioaktif selama proses pencernaan. Oleh karena itu, keseimbangan antara intensitas pemanasan dan perlindungan senyawa bioaktif menjadi aspek penting dalam perancangan proses pengolahan pangan fungsional berbasis hasil laut.

Selain pengolahan termal, metode pengolahan non-termal dan suhu rendah mulai banyak dikembangkan untuk mempertahankan bioavailabilitas senyawa bioaktif laut. Teknologi seperti pengolahan tekanan tinggi, pembekuan cepat, dan pengeringan suhu rendah dilaporkan mampu meminimalkan kerusakan oksidatif dan degradasi pigmen. Di samping itu, bentuk fisik produk dan komposisi matriks pangan turut memengaruhi bioavailabilitas, terutama dalam sistem emulsi atau produk kompleks. Interaksi antara lipid, protein, dan polisakarida dapat memfasilitasi atau justru menghambat pelepasan senyawa bioaktif di saluran pencernaan. Oleh karena itu, pemilihan metode pengolahan dan desain formulasi pangan yang tepat menjadi kunci dalam meningkatkan bioavailabilitas senyawa bioaktif hasil laut (McClements, 2000).

#### **4. Peran Enkapsulasi dan *Delivery System* Senyawa Bioaktif**

Enkapsulasi merupakan pendekatan teknologi yang banyak dikembangkan untuk meningkatkan stabilitas dan bioavailabilitas senyawa bioaktif hasil laut. Senyawa seperti asam lemak omega-3, pigmen bioaktif, dan peptida bioaktif bersifat sensitif terhadap faktor lingkungan, termasuk oksigen, cahaya, suhu, dan pH. Melalui enkapsulasi, senyawa bioaktif dapat dilindungi dari degradasi selama proses pengolahan dan penyimpanan, sehingga aktivitas biologisnya dapat dipertahankan hingga saat dikonsumsi. Selain berfungsi sebagai pelindung, sistem enkapsulasi juga

berperan dalam mengontrol pelepasan senyawa bioaktif di saluran pencernaan (Mcclements, 2018).

Berbagai sistem delivery telah dikembangkan untuk senyawa bioaktif laut, antara lain mikroenkapsulasi, nanoemulsi, liposom, dan matriks biopolimer berbasis protein atau polisakarida. Nanoemulsi dan liposom terbukti efektif dalam meningkatkan kelarutan dan stabilitas asam lemak omega-3 yang bersifat lipofilik, sekaligus meningkatkan bioaksesibilitasnya selama proses pencernaan. Sementara itu, enkapsulasi peptida bioaktif dalam matriks protein atau polisakarida dapat melindungi peptida dari degradasi enzimatik dini di lambung, sehingga memungkinkan pelepasan bertahap di usus halus tempat penyerapan optimal terjadi. Selain meningkatkan stabilitas dan bioavailabilitas, sistem enkapsulasi juga memungkinkan pengembangan pangan fungsional dengan karakteristik sensorik yang lebih baik. Bau amis dan rasa tidak diinginkan dari minyak ikan atau ekstrak laut dapat diminimalkan melalui enkapsulasi, sehingga meningkatkan penerimaan konsumen. Dengan semakin berkembangnya teknologi delivery system, enkapsulasi tidak hanya dipandang sebagai metode perlindungan, tetapi juga sebagai strategi formulasi untuk meningkatkan efektivitas fisiologis senyawa bioaktif laut. Oleh karena itu, penerapan enkapsulasi menjadi komponen penting dalam pengembangan pangan fungsional dan produk nutrasetikal berbasis hasil laut (Anal, 2007).

## DAFTAR PUSTAKA

- Adarme-vega, T.C. *et al.* (2012) 'Microalgal biofactories : a promising approach towards sustainable omega-3 fatty acid production', pp. 1–10.
- Ambati, R.R. *et al.* (2014) 'Astaxanthin: Sources, Extraction, Stability, Biological Activities and Its Commercial Applications—A Review', pp. 128–152. Available at: <https://doi.org/10.3390/md12010128>.
- Anal, A.K. (2007) 'Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery', 18, pp. 240–251. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.01.004>.
- Becker, E.W. (2007) 'Micro-algae as a source of protein', 25, pp. 207–210. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>.
- Borowitzka, M.A. (2013) 'High-value products from microalgae — their development and commercialisation'. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10811-013-9983-9>.
- Calder, P.C. (2010) 'Omega-3 Fatty Acids and Inflammatory Processes', pp. 355–374. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu2030355>.
- Carbonell-capella, J.M. *et al.* (2014) 'Analytical Methods for Determining Bioavailability and Bioaccessibility of Bioactive Compounds from Fruits and Vegetables : A

- Review', 13. Available at:  
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12049>.
- Gladyshev, M.I., Sushchik, N.N. and Gubanenko, G.A. (2014) 'Effect of the Way of Cooking on Contents of Essential Polyunsaturated Fatty Acids in Filets of Zander', *Czech Journal of Food Sciences*, 32(3), pp. 226–231. Available at: <https://doi.org/10.17221/365/2013-CJFS>.
- Goycoolea, F.M. (2007) 'Astaxanthin: A Review of its Chemistry and Applications Astaxanthin: A Review of its', 8398. Available at:  
<https://doi.org/10.1080/10408690590957188>.
- Holdt, S.L. and Kraan, S. (2011) 'Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation', pp. 543–597. Available at:  
<https://doi.org/10.1007/s10811-010-9632-5>.
- Kim, S. and Mendis, E. (2006) 'Bioactive compounds from marine processing byproducts – A review', 39, pp. 383–393. Available at:  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.10.010>.
- Kim, S. and Wijesekara, I. (2010) 'Development and biological activities of marine-derived bioactive peptides: A review', *Journal of Functional Foods*, 2(1), pp. 1–9. Available at:  
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2010.01.003>.
- Kris-etherton, P.M., Harris, W.S. and Appel, L.J. (2012) 'Cardiovascular Disease', pp. 2747–2757. Available



at:

<https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000038493.65177.94>.

Li, Yong-xin *et al.* (2011) 'Phlorotannins as bioactive agents from brown algae', *Process Biochemistry*, 46(12), pp. 2219–2224. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.09.015>.

Mcclements, D.J. (2018) 'PT CR', *Advances in Colloid and Interface Science*, (2017), p. #pagerange#. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2018.02.002>.

Peng, J. *et al.* (2011) 'Fucoxanthin , a Marine Carotenoid Present in Brown Seaweeds and Diatoms: Metabolism and Bioactivities Relevant to Human Health', pp. 1806–1828. Available at: <https://doi.org/10.3390/md9101806>.

Progress, M. and Holick, M.F. (2007) 'Vitamin D Deficiency', pp. 266–281.

Pulz, M.O. and Gross, W. (2004) 'Valuable products from biotechnology of microalgae', pp. 635–648. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1647-x>.

Ralston, N.V.C. and Raymond, L.J. (2010) 'Dietary selenium ' s protective effects against methylmercury toxicity', *Toxicology*, 278(1), pp. 112–123. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tox.2010.06.004>.

Reviews, C. and Science, F. (2000) 'Lipid Oxidation in Oil-in-Water Emulsions : Impact of Molecular Environment on Chemical', 65(8), pp. 1270–1282.

- Roleda, M.Y. *et al.* (2018) 'Iodine content in bulk biomass of wild-harvested and cultivated edible seaweeds: Inherent variations determine species-specific daily allowable consumption', *Food Chemistry*, 254(September 2017), pp. 333–339. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.024>.
- Shahidi, F. and Ambigaipalan, P. (2018) 'Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Their Health Benefits'.
- Shahidi, F. and Zhong, Y. (2010) 'Lipid oxidation and improving the oxidative stability', pp. 4067–4079. Available at: <https://doi.org/10.1039/b922183m>.
- Taylor, P. *et al.* (no date) 'Critical Reviews in Food Science and Nutrition Carotenoid Pigments in Seafoods and Aquaculture Carotenoid Pigments in Seafoods and Aquaculture', (September 2012), pp. 37–41.
- Udenigwe, C.C. and Aluko, R.E. (2012) 'Food Protein-Derived Bioactive Peptides: Production , Processing , and Potential Health Benefits'. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02455.x>.
- Wijesinghe, W.A.J.P. and Jeon, Y. (2012) 'Biological activities and potential industrial applications of fucose rich sulfated polysaccharides and fucoidans isolated from brown seaweeds : A review', *Carbohydrate Polymers*, 88(1), pp. 13–20. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.12.029>.
- Younes, I. and Rinaudo, M. (2015) 'Chitin and Chitosan

Preparation from Marine Sources. Structure, Properties and Applications', pp. 1133–1174. Available at: <https://doi.org/10.3390/md13031133>.

# **BAB 11**

## **PERAN BIOTEKNOLOGI DALAM PANGAN FUNGSIONAL**

**Oleh: Soraya Kusuma Putri, S.T.P., M.Sc.**

### **A. Pendahuluan**

Pangan fungsional didefinisikan sebagai makanan yang mengandung senyawa biologis aktif yang dalam jumlah yang terdefinisi, efektif, dan tidak beracun, memberikan manfaat kesehatan yang telah terbukti secara klinis dan didokumentasikan dengan menggunakan biomarker spesifik untuk pencegahan, pengelolaan, atau pengobatan penyakit kronis atau gejalanya. Pangan fungsional ditandai dengan nutrisi yang tepat dan penyediaan nilai gizi serta nilai obat, sehingga berfungsi sebagai perpanjangan kunci dari pertanian fungsional. Pangan fungsional merujuk pada produksi produk fungsional melalui biofortifikasi atau strategi bioteknologi lainnya, sehingga menyediakan bahan baku dengan nutrisi yang memadai untuk makanan fungsional. Pangan fungsional memberikan solusi optimal untuk masalah global malnutrisi dan kelaparan tersembunyi (Alongi, 2021). Pangan fungsional mencakup berbagai kategori, termasuk pangan tradisional dan pangan yang diperkaya. Sifat fungsional dapat dikategorikan lebih lanjut menjadi peningkatan kinerja, nutrisi kulit, pencegahan

penyakit kardiovaskuler, peningkatan kesehatan kognitif, peningkatan sistem kekebalan tubuh dan lain-lain (Bortolini et al., 2022). Sifat fungsional dalam pangan fungsional disebabkan oleh adanya komponen bioaktif yang terdapat dalam bahan nabati misalnya serat pangan, inulin, FOS dan antioksidan dan dari bahan hewani (EPA, DHA dan CLA). Sifat fungsional juga bisa disebabkan oleh adanya mikroorganisme yang memiliki sifat menguntungkan di dalam sistem pencernaan misalnya probiotik (Marsono et al., 2008). Pangan fungsional dan komponen bioaktifnya telah diteliti secara luas untuk meningkatkan kesehatan manusia dan mengurangi risiko penyakit kronis. Bukti ilmiah yang semakin banyak menunjukkan bahwa beberapa makanan dan komponen makanan memiliki berbagai aktivitas biologis dalam tubuh manusia. Manfaat kesehatan dari makanan fungsional disebabkan oleh senyawa bioaktif yang dikandungnya (Kaur dan Das, 2011; Abuajah et al., 2015; Mahajan, 2016; Dincay, 2020). Pangan fungsional dibagi menjadi dua kategori berdasarkan sumbernya, yaitu makanan fungsional berbasis tumbuhan dan makanan fungsional yang berasal dari hewan (Guven et al., 2006).

Ada tiga persyaratan dasar agar suatu makanan dapat dianggap sebagai makanan fungsional (Goldberg, 1994: 1) makanan tersebut (bukan kapsul, tablet atau bubuk) terbuat dari bahan-bahan alami, dan 2) setelah dikonsumsi sebagai bagian dari diet harian; dan 3) setelah dikonsumsi, makanan tersebut harus mengatur proses-proses spesifik seperti meningkatkan mekanisme pertahanan biologis,

mencegah dan mengobati penyakit tertentu, mengontrol kondisi fisik dan mental, serta menunda proses penuaan.

## **B. Konsep Dasar Bioteknologi Pangan**

Bioteknologi pangan merupakan penerapan prinsip biologi, mikrobiologi, biokimia, dan rekayasa proses untuk menghasilkan atau meningkatkan mutu pangan (Steinkraus, 1996). Bioteknologi memainkan peran yang penting pada pengembangan produk-produk dengan meningkatkan kandungan gizi, menciptakan senyawa bioaktif, dan meningkatkan keamanan pangan serta umur simpan (Mitchell dan Peter, 2022). Senyawa bioaktif yang dihasilkan atau ditingkatkan meliputi probiotik, prebiotik, peptida bioaktif, vitamin dan antioksidan (Shah, 2014). Bioteknologi memainkan peran penting dalam meningkatkan rasa, aroma, warna, tekstur dan nilai estetika serta gizi makanan. Teknologi yang digunakan adalah proses fermentasi. Teknologi ini digunakan secara luas di banyak negara Makanan mengalami fermentasi melalui inokulasi atau fermentasi dan akhirnya perubahan yang diinginkan muncul akibat fermentasi oleh mikroorganisme dan/atau enzimnya, rasa, aroma, bahan tambahan pangan dan produk bernilai tambah lainnya (Goshal, 2018).

Dalam konteks bioteknologi, rekayasa genetika pada mikroorganisme tidak terbatas pada peningkatan hasil fermentasi tetapi juga pada produksi senyawa bernilai tinggi seperti asam amino, vitamin, dan enzim. Selain itu rekayasa genetik memungkinkan pengaturan jalur metabolik

mikroorganisme untuk memaksimalkan produksi produk tertentu, seperti pada strain *Lactobacillus* untuk peningkatan produksi asam laktat dalam industri pangan (Goshal, 2018). Penggunaan mikroorganisme rekayasa genetik dalam bioteknologi pangan telah menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan kandungan nutrisi pada berbagai produk pangan. Mikroorganisme seperti *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus* spp., dan *Escherichia coli* telah dimodifikasi secara genetik untuk meningkatkan produksi vitamin, asam amino esensial, serta senyawa bioaktif lainnya yang bermanfaat bagi kesehatan manusia (Du & Shao, 2011; Rusu et al., 2023).

Penelitian oleh Schwechheimer et al. (2018) menunjukkan modifikasi *Saccharomyces cerevisiae* dengan gen pengkode sintesis riboflavin (vitamin B2) dari *Ashbya gossypii* dapat meningkatkan produksi riboflavin dalam fermentasi roti hingga 150% dibandingkan strain alami. Selain itu terjadi peningkatan kandungan vitamin, mikroorganisme rekayasa genetik juga berkontribusi dalam meningkatkan kandungan protein dan asam amino esensial pada produk pangan. Penelitian yang dilakukan oleh Egbune et al. (2024) mengungkapkan bahwa penyisipan gen *Corynebacterium glutamicum* ke dalam *Escherichia coli* mampu mengoptimalkan sintesis lisin, yaitu salah satu asam amino esensial yang dibutuhkan tubuh manusia. Dampaknya, proses fermentasi kedelai yang memanfaatkan strain rekombinan tersebut menunjukkan peningkatan kandungan lisin hingga mencapai 40%. Sejalan dengan temuan tersebut, Liu et al. (2019) melaporkan bahwa

rekayasa genetika pada *Bacillus subtilis* melalui ekspresi gen protease asal *Aspergillus niger* terbukti dapat meningkatkan ketersediaan protein selama fermentasi kedelai, serta menghasilkan peptida bioaktif dengan tingkat pencernaan yang lebih tinggi. Di sisi lain, *Lactococcus lactis* hasil modifikasi genetik dilaporkan mampu meningkatkan kandungan kalsium yang bersifat bioavailabilitas pada produk susu fermentasi, sehingga penyerapan kalsium meningkat sekitar 35% dibandingkan dengan proses fermentasi konvensional (Wang et al., 2023). Peningkatan kualitas pada pangan fungsional tidak hanya memberikan nutrisi dasar namun juga memberikan manfaat kesehatan tambahan seperti peningkatan sistem imun, mengurangi risiko penyakit kronis dan memperbaiki kesehatan pencernaan.

Pemanfaatan mikroorganisme hasil rekayasa genetika dalam bidang bioteknologi pangan berkembang sebagai strategi inovatif untuk meningkatkan mutu pangan fungsional, khususnya melalui optimalisasi produksi berbagai senyawa bioaktif, termasuk probiotik, prebiotik, peptida bioaktif, serta antioksidan (Essa et al., 2023; Victoria Obayomi et al., 2024; Vignesh et al., 2024). Penelitian yang dilaporkan oleh Salazar et al. (2009) mengungkapkan bahwa penerapan modifikasi genetik pada *Lactobacillus casei* mampu meningkatkan sintesis eksopolisakarida, senyawa yang berfungsi sebagai prebiotik dan berperan dalam menunjang pertumbuhan mikroflora menguntungkan di saluran pencernaan. Selain berperan dalam peningkatan kandungan senyawa bioaktif, penerapan rekayasa genetika



juga diarahkan untuk memperkaya produk pangan dengan peptida fungsional yang memiliki efek antihipertensi, antioksidan, serta imunomodulator. Seppo et al. (2003) melaporkan keberhasilan modifikasi genetik pada *Saccharomyces cerevisiae* sehingga mampu memproduksi peptida bioaktif yang berfungsi sebagai inhibitor enzim pengonversi angiotensin (ACE), yang berpotensi membantu menurunkan tekanan darah pada penderita hipertensi. Sejalan dengan itu, Xia et al. (2024) menunjukkan bahwa *Lactobacillus plantarum* hasil rekayasa genetika yang mengekspresikan enzim superoksida dismutase (SOD) mampu meningkatkan aktivitas antioksidan pada produk yogurt, sehingga memberikan perlindungan terhadap stres oksidatif yang berperan dalam proses penuaan dan perkembangan penyakit degeneratif.

### **C. Fermentasi Sebagai Pilar Utama Pangan Fungsional**

Proses fermentasi adalah salah satu teknologi penting dalam bioteknologi pangan, dimana mikroorganisme digunakan untuk mengubah bahan mentah menjadi produk yang lebih bernilai (Maryam, 2017; Sharma et al., 2020). Umumnya, proses fermentasi dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti suhu, pH, oksigen dan konsentrasi substrat (Bihaji et al., 2024). Efisiensi fermentasi sering terhambat oleh kapasitas mikroorganisme yang terbatas dalam mencerna substrat tertentu (Siddik et al., 2024; Siddiqui et al., 2023). Penggunaan mikroorganisme yang telah direkayasa secara

genetik menjadi solusi potensial untuk meningkatkan efisiensi proses ini (Rafeeq et al., 2023).

Menurut Campbell-Platt (1994) mendefinisikan makanan fermentasi sebagai makanan yang telah mengalami pengaruh mikroorganisme atau enzim sehingga perubahan biokimia yang diinginkan menyebabkan modifikasi signifikan pada makanan. Makanan fermentasi mungkin berasal dari proses alami dimana ketersediaan nutrisi dan kondisi lingkungan memiliki mikroorganisme tertentu yang memodifikasi dan mengawetkan makanan. Secara biokimia, fermentasi didefinisikan sebagai proses yang tidak memerlukan  $O_2$  dan menggunakan molekul organik sebagai penerima elektron, serta hanya dilakukan oleh sel mikroorganisme yang aktif dan hidup (Mansi et al., 2003). Menurut penelitian Wang et al., 2022, modifikasi genetik pada *Saccharomyces cerevisiae* dapat meningkatkan laju konversi glukosa menjadi etanol, yang memungkinkan efisiensi yang lebih tinggi dalam produksi bioenergi dari sumber daya nabati (Baihaqi et al., 2024).

## **D. Probiotik dan Fermentasi**

Probiotik didefinisikan sebagai makanan yang mengandung mikroorganisme, yang mana secara aktif meningkatkan kesehatan konsumen dengan cara meningkatkan keseimbangan mikrobiota di usus ketika mikroorganisme hidup yang dikonsumsi dalam jumlah yang cukup dan masih hidup. Probiotik adalah mikroorganisme hidup yang memberikan manfaat kesehatan ketika dikonsumsi dalam

jumlah yang cukup. Mikroorganisme ini, umumnya bakteri dan ragi, membantu menjaga keseimbangan mikrobiota usus yang sehat, memperbaiki pencernaan, dan meningkatkan fungsi kekebalan tubuh (Mitchell dan Peter, 2022).

Probiotik dikenal berdasarkan genus, spesies, dan strain. Penunjukan strain sangat penting karena spesies yang sama dapat memiliki strain yang berbeda, sehingga memiliki efek kesehatan yang berbeda pula. Dosis juga perlu dipertimbangkan karena probiotik yang dikonsumsi dengan dosis lebih tinggi tidak selalu berarti akan memberikan manfaat kesehatan yang lebih besar daripada yang diberikan dengan dosis lebih rendah (Khalighi et al., 2016). Probiotik dianggap memberikan manfaat kesehatan dengan cara menstabilkan saluran pencernaan (Lee dan Salminen, 2009). Bioteknologi telah mencapai kemajuan signifikan dalam pengembangan makanan probiotik, seperti yogurt, kefir dan minuman fermentasi. Dengan menggunakan strain bakteri bermanfaat tertentu, produsen makanan dapat menciptakan makanan kaya probiotik dengan manfaat kesehatan yang ditargetkan (Mitchell dan Peter, 2022). Beberapa strain LAB, terutama spesies *Lactobacillus* dan *Enterococcus*, serta spesies *Bifidobacterium*, digunakan sebagai suplemen probiotik dan agen bioterapeutik untuk perlindungan terhadap diare, stimulasi sistem kekebalan tubuh, pengurangan gejala intoleransi laktosa, dan penurunan kolesterol serum (Shah, 2005).

Makanan yang diperkaya dengan probiotik telah dibuktikan dapat meningkatkan kesehatan usus, memperkuat sistem kekebalan tubuh, dan mengurangi risiko penyakit kronis (Gupta dan Gupta, 2021 dan Cha et al., 2024). Probiotik ini ditambahkan ke dalam makanan seperti produk susu fermentasi, baik secara tunggal maupun dalam kombinasi. Genus dan strain baru probiotik terus muncul seiring dengan upaya penelitian yang lebih canggih dan terfokus. Produk probiotik dapat mengandung satu strain atau campuran lebih dari satu strain. Efek probiotik bersifat spesifik strain dan tidak dapat digeneralisasi. Sebuah strain tunggal dapat menunjukkan manfaat yang berbeda ketika digunakan secara individu dan dalam kombinasi (Khalighi et al., 2016).

Demikian pula, sintesis senyawa bioaktif seperti antioksidan, peptida, dan polifenol selama fermentasi mikroba dapat berkontribusi dalam pencegahan stres oksidatif, peradangan, dan kondisi lain yang terkait dengan penuaan dan penyakit gaya hidup (Gunawardena et al., 2024). Fermentasi tidak hanya meningkatkan nilai gizi makanan tetapi juga secara signifikan mengubah sifat fungsionalnya, yang mengakibatkan peningkatan atribut sensorik, pengembangan rasa dan tekstur baru, serta peningkatan kandungan probiotik. Perubahan fungsional ini didorong oleh aktivitas metabolik mikroorganisme yang menghasilkan berbagai senyawa yang memengaruhi rasa, aroma, tekstur, dan sifat kesehatan yang bermanfaat dari produk makanan fermentasi (Sawant et al., 2025). Salah satu kontribusi utama fermentasi adalah kemampuannya untuk

mengembangkan dan memperhalus profil rasa makanan dengan meningkatkan kompleksitasnya. Misalnya, LAB (bakteri asam laktat), yang secara luas digunakan dalam fermentasi produk susu, sayuran, dan sereal, menghasilkan asam laktat yang memberikan rasa asam yang lembut. Keasaman ini memperkaya rasa, sekaligus bertindak sebagai pengawet, sehingga memperpanjang umur simpan makanan fermentasi.

Penguraian karbohidrat oleh mikroorganisme menghasilkan gula sederhana yang memberikan rasa manis yang lembut, sementara proses proteolisis menghasilkan peptida dan asam amino yang berperan penting dalam pembentukan rasa umami, khususnya pada produk kedelai fermentasi seperti miso dan kecap (Zhang et al., 2023). Efek bermanfaat dari makanan fermentasi dapat dikaitkan dengan metabolit bioaktif yang dihasilkan selama proses fermentasi, serta sifat probiotik dari mikroorganisme hidup yang terdapat dalam makanan tersebut dan interaksinya dengan inang (Marco et al., 2017). Probiotik berkontribusi pada perbaikan dan regenerasi jaringan yang rusak di sistem pencernaan, sehingga meningkatkan pencernaan dan penyerapan nutrisi, merangsang sistem kekebalan tubuh, dan mencegah kolonisasi oleh patogen berbahaya (Bock et al., 2024). Agar probiotik dapat memberikan manfaat kesehatan, mikroorganisme hidup harus dikonsumsi dalam jumlah yang memadai. Namun, selama perjalanannya melalui sistem pencernaan, mikroorganisme tersebut menghadapi berbagai tantangan, termasuk paparan enzim dan senyawa antimikroba dalam air liur, kondisi pH

lambung yang rendah, enzim pencernaan, serta garam empedu di usus halus, yang semuanya dapat menurunkan tingkat kelangsungan hidup mikroorganisme (Castro et al., 2023).

Meskipun menghadapi tantangan ini, terdapat bukti bahwa mikroorganisme dalam makanan fermentasi dapat bertahan melewati proses pencernaan dan mencapai saluran pencernaan dalam kondisi utuh (Echersh et al., 2024; Alizadeh et al., 2024; Zheng et al., 2024). Misalnya, Veiga et al, 2014 mendeteksi *Bifidobacterium* dalam sampel feses pasien dengan sindrom iritasi usus besar setelah mengonsumsi susu fermentasi mirip yogurt yang mengandung strain ini. Demikian pula, spesies *Bifidobacterium* dan *Lactobacillus* diisolasi dari sampel ileum setelah mengonsumsi makanan fermentasi (Han et al., 2015). Kehadiran mikroorganisme terkait fermentasi ini juga diamati pada sampel feses individu yang mengonsumsi kimchi, sauerkraut, dan produk fermentasi lainnya (Han et al., 2015; Kok et al., 2018).

## **E. Makanan Fermentasi dan Komponen Bioaktif**

Fermentasi adalah proses bioteknologi yang menggunakan mikroorganisme untuk mengubah bahan baku menjadi makanan fermentasi. Proses ini tidak hanya meningkatkan rasa dan tekstur makanan, tetapi juga meningkatkan nilai gizi makanan dengan menghasilkan senyawa bioaktif. Makanan fermentasi seperti kimchi, sauerkraut, miso dan

tempe mengandung senyawa bioaktif yang tinggi, seperti peptida, antioksidan, dan vitamin yang telah terbukti memiliki berbagai manfaat kesehatan. Bioteknologi memungkinkan optimasi proses fermentasi untuk meningkatkan produksi senyawa bermanfaat ini, menjadikan makanan fermentasi sebagai sumber bahan fungsional yang berharga (Mitchell dan Peter, 2022).

Proses fermentasi yang menggunakan mikroorganisme yang berbeda, secara signifikan meningkatkan ketersediaan hayati nutrisi dalam berbagai substrat makanan. Peningkatan ini terutama disebabkan oleh pemecahan anti-nutrisi seperti asam fitat, serta konversi protein dan karbohidrat kompleks menjadi bentuk yang lebih mudah diserap oleh tubuh. Studi menunjukkan bahwa metode fermentasi yang berbeda dapat meningkatkan ketersediaan mineral dalam makanan berbasis tanaman. Misalnya, satu studi menunjukkan efektivitas lima strain LAB, yaitu *Lactobacillus fermentum* B4655 (sekarang dikenal sebagai *LimosiLactobacillus fermentum*), *L. plantarum* B4495, *L. casei* B1922 (sekarang dikenal sebagai *Lacticaseibacillus casei*), *L. bulgaricus* CFR2028 (sekarang dikenal sebagai *Lactobacillus delbrueckii*), dan *L. acidophilus* B4496, dalam meningkatkan ketersediaan mineral dalam susu kedelai. Setelah 24 jam fermentasi pada suhu 37 °C, strain-strain ini secara signifikan mengurangi kandungan asam fitat dan meningkatkan kadar magnesium dan kalsium dalam susu kedelai fermentasi dibandingkan dengan sampel kontrol (Rekha et al., 2010).

Bahaciu et al. (2018) meneliti pengaruh perkecambahan dan fermentasi menggunakan *Lactobacillus* terhadap ketersediaan mineral biji kedelai. Mereka menemukan bahwa perkecambahan selama empat hari pada suhu 25 °C meningkatkan kadar seng, magnesium, besi, dan kalsium masing-masing sebesar 28,04%, 15,77%, 22,31%, dan 48,76% dibandingkan dengan sampel yang tidak diolah. Setelah fermentasi, tingkat ini meningkat lebih lanjut menjadi 40,87%, 43,41%, 59,56%, dan 53,4% untuk seng, magnesium, besi, dan kalsium, masing-masing. Substansi bioaktif dapat didefinisikan sebagai komponen yang mempengaruhi, menyebabkan reaksi, atau memicu respons pada jaringan hidup. Efek-efek ini dapat bersifat positif atau negatif tergantung pada dosis atau bioavailabilitas substansi tersebut (Guaadaoui et al., 2014). Artinya, senyawa bioaktif dapat ditemukan sebagai komponen alami atau penambah nutrisi dalam makanan, yang memberikan manfaat kesehatan tambahan di luar nilai gizi dasar produk makanan tersebut (Lordan et al., 2011). Penelitian tentang senyawa bioaktif telah menarik minat besar di berbagai bidang, terutama di bidang nutrisi dan ilmu kedokteran.

## **F. Produk Pangan Fungsional Berasal dari Nabati**

Pangan fungsional berbasis tumbuhan juga disebut fitokimia. Fitokimia terdapat dalam buah-buahan, sayuran dan biji-bijian. Senyawa-senyawa ini dapat dikonsumsi dalam asupan harian dan melindungi metabolisme manusia



dari berbagai penyakit. Terdapat 8.000 senyawa fitokimia yang berbeda dalam sayuran, buah-buahan dan biji-bijian yang dikonsumsi dalam asupan harian. Senyawa-senyawa ini meliputi flavanoid, karotenoid, polifenol, isoflavon, indol, lignan, saponin, senyawa organosulfat dan monoterpen. Senyawa-senyawa ini menunjukkan efek imunomodulator, neuroprotektif, antikarsinogenik, antioksidan, antiinflamasi, antibakteri, antivirus, antialergi, dan antihipertensi. Kandungan fitokimia sebagai antioksidan digunakan untuk mengurangi stres oksidatif, yang efektif dalam perkembangan banyak penyakit kronis.

Fitokimia memberikan efek bermanfaat bagi kesehatan melalui berbagai cara, seperti a) substrat dalam reaksi biokimia, b) kofaktor atau inhibitor dalam reaksi enzim, c) Ligand yang merangsang atau menghambat reseptor sel, d) meningkatkan penyerapan nutrisi esensial, e) menangkap komponen agen toksik reaktif, f) absorben yang mengikat dan menghilangkan zat berbahaya di usus, g) substrat fermentasi untuk bakteri bermanfaat, h) yang meningkatkan jumlah bakteri gastrointestinal bermanfaat dan mengurangi bakteri berbahaya (Haci, 2022). Beberapa contoh bentuk pangan fungsional yang mengandung bahan-bahan aktif menurut Munarso dan Mulyawanti, 2019:

1. Jenis pangan yang berasal dari kacang-kacangan yaitu tempe. Adapun senyawa bioaktif pada tempe dan tahu adalah isoflavon, isoflavon memiliki potensi manfaat untuk kesehatan yaitu antioksidan dan antikanker.

2. Jenis pangan yang berasal dari umbi-umbian yaitu ubi jalar ungu dan ubi jalar merah. Adapun senyawa bioaktif yang terdapat pada ubi jalar ungu yaitu antosianin sedangkan pada ubi jalar merah yaitu beta karoten. Potensi manfaat ubi jalar ungu dan ubi jalar merah untuk kesehatan yaitu antioksidan dan antikanker. Selain itu jenis pangan lainnya yang berasal dari umbi umbian yaitu umbi garut. Pada umbi garut ini memiliki indeks glikemik yang rendah. Potensi manfaat untuk kesehatan yaitu antihiperglikemia. Selain itu ada gembili yang memiliki senyawa aktif berupa dioscorin, diosgenin dan inulin. Adapaun potensi dan manfaat untuk kesehatan yaitu imunomodulator, hiperkolesterolemia, dislipidemia, diabetes dan obesitas.
3. Jenis pangan yang berasal dari buah-buahan seperti manggis yang memiliki senyawa bioaktif yaitu Xanton. Potensi dan manfaat untuk kesehatan yaitu sebagai antioksidan, antiinflamasi dan antikarsinogenik. Delima memiliki senyawa bioaktif yaitu antosianin, katekin, tannin, asam galat. Potensi dan manfaat untuk kesehatan yaitu sebagai antioksidan dan antikanker. Buah-buahan seperti anggur, strawberries, blueberries, blackcurrants yang memiliki senyawa bioaktif anthosianin yang memiliki potensi manfaat dalam kesehatan sebagai antioksidan (Panche et al., 2016).
4. Jenis pangan yang berasal dari sereal adalah beras hitam. Beras hitam memiliki senyawa bioaktif yaitu

antosianin dan orizanol. Potensi dan manfaat untuk kesehatan yaitu sebagai antihiperlipidemia, antihiperglikemia dan pencegahan kanker.

5. Jenis pangan yang berasal dari sereal lainya adalah jagung. Jagung dikenal memiliki nilai gizi yang relatif tinggi. Bahan pangan ini mengandung beragam komponen bioaktif, antara lain serat pangan, asam lemak esensial, isoflavon, zat besi (Fe),  $\beta$ -karoten sebagai provitamin A, asam amino esensial, serta senyawa bermanfaat lainnya (Suarni, 2009). Menurut Departemen Kesehatan (1996), jagung yang telah diolah menjadi tepung memiliki kandungan gizi yang cukup lengkap, meliputi energi sebesar 355 kalori, lemak sekitar 3,9 gram, karbohidrat 73,7 gram, kalsium 10 mg, fosfor 256 mg, zat besi (Fe) 2,4 mg, vitamin A sebesar 510 SI, vitamin B1 0,38 mg, serta kadar air sekitar 12 gram. Selain kaya akan kandungan lemak esensial dan protein jagung juga diketahui memiliki kandungan betacryptoxanthin. Menurut hasil penelitian (Yuan et al., 2003) menjelaskan terjadi penurunan sekitar 15-40% resiko kanker paru-paru pada orang yang mengkonsumsi makanan yang mengandung betacryptoxanthin. Hal ini membuktikan bahwa kandungan yang ada di dalam jagung memiliki sifat fungsional bagi tubuh sehingga jagung bisa dikembangkan sebagai bahan baku pembuatan produk pangan fungsional (Khoerunisa, 2020).

6. Jenis pangan yang berasal dari serealia lainnya adalah sorgum. Sorgum adalah tanaman sereal kelima terpenting di dunia setelah gandum, beras, jagung, dan barley. Sorgum digunakan dalam berbagai jenis makanan. Sorgum putih diolah menjadi tepung dan produk lain, termasuk camilan yang mengembang, kue, dan makanan etnis, dan semakin populer di daerah seperti Jepang (Awika dan Rooney 2004). Nutrisi dalam biji sorgum telah diidentifikasi memiliki potensi untuk mengurangi risiko penyakit jantung koroner, diabetes, insiden tumor, risiko kanker, tekanan darah, mengurangi laju penyerapan kolesterol dan lemak, menunda pengosongan saluran pencernaan, dan mendukung kesehatan saluran pencernaan. Oleh karena itu, konsumsi rutin biji sorgum dan produk olahannya dapat berkontribusi pada peningkatan kesehatan dan pencegahan penyakit (Mathanghi 2012).
7. Rempah yang berpotensi menjadi minuman fungsional menurut Ryadha et al., 2021, seperti kayu secang. Kayu secang memiliki senyawa bioaktif seperti asam galat, tanin, resin, resorsin, brazilin, brazilein, oscimene, minyak atsiri, terpenoid dan flavonoid. Potensi dan manfaat untuk kesehatan yaitu adalah sebagai antioksidan. Jahe memiliki senyawa bioaktif seperti gingerol, zingeron, shogaol. Potensi dan manfaat untuk kesehatan yaitu sebagai antioksidan. Kayu manis memiliki senyawa bioaktif seperti polifenol, minyak atsiri (sinamaldehyda dan eugenol). Potensi dan manfaat untuk kesehatan yaitu sebagai antimikroba, antifungi

dan antioksidan. Cengkeh memiliki senyawa bioaktif eugenol. Potensi dan manfaat untuk kesehatan yaitu sebagai antioksidan. Kunyit memiliki senyawa bioaktif berupa kurkumin. Potensi dan manfaat untuk kesehatan yaitu sebagai antioksidan, antiinflamasi dan antibakteri. Selain itu, temulawak memiliki senyawa bioaktif berupa minyak atsiri dan kurkumin. Potensi dan manfaat untuk kesehatan yaitu sebagai antioksidan.

8. Spirulina merupakan komponen yang bisa ditambahkan pada bahan pangan yang berpotensi sebagai pangan fungsional. Komponen bioaktif yang terdapat pada spirulina adalah klorofil. Klorofil alami terdiri dari klorofil a dan b yang dapat digunakan sebagai bahan tambahan pangan. Salah satu contohnya adalah produk pasta yang ditambahkan spirulina dengan mikroenkapsulasi untuk meningkatkan antioksidan produk (Ebrahim et al., 2023).

## **G. Produk Pangan Fungsional Berasal dari Hewani**

Daging merah dan produk daging, *seafood*, serta produk susu fermentasi termasuk dalam kategori makanan fungsional asal hewan. Daging merah dianggap sebagai makanan fungsional asal hewan. Daging merah dianggap sebagai makanan fungsional karena mengandung nutrisi seperti L-karnitin, taurin, kreatin, dan asam linoleat terkonjugasi. Asam linoleat terkonjugasi melimpah dalam daging dan produk susu hewan ruminansi, memiliki efek

antiaterogenik (Haci, 2022). Beberapa contoh bentuk pangan fungsional yang mengandung bahan-bahan aktif menurut Hardiansyah et al., 2017:

1. Salah satu pangan fungsional asal hewani adalah Produk susu dan turunannya. Produk susu yang dilakukan fermentasi dianggap sebagai pangan fungsional karena mengandung bakteri asam laktat, senyawa bioaktif, dan metabolit. Penelitian telah menunjukkan bahwa produk susu fermentasi memiliki efek hipokolesterolemik, antioksidan, antimikroba, antiaterogenik, anti-karsinogenik, dan antialeagenik (Haci, 2022) contohnya seperti susu dengan penambahan bakteri baik contohnya *Lactobacillus* misalnya yoghurt, kefir, dadih (susu fermentasi asal Sumatera Barat), danke (susu fermentasi dari Enrekang, Sulawesi Selatan) yang kaya akan manfaat untuk kesehatan (Syah, 2022) dan (Pato et al., 2020).
2. Ikan yang dilakukan proses fermentasi dengan *Bacillus*, LAB dan yeast memiliki potensi dan manfaat untuk kesehatan seperti adanya aktivitas antioksidan dan peptida bioaktif (Sawant et al., 2025). Ikan berlemak memiliki efek antiaterogenik, antiinflamasi, anti-hipertensi, antioksidan, antivirus, dan antikarsinogenik karena kandungan tinggi asam docosahexaenoic (DHA) dan polisakarida (Haci, 2022).
3. Makanan laut merupakan pangan fungsional yang kaya akan antioksidan, asam lemak omega-3. Dan senyawa bioaktif lainnya. Asam lemak omega-3 yang terdapa

pada ikan seperti tuna, salmon, makarel dan sarden merupakan salah satu pangan fungsional terpenting yang berasal dari hewan. Studi menunjukkan bahwa asam lemak omega-3 memperkuat sistem kekebalan tubuh, mengurangi risiko kanker, diabetes, dan penyakit kardiovaskuler, memperlambat penurunan kognitif terkait usia, serta meredakan gejala klinis penyakit dermatologis, alergi dan lain (Haci, 2022).

4. Madu adalah *superfood* yang telah lama ada, selain sebagai bahan makanan dan pemanis alami, madu dikonsumsi oleh manusia sebagai pangan fungsional karena efek antioksidan, antiinflamasi, antimikroba, antitumor dan antimutageniknya. Madu merupakan pangan fungsional yang merujuk pada “Pangan yang memiliki efek potensial bagi kesehatan ketika dikonsumsi sebagai bagian dari asupan yang bervariasi secara teratur pada tingkat yang efektif”. Madu termasuk dalam kategori pangan fungsional dimana produksi alaminya belum mengalami modifikasi (Hasler, 2002).

## DAFTAR PUSTAKA

- Abuajah, C.I., Ogbonna, A.C. and Osuji, C.M. (2015). Functional components and medicinal properties of food: a review, *Journal of Food Science and Technology*, 52, 2522–2529.
- Alizadeh Behbahani, B., Jooyandeh, H., Taki, M. and Falah, F. (2024). Evaluation of the probiotic, anti-bacterial, anti-biofilm, and safety properties of *Lacticaseibacillus paracasei* B31-2. *LWT*, 207, 116676.
- Alongi, M. and Anese, M. (2021). Re-thinking functional food development through a holistic approach. *Journal of Functional Foods*, (81), 104466.
- Awika JM, Rooney LW (2004) Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry* 65:1199–1221.
- Bahaciu, G.V., Nicolae, C.G., Şuler, A.D. and Segal, R. (2018). Germinated and lactic fermented soybean seeds, a natural alternative for healthy bones: a scientific approach, *Bulletin UASVM Food Science and Technology*, 75, 8.
- Baihaqi, B., Dahlan, A., Hakim, S., Fridayati, D., Nugrawati, A.L. and Suci, I.A. (2024). Karakterisasi fisiko kimia pliek u khas Aceh pada tahap akhir fermentasi', *Jurnal Agrosains Universitas Panca Bhakti*, 17(2), 70–76.



- Bock, H.-J., Lee, H.-W., Lee, N.-K. and Paik, H.-D. (2024). Probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* KU210152 and its fermented soy milk attenuates oxidative stress in neuroblastoma cells, *Food Research International*, 177, 113868.
- Bortolini, D.G., Maciel, G.M., Fernandes, I.D.A.A., Pedro, A.C., Rubio, F.T.V., Branco, I.G. and Haminiuk, C.W.I. (2022). Functional properties of bioactive compounds from *Spirulina* spp.: current status and future trends, *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 5, 100134.
- Campbell-Platt, G. (1994). Fermented food – a world perspective, *Food Research International*, 27, 253–257.
- Castro-López, C., Romero-Luna, H.E., García, H.S., Vallejo-Cordoba, B., González-Córdova, A.F. and Hernández-Mendoza, A. (2023). Key stress response mechanisms of probiotics during their journey through the digestive system: a review, *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 15, pp. 1250–1270.
- Departemen Kesehatan. (1996). *Daftar Komposisi Bahan Makanan*. Jakarta: Bhratara Karya Aksara.
- Dinçay, A.A. (2020). Risks and benefits of functional foods: an overview, *Bulletin of Biotechnology*, 1(2). 56–64.
- Ebrahimi, P., Shokramraji, Z., Tavakkoli, S., Mihaylova, D. and Lante, A. (2023). Chlorophylls as natural bioactive compounds existing in food by-products: a critical

review, Plants, 12(7), 1533.  
<https://doi.org/10.3390/plants12071533>

Echresh, S., Alizadeh Behbahani, B., Falah, F., Noshad, M. and Ibrahim, S.A. (2024). Assessment of the probiotic, anti-bacterial, and anti-biofilm characteristics of *Lactocaseibacillus rhamnosus* CWKu-12, LWT, 203, 116391.

Essa, M.M., Bishir, M., Bhat, A., Chidambaram, S.B., Al-Balushi, B., Hamdan, H., Govindarajan, N., Freidland, R.P. and Qoronfleh, M.W. (2023). Functional foods and their impact on health, Journal of Food Science and Technology, 60(3),820–834.  
<https://doi.org/10.1007/s13197-021-05193-3>

Ghoshal, G. (2018). Biotechnology in food processing and preservation: an overview, in Advance in Biotechnology for Food Industry. Academic Press, Chapter 1.

Goldberg, I. (1994). Introduction Functional foods: designer foods, pharmafoods, nutraceuticals. London: Chapman and Hall. 3–16.

Guaadaoui A, Benaicha S, Elmajdoub N, Bellaoui M, Hamal A (2014) What is a bioactive compound? A combined definition for a preliminary consensus. Int J Nutr Food Sci 3(3):174–179.

Güven, A. and Gülmez, M. (2006). Fonksiyonel gıdalar ve sağlıkla ilişkisi', Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 12(1). 91–96.

- Haci, A. (2022). Functional foods and nutraceuticals: bioactive compounds. Livre De Lyon.
- Han, K., Bose, S., Wang, J., Kim, B., Kim, M.J., Kim, E. and Kim, H. (2015). Contrasting effects of fresh and fermented kimchi consumption on gut microbiota composition, *Molecular Nutrition & Food Research*, 59. 1004–1008.
- Hasler CM (2002) Functional foods: benefits, concerns and challenges—a position paper from the American council on science and health. *J Nutr* 132(12):3772–3781.
- Kaur, S. and Das, M. (2011). Functional foods: an overview, *Food Science and Biotechnology*, 20(4). 861–875.
- Khalighi A, Behdani R, Kouhestani S (2016) Probiotics: a comprehensive review of their classification, mode of action and role in human nutrition. InTech Publishers, Rijeka, 19–39
- Khoerunisa, T.K. (2019). Pengembangan produk pangan fungsional di Indonesia berbasis bahan pangan lokal unggulan, *Indonesian Journal of Agricultural and Food Research*, 2(1). 49–59.
- Kok, C.R. and Hutkins, R. (2018) ‘Yogurt and other fermented foods as sources of health-promoting bacteria’, *Nutrition Reviews*, 76, pp. 4–15.
- Lee, Y.K. and Salminen, S. (2009) *Handbook of probiotics and prebiotics*. 2nd edn. Hoboken, NJ: Wiley.

- Lordan S, Stanton C, Ross RP (2011) Marine bioactives as functional food ingredients: potential to reduce the incidence of chronic disease. *Mar Drugs* 9:1056–1100
- Liu, Y., Shi, C., Li, D., Chen, X., Li, J., Zhang, Y., Yuan, H., Li, Y. and Lu, F. (2019). Engineering a highly efficient expression system, *International Journal of Biological Macromolecules*, 138. 903–911.
- Mahajan, M. and Rishi, M. (2016). Functional foods and nutraceuticals: an overview, *Research & Reviews in Biotechnology & Biosciences*, 3(1). 1–11.
- Marco, M.L., Heeney, D., Binda, S. et al. (2017). Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond, *Current Opinion in Biotechnology*, 44. 94–102.
- Marsono, Y. (2008). Prospek pengembangan makanan fungsional, *Jurnal Teknologi Pangan dan Gizi*, 7(1). 19–27.
- Mathanghi SK (2012, May–August) Nutraceutical properties of Great Millet- *Sorghum vulgare*. *Int J Food Agric Veter Sci* 2(2):40–45
- Mitchell, K. and Thompson, P. (2022). Biotechnology in the production of functional foods and nutraceuticals, *American Journal of Biomedical Engineering*, 3(1), pp. 1–12.
- Munarso, S.J. and Mulyawanti, I. (2019). Bringing local food to global market: a food technology perspective, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*,

309. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/309/1/012002>

Panche, A.N., Diwan, A.D. and Chandra, S.R. (2016). Flavonoids: an overview, *Journal of Nutritional Science*, 5, e47. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>

Rekha, C.R. and Vijayalakshmi, G. (2010). Bioconversion of isoflavone glycosides, *Journal of Applied Microbiology*, 109, pp. 1198–1208.

Ryadha, R., Aulia, N. and Batara, A. (2021). Potensi rempah-rempah sebagai minuman fungsional, *Jurnal ABDI*, 3, 30–42.

Salazar, N., Prieto, A., Leal, J.A. et al. (2009). Production of exopolysaccharides, *Journal of Dairy Science*, 92(9), 4158–4168.

Sawant, S.S., Park, H.-Y., Sim, E.-Y., Kim, H.-S. and Choi, H.-S. (2025) Microbial fermentation in food, *Fermentation*, 11, 15.

Seppo, L., Jauhiainen, T., Poussa, T. and Korpela, R. (2003). A fermented milk high in bioactive peptides, *American Journal of Clinical Nutrition*, 77(2), 326–330.

Shah, N.P. (2005). Fermented functional foods: an overview, in *Proceedings of the Second International Conference on Fermented Foods*. Gujarat, India, pp. 1–6.

Shah, N.P. (2014). Functional cultures, *International Dairy Journal*, 36, pp. 1–8.

- Sharma, R., Garg, P., Kumar, P., Bhatia, S.K. and Kulshrestha, S. (2020). Microbial fermentation and its role, *Fermentation*, 6(4). 1–20.
- Steinkraus, K.H. (1996) *Handbook of Indigenous Fermented Foods*. New York: Marcel Dekker.
- Suarni (2009). Komposisi nutrisi jagung menuju hidup sehat, *Prosiding Seminar Nasional Serelia*. 60–68.
- Veiga, P., Pons, N., Agrawal, A. et al. (2014). Changes of the human gut microbiome, *Scientific Reports*, 4, 6328.
- Victoria Obayomi, O., Folakemi Olaniran, A. and Olugbemiga Owa, S. (2024). Unveiling the role of functional foods, *Journal of Functional Foods*, 119, 106337.
- Vignesh, A., Amal, T.C., Sarvalingam, A. and Vasanth, K. (2024). Influence of nutraceuticals and functional foods, *Food Chemistry Advances*, 5, 100749.
- Wang, H., Cao, L., Li, Q. et al. (2022). Overexpressing GRE3 in *Saccharomyces cerevisiae*, *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1085114>
- Wang, M., Shi, Z., Gao, N. et al. (2023). Sustainable microbial production of plant hemoglobin, *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 16(1), pp. 1–14.
- Xia, Y., Gong, Y., Lin, X. et al. (2024). *Lactobacillus plantarum* AR113 attenuates liver injury, *Food Science and Human Wellness*, 13(2), pp. 885–897.
- Zheng, Y., Zhang, S., Zhang, T. et al. (2024). A *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* strain that can suppress

*Helicobacter pylori*, Letters in Applied Microbiology,  
77, ovae005.

# **BAB 12**

## **GMO DAN REGULASI KEAMANAN HAYATI**

**Oleh: Asepto Edi Saputro, S.T.P., M.Sc.**

### **A. Pendahuluan**

Perkembangan *Genetically Modified Organisms* (GMO) tidak dapat dipisahkan dari kemajuan ilmu bioteknologi modern, khususnya genetika molekuler dan rekayasa DNA. Tantangan global berupa pertumbuhan penduduk, keterbatasan sumber daya alam, perubahan iklim, serta meningkatnya kebutuhan akan pangan bergizi telah mendorong pencarian solusi inovatif di bidang produksi pangan (FAO, 2011). Sebelum berkembangnya rekayasa genetika, perbaikan sifat organisme dilakukan melalui pemuliaan konvensional, seperti persilangan dan seleksi. Metode tersebut bersifat tidak spesifik dan memerlukan waktu yang relatif lama. Dengan ditemukannya teknologi DNA rekombinan pada akhir abad ke-20, perubahan sifat organisme dapat dilakukan secara lebih presisi dengan memasukkan gen tertentu yang diinginkan (Smith, 2009). GMO dikembangkan untuk menghasilkan organisme dengan sifat unggul, seperti peningkatan hasil, ketahanan terhadap hama dan penyakit, toleransi terhadap kondisi lingkungan ekstrem, serta perbaikan kualitas nutrisi. Dalam konteks teknologi pangan, GMO berperan penting baik pada tahap



produksi bahan baku maupun dalam proses pengolahan dan formulasi produk pangan modern.

Ketahanan pangan merupakan konsep multidimensi yang mencakup ketersediaan, akses, pemanfaatan, dan stabilitas pangan. GMO telah terbukti berkontribusi dalam meningkatkan produktivitas pertanian melalui pengembangan tanaman transgenik yang tahan hama, penyakit, dan herbisida, sehingga dapat mengurangi kehilangan hasil panen dan meningkatkan efisiensi produksi (James, 2016). Selain kuantitas, aspek kualitas pangan juga menjadi perhatian utama. GMO memungkinkan peningkatan kandungan zat gizi tertentu, seperti vitamin, mineral, dan asam lemak esensial, yang berperan penting dalam pencegahan defisiensi gizi. Contohnya tanaman yang dimodifikasi untuk meningkatkan kandungan mikronutrien sebagai bagian dari strategi biofortifikasi (WHO, 2014). Dalam industri pangan fungsional, GMO dimanfaatkan dalam produksi enzim, kultur starter, probiotik, dan senyawa bioaktif lain yang memiliki fungsi fisiologis bagi kesehatan. Peran ini menjadikan GMO sebagai komponen penting dalam pengembangan pangan yang tidak hanya memenuhi kebutuhan energi, tetapi juga mendukung kesehatan dan kesejahteraan konsumen.

Teknologi pangan modern menekankan efisiensi, keamanan, keberlanjutan, serta peningkatan nilai tambah produk pangan. GMO berperan penting dalam menyediakan bahan baku dengan karakteristik yang konsisten dan unggul, serta mikroorganisme industri dengan kemampuan

produksi yang lebih tinggi dan stabil (Ricroch et al., 2011). Dalam bidang nutrasetikal, GMO memungkinkan produksi senyawa bioaktif seperti vitamin, asam amino, peptida bioaktif, dan antioksidan secara lebih efisien dan terkontrol. Mikroorganisme hasil rekayasa genetika banyak digunakan dalam produksi bahan aktif yang berfungsi mendukung kesehatan, mencegah penyakit degeneratif, dan meningkatkan kualitas hidup (Sharma et al., 2016). Dengan demikian, GMO memiliki relevansi yang sangat kuat dengan perkembangan teknologi pangan dan nutrasetikal, terutama dalam menjawab kebutuhan masyarakat modern akan pangan yang aman, bergizi, dan memiliki manfaat kesehatan tambahan.

## **B. Konsep Dasar GMO**

*Food and Agriculture Organization* (FAO) mendefinisikan GMO sebagai organisme yang materi genetiknya telah diubah dengan cara yang tidak terjadi secara alami melalui perkawinan atau rekombinasi alami, melainkan melalui teknik bioteknologi modern (FAO, 2011). *World Health Organization* (WHO) menyatakan bahwa GMO adalah organisme yang DNA-nya telah dimodifikasi menggunakan teknologi rekayasa genetika untuk memperoleh sifat tertentu yang diinginkan (WHO, 2014). WHO juga menekankan pentingnya evaluasi keamanan pangan berbasis GMO sebelum dikonsumsi manusia. Di Indonesia, GMO dikenal dengan istilah Organisme Hasil Rekayasa Genetik (OHRG). Istilah ini digunakan dalam peraturan perundang-undangan nasional untuk menegaskan bahwa

organisme tersebut dihasilkan melalui intervensi teknologi genetika modern.

## **1. Pengertian dan Prinsip Dasar Rekayasa Genetika**

Rekayasa genetika merupakan seperangkat teknik bioteknologi yang digunakan untuk memodifikasi materi genetik suatu organisme secara langsung dan terarah. Dalam konteks GMO, rekayasa genetika dilakukan dengan mengubah susunan DNA organisme melalui penyisipan, penghapusan, atau modifikasi gen tertentu guna memperoleh sifat yang diinginkan (Brown, 2016). Prinsip dasar rekayasa genetika meliputi identifikasi gen target, isolasi gen tersebut, penyisipan ke dalam vektor (seperti plasmid), transfer gen ke organisme inang, serta seleksi dan ekspresi gen hasil modifikasi. Teknik ini memungkinkan perpindahan gen lintas spesies yang secara alami tidak dapat terjadi melalui perkawinan konvensional (Watson et al., 2014). Dalam teknologi pangan, rekayasa genetika digunakan untuk menghasilkan organisme dengan performa produksi yang lebih baik, kualitas gizi yang ditingkatkan, serta stabilitas sifat yang konsisten selama proses produksi dan pengolahan.

## **2. Perbedaan GMO, *Gene Editing*, dan Bioteknologi Konvensional**

Bioteknologi konvensional mencakup teknik tradisional seperti fermentasi, seleksi, dan pemuliaan melalui persilangan alami. Metode ini telah lama digunakan dalam produksi pangan, namun memiliki keterbatasan dalam hal presisi dan waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh sifat

unggul (Singh, 2017). GMO merupakan hasil rekayasa genetika yang melibatkan penyisipan gen asing atau modifikasi genetik menggunakan teknologi DNA rekombinan. Proses ini menghasilkan perubahan genetik yang relatif stabil dan dapat diwariskan ke generasi berikutnya (FAO, 2011). Sementara itu, *gene editing* adalah teknik bioteknologi modern yang memungkinkan perubahan spesifik pada urutan DNA tanpa selalu melibatkan penyisipan gen asing. Teknologi seperti CRISPR-Cas9 memungkinkan pemotongan dan perbaikan DNA secara sangat presisi, sehingga menghasilkan perubahan yang menyerupai mutasi alami namun dilakukan secara terkontrol (Doudna & Charpentier, 2014). Perbedaan utama ketiga pendekatan tersebut terletak pada tingkat presisi, sumber gen, serta implikasi regulasi dan penerimaan publik. *Gene editing* sering dianggap sebagai pendekatan yang lebih presisi dibandingkan GMO transgenik, sementara bioteknologi konvensional bersifat kurang terarah.

### **3. Jenis Produk GMO**

Produk GMO dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis organisme yang dimodifikasi. Tanaman GMO merupakan kategori yang paling banyak dikembangkan dan dimanfaatkan secara komersial. Contohnya meliputi tanaman yang tahan hama, toleran herbisida, atau memiliki kandungan gizi yang ditingkatkan (James, 2016). Mikroba GMO banyak digunakan dalam industri pangan dan bioteknologi, khususnya dalam produksi enzim, asam organik, vitamin, dan senyawa bioaktif. Mikroorganisme

hasil rekayasa genetika memiliki keunggulan dalam efisiensi produksi dan konsistensi kualitas produk (Sharma et al., 2016). Hewan GMO dikembangkan untuk tujuan tertentu, seperti peningkatan efisiensi pertumbuhan, kualitas produk hewani, atau sebagai model penelitian. Dalam konteks pangan, penerapan hewan GMO masih terbatas dan memerlukan evaluasi keamanan serta etika yang ketat.

#### **4. Tujuan Modifikasi Gen**

Tujuan utama modifikasi gen pada GMO adalah meningkatkan ketahanan organisme terhadap faktor biotik dan abiotik, seperti hama, penyakit, kekeringan, dan salinitas. Resistensi ini berkontribusi pada peningkatan hasil dan stabilitas produksi pangan (FAO, 2011). Selain itu, modifikasi gen juga ditujukan untuk meningkatkan nilai nutrisi pangan, misalnya dengan meningkatkan kandungan vitamin, mineral, atau asam lemak esensial. Strategi ini mendukung upaya perbaikan status gizi masyarakat melalui pendekatan biofortifikasi (WHO, 2014). Dari aspek kualitas, GMO dikembangkan untuk memperbaiki sifat sensoris, tekstur, umur simpan, serta karakteristik fungsional bahan pangan. Modifikasi gen juga dapat meningkatkan stabilitas produk selama proses pengolahan dan penyimpanan, sehingga mengurangi kehilangan mutu dan pemborosan pangan. Dengan berbagai tujuan tersebut, GMO menjadi salah satu instrumen penting dalam pengembangan sistem pangan modern yang efisien, berkualitas, dan berkelanjutan.

## **C. Teknologi Rekayasa Genetika**

### **1. Proses Pembuatan GMO**

Pembuatan GMO melibatkan serangkaian tahapan sistematis yang dirancang untuk menghasilkan organisme dengan sifat genetik baru yang stabil dan dapat diwariskan. Setiap tahapan memerlukan pendekatan molekuler dan bioteknologi yang presisi untuk memastikan keberhasilan modifikasi genetik serta keamanan produk akhir (Brown, 2016).

Tahap awal dalam pembuatan GMO adalah identifikasi gen target yang bertanggung jawab terhadap sifat tertentu, seperti ketahanan terhadap hama, toleransi terhadap stres lingkungan, atau peningkatan kandungan nutrisi. Identifikasi gen dilakukan melalui pendekatan genomik, transkriptomik, dan bioinformatika untuk memahami fungsi gen serta pola ekspresinya (Watson et al., 2014). Pemilihan gen target yang tepat sangat menentukan keberhasilan modifikasi, karena gen tersebut harus mampu diekspresikan secara stabil dalam organisme inang tanpa menimbulkan efek yang tidak diinginkan.

Setelah gen target diidentifikasi, gen tersebut diisolasi dari organisme donor menggunakan teknik biologi molekuler, seperti PCR dan pemotongan DNA dengan enzim restriksi. Gen yang telah diisolasi kemudian dikloning ke dalam vektor, umumnya berupa plasmid, yang berfungsi sebagai pembawa gen ke dalam sel inang (Brown, 2016). Pada tahap ini, elemen pengatur seperti promotor dan

terminator juga ditambahkan untuk memastikan ekspresi gen berlangsung secara efektif dan terkontrol. Transfer gen merupakan tahap kunci dalam rekayasa genetika, yaitu memasukkan gen target ke dalam genom organisme inang.

Setelah proses transfer gen, sel atau jaringan tanaman yang telah dimodifikasi diregenerasikan menjadi tanaman utuh melalui teknik kultur jaringan. Proses ini melibatkan pembentukan kalus, diferensiasi jaringan, dan aklimatisasi tanaman hasil transformasi (George et al., 2008). Tanaman transgenik yang dihasilkan kemudian diuji untuk memastikan integrasi gen, tingkat ekspresi gen, serta kestabilan sifat yang diwariskan ke generasi berikutnya.

## **2. Teknik *Emerging*: CRISPR, Base Editing, Prime Editing**

Perkembangan teknologi rekayasa genetika telah melahirkan teknik-teknik baru yang menawarkan tingkat presisi dan efisiensi lebih tinggi dibandingkan metode konvensional. Sistem CRISPR-Cas merupakan teknologi *gene editing* yang paling banyak digunakan saat ini karena kesederhanaan, fleksibilitas, dan efisiensinya. Teknologi ini memungkinkan modifikasi gen tanpa perlu memasukkan gen asing secara permanen, sehingga berpotensi meningkatkan penerimaan publik dan mempermudah aspek regulasi (Hsu et al., 2014). Sementara itu, *base editing* merupakan pengembangan dari CRISPR yang memungkinkan perubahan satu basa DNA menjadi basa lain tanpa memotong untai DNA secara keseluruhan. Teknik ini sangat berguna untuk memperbaiki *point mutation* dan

mengurangi risiko kerusakan genom yang tidak diinginkan (Komor et al., 2016). Disisi lain, *prime editing* merupakan teknik rekayasa genetika generasi terbaru yang memungkinkan berbagai jenis perubahan genetik, termasuk substitusi, insersi, dan delesi kecil, dengan tingkat presisi yang sangat tinggi. Teknologi ini menggunakan enzim Cas yang dimodifikasi dan RNA pemandu khusus untuk menulis ulang urutan DNA target (Anzalone et al., 2019). Teknik emerging ini membuka peluang besar dalam pengembangan GMO generasi baru yang lebih aman, presisi, dan sesuai dengan kebutuhan teknologi pangan dan nutrasetikal modern.

## **D. Aplikasi GMO dalam Pangan Fungsional dan Nutrasetikal**

Penerapan GMO dalam pangan fungsional dan nutrasetikal bertujuan untuk meningkatkan nilai gizi, fungsi fisiologis, serta manfaat kesehatan pangan di luar fungsi nutrisi dasarnya. Teknologi rekayasa genetika memungkinkan pengembangan pangan dengan kandungan senyawa bioaktif yang lebih tinggi, komposisi nutrisi yang diperbaiki, serta pengurangan komponen yang berpotensi merugikan kesehatan (Ricroch et al., 2011).

### **1. Biofortifikasi**

Biofortifikasi merupakan strategi peningkatan kandungan mikronutrien dalam bahan pangan melalui pendekatan bioteknologi, termasuk rekayasa genetika. GMO berperan penting dalam biofortifikasi karena memungkinkan



peningkatan kandungan nutrisi spesifik secara terarah dan stabil. Contoh paling dikenal adalah peningkatan vitamin A melalui akumulasi  $\beta$ -karoten pada tanaman pangan, yang dikembangkan untuk mengatasi defisiensi vitamin A di negara berkembang. Selain itu, rekayasa genetika juga digunakan untuk meningkatkan kandungan zat besi (Fe) dan zink (Zn) dengan memodifikasi jalur metabolisme dan penyimpanan mineral dalam jaringan tanaman (Bouis & Saltzman, 2017). Pendekatan biofortifikasi berbasis GMO dinilai efektif dalam mendukung kesehatan masyarakat karena menyediakan sumber mikronutrien langsung dari pangan pokok yang dikonsumsi sehari-hari.

## **2. Produksi Senyawa Bioaktif**

Senyawa bioaktif seperti antioksidan, flavonoid, dan antosianin memiliki peran penting dalam pencegahan penyakit degeneratif, termasuk penyakit kardiovaskular dan kanker. Rekayasa genetika memungkinkan peningkatan biosintesis senyawa-senyawa tersebut melalui manipulasi jalur metabolisme sekunder tanaman (Sharma et al., 2016). Tanaman GMO dapat dirancang untuk mengekspresikan enzim kunci dalam jalur biosintesis fenolik, sehingga menghasilkan akumulasi senyawa bioaktif dalam jumlah yang lebih tinggi dibandingkan varietas konvensional. Peningkatan kandungan antioksidan ini menjadikan bahan pangan hasil GMO sebagai kandidat utama dalam pengembangan pangan fungsional dan nutrasetikal.

### **3. Modifikasi Profil Lemak**

Modifikasi profil asam lemak merupakan aplikasi penting GMO dalam meningkatkan kualitas gizi pangan. Salah satu contoh utama adalah pengembangan tanaman kedelai yang diperkaya asam lemak omega-3, khususnya asam alfa-linolenat dan asam eikosapentaenoat (EPA). Melalui rekayasa genetika, jalur biosintesis asam lemak dapat dimodifikasi untuk meningkatkan proporsi asam lemak tidak jenuh yang bermanfaat bagi kesehatan jantung dan metabolisme lipid (Ruiz-Lopez et al., 2014). Produk ini berpotensi menggantikan sumber omega-3 dari ikan, sekaligus mendukung keberlanjutan sumber pangan berbasis nabati.

### **4. Pengurangan Antinutrisi**

Antinutrisi merupakan senyawa alami dalam bahan pangan yang dapat menghambat penyerapan zat gizi atau menimbulkan efek negatif jika dikonsumsi dalam jumlah berlebih. Contoh antinutrisi yang umum adalah fitat pada sereal dan kacang-kacangan serta solanin pada kentang. Melalui rekayasa genetika, kadar antinutrisi dapat dikurangi dengan menonaktifkan gen yang terlibat dalam biosintesis senyawa tersebut atau meningkatkan ekspresi enzim yang berperan dalam degradasinya. Pengurangan antinutrisi ini meningkatkan ketersediaan hayati mineral dan keamanan pangan, sehingga mendukung pengembangan pangan fungsional yang lebih sehat (Garg et al., 2018).

## **5. Mikroba GMO untuk Produksi Probiotik**

Mikroorganisme hasil rekayasa genetika banyak dimanfaatkan dalam industri pangan fungsional dan nutrasetikal, terutama dalam pengembangan probiotik. Mikroba GMO dapat dirancang untuk menghasilkan senyawa bioaktif tertentu, meningkatkan ketahanan terhadap kondisi saluran pencernaan, atau memberikan efek kesehatan spesifik bagi inang (Marco et al., 2017). Probiotik rekayasa memiliki potensi besar dalam aplikasi nutrasetikal, seperti modulasi sistem imun, produksi vitamin *in situ*, dan pencegahan penyakit berbasis mikrobiota. Meskipun demikian, penggunaan mikroba GMO dalam pangan memerlukan evaluasi keamanan yang ketat serta regulasi yang jelas untuk memastikan keselamatan konsumen.

## **E. Manfaat dan Risiko GMO**

Pengembangan dan pemanfaatan GMO dalam sistem pangan modern menawarkan berbagai manfaat strategis, khususnya dalam peningkatan nilai gizi, ketahanan pangan, dan keberlanjutan produksi. Namun demikian, penerapan GMO juga menimbulkan sejumlah risiko potensial serta isu sosial, lingkungan, dan etika yang perlu dikaji secara komprehensif dan berbasis ilmiah (FAO, 2011).

### **1. Manfaat GMO**

Salah satu manfaat utama GMO adalah kemampuannya dalam meningkatkan kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif pada bahan pangan. Melalui rekayasa genetika,

tanaman dapat diperkaya dengan vitamin, mineral, dan senyawa fungsional yang berkontribusi pada pencegahan penyakit dan peningkatan kesehatan (Bouis & Saltzman, 2017). Dalam konteks nutrasetikal, GMO berperan penting dalam menghasilkan pangan yang tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi, tetapi juga memiliki efek fisiologis yang menguntungkan, sehingga mendukung konsep pangan sebagai bagian dari strategi kesehatan preventif.

GMO yang dirancang tahan terhadap hama dan penyakit mampu mengurangi kerugian hasil panen serta menurunkan ketergantungan terhadap pestisida kimia. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi, tetapi juga berpotensi mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan petani (James, 2016). GMO memungkinkan pengembangan tanaman yang toleran terhadap kondisi lingkungan ekstrem, seperti kekeringan dan salinitas. Ketahanan ini mendukung stabilitas produksi pangan di tengah perubahan iklim dan keterbatasan sumber daya alam, sehingga berkontribusi terhadap keberlanjutan sistem pangan global (FAO, 2011).

## **2. Risiko GMO**

Salah satu kekhawatiran utama terkait GMO adalah potensi munculnya toksisitas atau alergenitas akibat ekspresi protein baru. Meskipun hingga saat ini belum ditemukan bukti ilmiah yang konsisten bahwa pangan GMO yang telah disetujui menimbulkan risiko kesehatan yang lebih tinggi dibandingkan pangan konvensional, hipotesis ini tetap menjadi dasar penting dalam evaluasi keamanan pangan

GMO (WHO, 2014). Oleh karena itu, setiap produk GMO diwajibkan melalui uji keamanan yang ketat sebelum dilepas ke pasar.

Penerapan tanaman GMO secara luas dapat memengaruhi keanekaragaman hayati, terutama jika varietas GMO mendominasi sistem pertanian dan menggantikan varietas lokal. Selain itu, penggunaan tanaman tahan herbisida dapat memicu munculnya gulma resisten, yang berdampak pada keseimbangan ekosistem pertanian. *Gene flow*, yaitu perpindahan gen dari tanaman GMO ke kerabat liar melalui penyerbukan silang, merupakan isu lingkungan yang perlu diperhatikan. Perpindahan gen ini berpotensi mengubah karakteristik tanaman liar dan memengaruhi struktur ekosistem, meskipun tingkat dan dampaknya sangat bergantung pada jenis tanaman dan kondisi lingkungan (Ellstrand, 2018).

Pengembangan GMO sering dikaitkan dengan isu ketergantungan petani terhadap benih komersial yang dilindungi hak paten. Kondisi ini dapat memengaruhi kemandirian petani kecil dan struktur ekonomi pertanian, terutama di negara berkembang (Qaim, 2016). Selain aspek ilmiah, penerimaan GMO sangat dipengaruhi oleh persepsi publik, nilai budaya, dan pertimbangan etis. Kekhawatiran terkait keamanan pangan, dampak lingkungan, serta isu intervensi manusia terhadap alam sering menjadi sumber kontroversi. Oleh karena itu, transparansi, edukasi publik, dan komunikasi risiko yang efektif menjadi elemen penting dalam implementasi teknologi GMO (Frewer et al., 2013).

## **F. Kerangka Regulasi Keamanan Hayati Global**

### **1. *Cartagena Protocol on Biosafety***

*Cartagena Protocol on Biosafety* merupakan perjanjian internasional di bawah *Convention on Biological Diversity* yang bertujuan menjamin tingkat perlindungan yang memadai terhadap potensi risiko organisme hasil bioteknologi modern, khususnya *living modified organisms* (LMOs), terhadap keanekaragaman hayati dan kesehatan manusia (CBD, 2000). Protokol ini mulai berlaku secara internasional pada tahun 2003 dan telah diratifikasi oleh sebagian besar negara di dunia.

Prinsip utama dalam Protokol Cartagena adalah prinsip kehati-hatian (*precautionary principle*), yang memungkinkan suatu negara mengambil keputusan pembatasan atau penolakan terhadap impor LMOs meskipun bukti ilmiah mengenai risikonya belum sepenuhnya konklusif (*Secretariat of the CBD*, 2000). Protokol ini juga mengatur mekanisme *Advance Informed Agreement* (AIA) untuk memastikan bahwa negara penerima memperoleh informasi lengkap sebelum menyetujui perpindahan lintas batas LMOs.

### **2. *Codex Alimentarius* dan Keamanan Pangan GMO**

*Codex Alimentarius Commission* yang dibentuk oleh FAO dan WHO mengembangkan pedoman internasional untuk menjamin keamanan pangan, termasuk pangan yang berasal dari bioteknologi modern. Dalam konteks GMO, Codex menekankan bahwa pangan hasil rekayasa genetika harus

dinilai keamanannya berdasarkan pendekatan ilmiah dan analisis risiko yang komprehensif (FAO/WHO, 2003).

Pedoman Codex untuk pangan GMO didasarkan pada konsep *substantial equivalence*, yaitu perbandingan karakteristik komposisi dan keamanan pangan GMO dengan pangan konvensional yang telah terbukti aman dikonsumsi (FAO/WHO, 2009). Aspek yang dinilai meliputi potensi toksisitas, alergenitas, stabilitas genetik, serta perubahan nilai gizi akibat modifikasi genetik.

### **3. Regulasi Keamanan GMO di Berbagai Wilayah**

Regulasi GMO di Amerika Serikat menggunakan pendekatan *product-based* melalui *Coordinated Framework for Regulation of Biotechnology*. Tiga lembaga utama terlibat, yaitu FDA, USDA, dan EPA, yang masing-masing bertanggung jawab atas keamanan pangan, aspek pertanian, dan dampak lingkungan (FDA, 2020). Pendekatan ini menilai risiko berdasarkan karakteristik produk akhir, bukan teknik rekayasa genetika yang digunakan.

Uni Eropa menerapkan sistem regulasi GMO yang ketat dan bersifat *process-based*. Setiap produk GMO wajib melalui penilaian risiko menyeluruh oleh *European Food Safety Authority* (EFSA) sebelum mendapatkan izin edar (EFSA, 2011). Selain itu, Uni Eropa menerapkan kewajiban pelabelan dan *traceability* GMO guna menjamin transparansi dan hak konsumen dalam memilih produk pangan.

Jepang menerapkan sistem penilaian keamanan GMO berbasis sains dengan pendekatan *substantial equivalence*

yang selaras dengan pedoman *Codex Alimentarius* (MHLW, 2018). Sementara itu, Australia dan Selandia Baru melalui *Food Standards Australia New Zealand* (FSANZ) mewajibkan evaluasi pra-pasar yang ketat terhadap seluruh pangan GMO untuk memastikan keamanannya bagi konsumen (FSANZ, 2017).

#### **4. Prinsip Dasar Penilaian Keamanan GMO**

Secara global, penilaian keamanan GMO mengikuti prinsip ilmiah yang seragam dan diakui secara internasional. Prinsip-prinsip tersebut meliputi uji toksisitas, untuk mengidentifikasi potensi efek toksik dari protein atau senyawa baru yang dihasilkan (FAO/WHO, 2003). Uji alergenisitas, untuk mengevaluasi kemungkinan protein baru memicu reaksi alergi pada manusia (*Codex Alimentarius Commission*, 2009). Stabilitas genetik, guna memastikan bahwa modifikasi genetik bersifat stabil dan tidak mengalami perubahan tak terduga (OECD, 2010). Dampak lingkungan, termasuk potensi *gene flow*, efek terhadap organisme non-target, dan biodiversitas (EFSA, 2011). Pendekatan ini bertujuan memastikan bahwa pangan GMO yang dilepas ke pasar memiliki tingkat keamanan yang setara dengan pangan konvensional.

### **G. Regulasi Keamanan Hayati di Indonesia**

#### **1. Istilah Produk Rekayasa Genetika (PRG)**

Dalam sistem regulasi di Indonesia, produk hasil rekayasa genetika secara resmi disebut sebagai Produk Rekayasa Genetika (PRG). PRG mencakup pangan, pakan, benih,



organisme hidup, maupun produk turunannya yang dihasilkan melalui penerapan bioteknologi modern dengan cara memodifikasi materi genetik suatu organisme secara terarah. Penggunaan istilah PRG dalam peraturan perundang-undangan bertujuan untuk menegaskan bahwa produk tersebut berada dalam sistem pengawasan keamanan hayati, yang mencakup perlindungan terhadap kesehatan manusia, kesehatan hewan, serta kelestarian lingkungan hidup (Republik Indonesia, 2005).

## **2. Lembaga Terkait dalam Pengawasan Keamanan Hayati PRG**

PRG Pengelolaan dan pengawasan PRG di Indonesia dilakukan secara lintas sektor dengan melibatkan beberapa lembaga utama. Keamanan Hayati Produk Rekayasa Genetika (KKH PRG) KKH PRG merupakan komisi independen yang bertugas melakukan penilaian ilmiah dan memberikan rekomendasi terkait keamanan hayati PRG. Penilaian meliputi aspek keamanan pangan, pakan, dan lingkungan berdasarkan hasil uji dan dokumen ilmiah yang diajukan oleh pemohon. Rekomendasi KKH PRG menjadi dasar pengambilan keputusan oleh kementerian atau lembaga terkait (Republik Indonesia, 2005).

Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) BPOM berwenang dalam pengawasan dan pemberian izin edar pangan PRG, khususnya untuk produk pangan olahan. BPOM juga bertanggung jawab terhadap evaluasi keamanan pangan, mutu, serta pengaturan penandaan (*labeling*) produk yang mengandung atau berasal dari PRG (BPOM RI,

2012). Sementara itu, Kementerian Pertanian berperan dalam evaluasi dan perizinan PRG di bidang pertanian, terutama yang berkaitan dengan benih tanaman, tanaman hasil rekayasa genetika, serta pakan ternak. Kementerian ini juga mengatur pelaksanaan uji keamanan hayati di lingkungan pertanian melalui peraturan menteri yang relevan. Di sisi lain, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) berperan dalam pengembangan kajian ilmiah, penelitian pendukung uji keamanan hayati, serta penyediaan basis sains dan teknologi bagi pengambilan kebijakan terkait PRG. BRIN juga mendukung pengembangan kapasitas nasional dalam bidang bioteknologi dan *biosafety*.

### **3. Kerangka Hukum Keamanan Hayati PRG di Indonesia**

Kerangka hukum pengelolaan PRG di Indonesia didasarkan pada beberapa regulasi utama, antara lain Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2005 tentang Keamanan Hayati Produk Rekayasa Genetika merupakan dasar hukum utama yang mengatur pengujian, penilaian, pelepasan, serta peredaran PRG. Peraturan ini menegaskan bahwa setiap PRG wajib melalui uji keamanan pangan, pakan, dan lingkungan sebelum dapat dimanfaatkan atau diedarkan (Republik Indonesia, 2005). Sedangkan menurut Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 tentang Pangan mengatur bahwa pangan PRG yang diproduksi dan diedarkan di Indonesia harus memenuhi persyaratan keamanan, mutu, dan gizi, serta wajib memberikan informasi yang benar dan jelas kepada konsumen. UU ini memperkuat aspek

perlindungan konsumen dalam konteks pangan hasil rekayasa genetika (Republik Indonesia, 2012). Selain itu, Peraturan Menteri Pertanian mengatur tata cara pelaksanaan uji keamanan hayati PRG di bidang pertanian, termasuk uji keamanan lingkungan dan pakan, serta mekanisme pelepasan varietas tanaman PRG. Peraturan BPOM tentang Label GMO menetapkan ketentuan penandaan pangan PRG guna menjamin transparansi dan hak konsumen untuk memperoleh informasi mengenai kandungan PRG dalam produk pangan (BPOM RI, 2012).

#### **4. Tahapan Perizinan Produk Rekayasa Genetika**

Proses perizinan PRG di Indonesia dilakukan secara bertahap dan berbasis kajian ilmiah seperti Uji Keamanan Pangan yang menilai potensi toksisitas, alergenitas, stabilitas genetik, serta kesetaraan substansial PRG dibandingkan dengan produk konvensional. Uji Keamanan Pakan yang mengkaji dampak PRG terhadap kesehatan dan performa hewan ternak yang mengonsumsi produk tersebut. Uji Keamanan Lingkungan menilai potensi dampak PRG terhadap biodiversitas, aliran gen (*gene flow*), organisme non-target, serta keseimbangan ekosistem. Rekomendasi KKH PRG Berdasarkan hasil evaluasi uji keamanan, KKH PRG memberikan rekomendasi keamanan hayati sebagai dasar pengambilan keputusan oleh instansi berwenang. Izin Edar BPOM Untuk PRG sebagai pangan olahan, izin edar diterbitkan oleh BPOM setelah seluruh persyaratan keamanan hayati terpenuhi.

## **5. Penandaan Produk GMO di Indonesia**

Produk pangan yang mengandung, terdiri atas, atau berasal dari PRG wajib mencantumkan keterangan pada label sesuai ketentuan BPOM. Penandaan ini bertujuan untuk memberikan hak informasi kepada konsumen, meningkatkan transparansi produk pangan, serta memperkuat kepercayaan publik terhadap pengelolaan keamanan hayati PRG di Indonesia (BPOM RI, 2012).

## DAFTAR PUSTAKA

- Anzalone, A. V., Randolph, P. B., Davis, J. R., Sousa, A. A., Koblan, L. W., Levy, J. M., Chen, P. J., Wilson, C., Newby, G. A., Raguram, A., & Liu, D. R. (2019). Search-and-replace genome editing without double-strand breaks or donor DNA. *Nature*, 576(7785), 149–157.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia. (2012). Peraturan Kepala BPOM tentang Pengawasan dan Penandaan Pangan Produk Rekayasa Genetika. Jakarta: BPOM RI.
- Bouis, H. E., & Saltzman, A. (2017). Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus. *Global Food Security*, 12, 49–58.
- Brown, T. A. (2016). *Gene Cloning and DNA Analysis: An Introduction*. 7th ed. Oxford: Wiley-Blackwell.
- CBD. (2000). *Cartagena Protocol on Biosafety to the Convention on Biological Diversity*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.
- Codex Alimentarius Commission. (2009). *Foods Derived from Modern Biotechnology*. FAO/WHO, Rome.
- Doudna, J. A., & Charpentier, E. (2014). The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. *Science*, 346(6213), 1258096.

- EFSA. (2011). Guidance for risk assessment of food and feed from genetically modified plants. European Food Safety Authority.
- Ellstrand, N. C. (2018). Crop wild relatives and gene flow. *Crop Science*, 58(2), 1–13.
- FAO. (2011). Guide to Food Safety Assessment of Genetically Modified Foods. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO/WHO. (2003). Guideline for the Conduct of Food Safety Assessment of Foods Derived from Recombinant-DNA Plants (CAC/GL 45-2003). FAO/WHO, Rome.
- FAO/WHO. (2009). Foods Derived from Modern Biotechnology. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Kementerian Pertanian Republik Indonesia. Peraturan Menteri Pertanian tentang Pengujian dan Pelepasan Produk Rekayasa Genetika. Jakarta.
- FDA. (2020). How FDA regulates foods from genetically engineered plants. U.S. Food and Drug Administration.
- Frewer, L. J., van der Lans, I. A., Fischer, A. R. H., Reinders, M. J., Menozzi, D., Zhang, X., van den Berg, I., & Zimmermann, K. L. (2013). Public perceptions of agri-food applications of genetic modification: A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 30(2), 142–152.
- FSANZ. (2017). GM food safety assessment guidelines. Food Standards Australia New Zealand.

- Garg, R., Cheema, J., & Sharma, A. (2018). Reduction of antinutritional factors in crops through genetic engineering. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 27(4), 373–386.
- George, E. F., Hall, M. A., & De Klerk, G.-J. (2008). *Plant Propagation by Tissue Culture*. 3rd ed. Dordrecht: Springer.
- Hsu, P. D., Lander, E. S., & Zhang, F. (2014). Development and applications of CRISPR-Cas9 for genome engineering. *Cell*, 157(6), 1262–1278.
- James, C. (2016). *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops*. Ithaca, NY: ISAAA.
- James, C. (2016). *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops*. Ithaca, NY: ISAAA.
- Komor, A. C., Kim, Y. B., Packer, M. S., Zuris, J. A., & Liu, D. R. (2016). Programmable editing of a target base in genomic DNA without double-stranded DNA cleavage. *Nature*, 533(7603), 420–424.
- Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., Gänzle, M., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E. J., & Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 94–102.
- MHLW. (2018). *Safety assessment of genetically modified foods*. Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan.

- OECD. (2010). Safety Assessment of Genetically Modified Foods. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Qaim, M. (2016). Genetically Modified Crops and Agricultural Development. London: Palgrave Macmillan.
- Republik Indonesia. (2005). Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2005 tentang Keamanan Hayati Produk Rekayasa Genetika. Jakarta.
- Republik Indonesia. (2012). Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 tentang Pangan. Jakarta.
- Ricroch, A. E., Bergé, J. B., & Kuntz, M. (2011). Evaluation of genetically engineered crops using transcriptomic, proteomic, and metabolomic profiling techniques. *Plant Physiology*, 155(4), 1752–1761.
- Ruiz-Lopez, N., Haslam, R. P., Napier, J. A., & Sayanova, O. (2014). Successful high-level accumulation of fish oil omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in a transgenic oilseed crop. *The Plant Journal*, 77(2), 198–208.
- Sharma, R., Garg, P., Kumar, P., Bhatia, S. K., & Kulshrestha, S. (2016). Microbial fermentation and its role in quality improvement of fermented foods. *Biotechnology Research International*, 2016, 1–14.
- Singh, B. D. (2017). *Biotechnology: Expanding Horizons*. 3rd ed. New Delhi: Kalyani Publishers.



- Smith, J. E. (2009). *Biotechnology*. 5th ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Snow, A. A., Andow, D. A., Gepts, P., Hallerman, E. M., Power, A., Tiedje, J. M., & Wolfenbarger, L. L. (2005). Genetically engineered organisms and the environment: Current status and recommendations. *Ecological Applications*, 15(2), 377–404.
- Watson, J. D., Baker, T. A., Bell, S. P., Gann, A., Levine, M., & Losick, R. (2014). *Molecular Biology of the Gene*. 7th ed. Boston: Pearson.
- WHO. (2014). *Frequently Asked Questions on Genetically Modified Foods*. Geneva: World Health Organization.

# **BAB 13**

## **REGULASI DAN STANDARISASI**

### **PANGAN FUNGSIONAL**

**Oleh: Hanifa Bagus, S.T.P., M.Sc.**

#### **A. Pendahuluan**

Perkembangan pangan fungsional dan nutrasetikal tidak dapat dipisahkan dari paradigma Masyarakat terhadap peran pangan dalam Kesehatan. Pada saat ini pangan tidak hanya dipandang sebagai sumber energi dan zat gizi dasar, melainkan sebagai bahan yang digunakan untuk mencegah penyakit tertentu yang berdampak baik bagi Kesehatan. Pergeseran pola konsumsi ini mendorong peningkatan permintaan terhadap produk pangan tertentu yang diklaim memiliki manfaat fungsional tertentu.

Senyawa bioaktif seperti polifenol, serat pangan, probiotik serta senyawa fitokimia lainnya menjadi fokus pengembangan produk pangan fungsional. Berbagai senyawa tersebut diyakini dapat memberikan efek kesehatan yang baik bagi penderita penyakit tidak menular seperti diabetes melitus, penyakit kardiovaskular dan gangguan metabolik lainnya melalui mekanisme antioksidan, modulasi sistem imun, maupun pengaturan metabolisme tubuh (Alkhatib et al., 2017).

Dalam konteks tersebut, istilah pangan fungsional dan nutrasetikal sering digunakan secara berdampingan, meskipun memiliki karakteristik yang berbeda. Pangan fungsional merupakan pangan konvensional atau pangan olahan yang selain dapat memenuhi kebutuhan gizi dasar, juga mengandung komponen bioaktif yang memberikan manfaat fisiologis tambahan atau berkontribusi dalam menjaga Kesehatan dan menurunkan risiko penyakit tertentu. Pangan fungsional dikonsumsi sebagai bagian dari pola makan sehari-hari dalam bentuk pangan biasa, seperti minuman fungsional, produk susu fermentasi, atau pangan tinggi serat tanpa dimaksudkan sebagai terapi medis ((Europe et al., 1999; Weaver & Liebman, 2002). Sebaliknya, nutrasetikal merujuk pada produk yang mengandung komponen bioaktif yang diekstraksi, dimurnikan, atau dikonsentrasikan dari bahan pangan dan dikonsumsi dalam bentuk sediaan non pangan, seperti kapsul, tablet, atau serbuk. Nutrasetikal umumnya berada pada spektrum antara pangan dan obat dengan tujuan utama memberikan efek kesehatan spesifik atau mendukung pencegahan penyakit, sehingga pendekatan regulasinya cenderung lebih ketat dibandingkan pangan fungsional (Hasler, 2002 ;Kalra, 2003).

Secara global, perkembangan pangan fungsional dan nutrasetikal juga dipengaruhi oleh kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi pangan. Hal tersebut meningkatkan inovasi produk yang mengutamakan aspek kesehatan, keamanan, dan kenyamanan konsumsi. Inovasi tersebut biasa dikembangkan dalam bidang bioteknologi,

rekaya proses, serta Teknik enkapsulasi senyawa bioaktif yang memungkinkan peningkatan stabilitas, bioavailabilitas dan efektifitas komponen fungsional dalam produk pangan.

Di Indonesia, tren pengembangan pangan fungsional dan nutrasetikal menunjukkan potensi yang signifikan. Kekayaan biodiversitas Indonesia menyediakan beragam bahan pangan yang mengandung senyawa bioaktif seperti rempah- rempah, buah tropis, dan hasil samping agroindustri. Meningkatnya pemanfaatan bahan lokal ini juga mendukung kemandirian dan kemajuan industri pangan lokal yang berdaya saing di Indonesia.

Namun demikian, perkembangan pesat pangan fungsional dan nutrasetikal tersebut menunjukkan potensi besar pangan sebagai bagian dari strategi peningkatan kesehatan masyarakat. Namun, di balik peluang tersebut, muncul kebutuhan akan pengaturan yang jelas untuk memastikan bahwa produk yang beredar aman, bermutu, dan memberikan informasi yang benar kepada konsumen. Kondisi ini menegaskan pentingnya pemahaman terhadap konsep regulasi dan standarisasi pangan sebagai landasan pengembangan pangan fungsional dan nutrasetikal yang bertanggung jawab.

## **B. Konsep Regulasi dan Standarisasi Pangan**

Seiring dengan berkembangnya pangan fungsional dan nutrasetikal, diperlukan suatu kerangka pengaturan yang mampu memastikan bahwa produk yang beredar aman, bermutu, dan memberikan informasi yang benar kepada

konsumen. Dalam konteks ini, diperlukan regulasi dan standarisasi pangan sebagai instrument pegendalian yang menjadi pedoman dalam pengembangan produk pangan berbasis kesehatan. Tanpa regulasi yang jelas, inovasi pangan fungsional berpotensi menimbulkan risiko, baik dari aspek keamanan maupun dari sisi klaim Kesehatan yang menyesatkan.

Regulasi pangan dapat dipahami sebagai seperangkat aturan hukum yang ditetapkan oleh otoritas berwenang untuk mengatur produk, peredaran, dan konsumsi pangan. Regulasi ini mencakup berbagai aspek, mulai dari persyaratan bahan baku, proses produksi, keamanan pangan, hingga pelabelan dan klaim produk. Dalam konteks pangan fungsional dan nutrasetikal, regulasi berfungsi untuk menetapkan Batasan yang jelas antara pangan, suplemen Kesehatan, dan obat. Sehingga setiap produk diklasifikasikan dan diawasi sesuai dengan Tingkat risikonya.

Sementara itu, standarisasi pangan berkaitan dengan penetapan kriteria teknis yang digunakan sebagai acuan mutu dan keamanan produk. Standar pangan umumnya mencakup parameter fisik, kimia, mikrobiologi, serta persyaratan proses produksi yang harus dipenuhi. Penerapan standar tidak hanya bertujuan untuk melindungi konsumen, tetapi juga untuk menjamin konsistensi mutu produk dan meningkatkan kepercayaan pasar terhadap pangan fungsional dan nutrasetikal yang dihasilkan. Studi sistematis terbaru menegaskan bahwa implementasi sistem

kontrol mutu seperti HACCP, pelatihan keselamatan pangan, serta penegakan regulasi secara konsisten secara signifikan meningkatkan kepatuhan standar dan mengurangi kejadian penyakit bawaan pangan, terutama di negara berpenghasilan rendah dan menengah (Arero Dassie, Dhugassa Girsha and Kalu Beggi, 2025).

Regulasi dan standarisasi merupakan dua aspek yang saling melengkapi. Regulasi memberikan landasan hukum yang bersifat mengikat, sedangkan standar berperan sebagai pedoman teknis yang dapat diterapkan secara operational oleh pelaku usaha. Dalam praktiknya, standar sering kali dijadikan rujukan dalam penyusunan regulasi, sementara regulasi mendorong penerapan standar sebagai bagian dari kewajiban industry pangan. Sinergi antara keduanya menjadi kunci dalam menciptakan system penagawasan pangan yang efektif.

Dalam pengembangan pangan fungsional dan nutrasetikal, konsep regulasi modern tidak hanya berorientasi pada pengendalian risiko, tetapi juga mempertimbangkan dukungan terhadap inovasi. Regulasi yang adaptif diharapkan mampu mengakomodasi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya terkait penemuan senyawa bioaktif baru dan teknologi pengolahan pangan yang inovatif. Dengan demikian, regulasi tidak menjadi hambatan, melainkan kerangka yang mendorong pengembangan produk aman, bermutu, dan berbasis bukti ilmiah.

Pada akhirnya, pemahaman yang komprehensif terhadap konsep regulasi dan standarisasi pangan menjadi fondasi penting sebelum membahas kerangka regulasi yang lebih spesifik, baik di tingkat internasional maupun nasional. Hal ini memungkinkan analisis yang lebih sistematis terhadap bagaimana pangan fungsional dan nutrasetikal diatur, diawasi, dan dikembangkan secara berkelanjutan.

## **C. Kerangka Regulasi Pangan Fungsional dan Nutrasetikal**

### **1. Regulasi Pangan Fungsional dan Nutrasetikal di Tingkat Internasional**

Pengaturan pangan fungsional dan nutrasetikal di tingkat internasional berkembang seiring dengan meningkatnya perdagangan pangan lintas negara dan kebutuhan akan perlindungan konsumen global. Meskipun hingga saat ini belum terdapat definisi tunggal yang disepakati secara universal mengenai pangan fungsional dan nutrasetikal berbagai, berbagai organisasi internasional telah menetapkan prinsip-prinsip umum yang menjadi acuan dalam pengaturan produk produk tersebut.

Codex Alimentarius Commission, yang dibentuk oleh *Food and Agriculture Organization* (FAO) dan *World Health Organization* (WHO), berperan sebagai lembaga utama dalam pengembangan standar pangan internasional. Codex tidak secara spesifik mengatur pangan fungsional sebagai kategori tersendiri, namun menyediakan kerangka regulasi yang relevan melalui standar keamanan pangan, pedoman

pelabelan, serta prinsip klaim kesehatan. Pendekatan ini menekankan bahwa pangan fungsional tetap diperlakukan sebagai pangan, sehingga harus memenuhi persyaratan keamanan dan mutu yang sama dengan pangan konvensional. Disisi lain, Codex Alimentarius Commission juga mengeluarkan *Guidelines For Use Of Nutrition And Health Claim* yang menetapkan bahwa setiap klaim Kesehatan tidak boleh menyesatkan, harus konsisten dengan kebijakan Kesehatan nasional dan mendukung pola konsumsi total diet yang sehat (Martino, 2025). Dalam pedoman Codex, klaim Kesehatan didefinisikan sebagai setiap pernyataan yang menyatakan, meyakini, atau mengindikasikan adanya hubungan antara pangan atau komponennya dengan Kesehatan, termasuk klaim pengurangan risiko penyakit (Codex Alimentarius Commission, 1999) sehingga setiap produk pangan fungsional harus jelas tujuan dan manfaatnya saat dikonsumsi.

Hal tersebut sejalan dengan prinsip FAO dan WHO yang menekankan bahwa klaim kesehatan pada pangan harus didasarkan pada bukti ilmiah yang dapat dipertanggungjawabkan. Klaim tersebut tidak boleh menyesatkan konsumen dan harus disampaikan secara jelas serta proporsional terhadap manfaat yang dapat dibuktikan. Prinsip ini menjadi landasan penting dalam pengembangan regulasi pangan fungsional di berbagai negara, terutama dalam membedakan klaim fungsi, klaim nutrisi, dan klaim kesehatan.



Di beberapa negara dan kawasan, seperti Jepang, Uni Eropa, dan Amerika Serikat, regulasi pangan fungsional berkembang dengan pendekatan yang berbeda namun tetap mengacu pada prinsip umum keamanan dan kebenaran klaim. Jepang dikenal dengan sistem *Foods for Specified Health Uses* (FOSHU), yang mewajibkan evaluasi ilmiah terhadap klaim kesehatan sebelum produk dapat dipasarkan. Uni Eropa menerapkan regulasi klaim nutrisi dan kesehatan yang ketat, dengan daftar klaim yang diizinkan berdasarkan penilaian ilmiah oleh otoritas terkait. Sementara itu, Amerika Serikat mengatur produk serupa melalui pendekatan yang membedakan antara pangan, suplemen makanan, dan obat, dengan penekanan pada tanggung jawab produsen terhadap kebenaran klaim.

Meskipun terdapat perbedaan pendekatan antarnegara, kerangka regulasi internasional pada dasarnya memiliki tujuan yang sama, yaitu melindungi konsumen dari risiko keamanan pangan dan informasi yang menyesatkan, sekaligus menciptakan iklim yang kondusif bagi inovasi produk berbasis kesehatan. Harmonisasi regulasi melalui adopsi prinsip-prinsip internasional menjadi penting untuk memfasilitasi perdagangan pangan fungsional dan nutrasetikal serta meningkatkan daya saing produk di pasar global.

Pemahaman terhadap regulasi internasional ini menjadi landasan penting bagi negara-negara berkembang, termasuk Indonesia, dalam menyusun dan mengimplementasikan regulasi nasional. Dengan mengacu pada

prinsip dan standar internasional, regulasi nasional diharapkan mampu menjamin tingkat perlindungan konsumen yang memadai sekaligus mendukung pengembangan industri pangan fungsional dan nutrasetikal yang berkelanjutan

## **2. Regulasi Pangan Fungsional dan Nutrasetikal di Indonesia**

Di Indonesia, pengaturan pangan fungsional dan nutrasetikal berada di bawah kewenangan Badan Pengawasan Obat dan Makanan (BPOM) sebagai otoritas yang bertanggung jawab dalam pengawasan obat dan pangan. Regulasi nasional disusun dengan mengacu pada prinsip keamanan pangan, perlindungan konsumen, serta harmonisasi dengan standar internasional. Namun demikian, sebagaimana di banyak negara lain, pangan fungsional belum diklasifikasikan sebagai kategori hukum tersendiri melainkan diatur dalam kerangka regulasi pangan olahan dan suplemen Kesehatan.

Pangan fungsional di Indonesia pada umumnya diperlakukan sebagai bagian dari pangan olahan, sepanjang produk tersebut dikonsumsi dalam bentuk pangan konvensional dan tidak diklaim sebagai sarana pengobatan atau pencegahan penyakit. Oleh karena itu, produk pangan fungsional harus memenuhi ketentuan umum terkait keamanan pangan, mutu, dan pelabelan sebagaimana pangan olahan lainnya. Ketentuan ini mencakup persyaratan bahan baku, bahan tambahan pangan, proses

produksi, serta batas cemaran yang ditetapkan untuk menjamin keamanan produk.

Sementara itu, produk yang mengandung komponen bioaktif dalam bentuk terkonsentrasi dan dikonsumsi dalam dosis tertentu, seperti kapsul, tablet, atau serbuk, cenderung dikategorikan sebagai suplemen kesehatan. Klasifikasi ini membawa implikasi regulasi yang berbeda, terutama terkait persyaratan pendaftaran produk, evaluasi keamanan, dan pembatasan klaim. Perbedaan antara pangan olahan dan suplemen kesehatan menjadi aspek penting yang harus dipahami oleh pelaku usaha dalam mengembangkan produk nutrasetikal agar tidak terjadi kesalahan klasifikasi yang dapat berdampak hukum.

Regulasi terkait pangan fungsional dan nutrasetikal di Indonesia dapat kita tinjau dari peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) RI terkait pangan olahan dengan klaim kesehatan dan suplemen, termasuk Peraturan BPOM Nomor 17 Tahun 2025 tentang Pedoman Penilaian Produk Suplemen Kesehatan Mengandung Probiotik, yang menjadi acuan evaluasi keamanan dan mutu produk suplemen berbasis probiotik sebelum izin edar diterbitkan. Selain itu, PerBPOM No. 27/2025 dan PerBPOM No. 26/2025 menetapkan kerangka perizinan berbasis risiko dan kajian risiko bahan baku untuk suplemen kesehatan serta pangan olahan, sementara PerBPOM No. 16/2025 memperluas partisipasi masyarakat dalam pengawasan peredaran sediaan farmasi dan pangan olahan.

Salah satu aspek utama dalam regulasi pangan fungsional dan nutrasetikal di Indonesia adalah pengaturan klaim pada label dan iklan produk. BPOM menetapkan bahwa klaim yang disampaikan harus dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah dan tidak menyesatkan konsumen. Klaim tersebut dibedakan menjadi beberapa jenis, seperti klaim nutrisi dan klaim fungsi, yang masing-masing memiliki persyaratan pembuktian yang berbeda. Klaim yang mengarah pada pencegahan atau pengobatan penyakit tidak diperkenankan untuk produk pangan, karena berada dalam ranah obat.

Selain pengaturan klaim, regulasi nasional juga menekankan pentingnya penerapan sistem jaminan keamanan pangan dalam proses produksi. *Good Manufacturing Practices* adalah pedoman fundamental dalam sistem produksi pangan yang bertujuan mengontrol potensi kontaminasi biologis, kimia, dan fisik serta menjamin praktik produksi yang higienis dan aman bagi konsumen (Riski *et al.*, 2025). Di Indonesia turunan dari penerapan GMP dalam pengolahan produk pangan yakni Penerapan Cara Produksi Pangan Olahan yang Baik (CPPOB). Penerapan CPPOB ini juga diiringi dengan penerapan *Sanitation Standard Operating Procedure* (SSOP) yang mana dua hal tersebut adalah prasyarat bagi sistem keamanan pangan untuk memastikan bahwa produk pangan fungsional dan nutrasetikal diproduksi secara konsisten dan memenuhi standar keamanan yang ditetapkan. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pengawasan berbasis risiko yang

diterapkan oleh BPOM (Candrianto, Mouludi and Sipahutar, 2024).

Dalam beberapa tahun terakhir, regulasi pangan fungsional dan nutrasetikal di Indonesia terus mengalami penyesuaian untuk mengakomodasi perkembangan ilmu pengetahuan dan inovasi produk. Namun, tantangan masih dihadapi, terutama dalam hal interpretasi regulasi, pembuktian ilmiah klaim kesehatan, serta keterbatasan pemahaman pelaku usaha terhadap kerangka hukum yang berlaku. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif terhadap regulasi nasional menjadi faktor kunci dalam pengembangan pangan fungsional dan nutrasetikal yang aman, bermutu, dan berdaya saing.

#### **D. Standar Keamanan dan Mutu**

Standar keamanan dan mutu merupakan elemen fundamental dalam pengembangan dan peredaran pangan fungsional dan nutrasetikal. Hal ini mencakup penerapan *Hazard Analysis and Critical Control Points* (HACCP), *Good Manufacturing Practices* (GMP), serta standar internasional lainnya untuk mengidentifikasi dan memitigasi risiko terkait bahaya pangan dan menjamin konsistensi mutu produk di seluruh rantai pasok global. Produk yang mengandung komponen bioaktif dari bahan pangan tidak hanya dituntut memberikan manfaat kesehatan, tetapi juga harus aman dikonsumsi dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Oleh karena itu, penerapan standar keamanan dan mutu

menjadi prasyarat utama sebelum suatu produk dapat dipasarkan kepada konsumen.

Keamanan pangan fungsional dan nutrasetikal dimulai dari pemilihan bahan baku. Bahan pangan dan komponen bioaktif yang digunakan harus memenuhi persyaratan keamanan, termasuk bebas dari cemaran biologis, kimia, dan fisik. Cemaran mikrobiologis, seperti bakteri patogen, serta cemaran kimia, seperti logam berat, residu pestisida, dan mikotoksin, harus dikendalikan sesuai dengan batas maksimum yang ditetapkan. Pengendalian cemaran ini menjadi semakin penting mengingat beberapa senyawa bioaktif dapat berasal dari bahan alam yang rentan terhadap variasi mutu dan kontaminasi.

Selain aspek keamanan, mutu pangan fungsional dan nutrasetikal juga berkaitan dengan konsistensi kandungan komponen bioaktif. Produk yang diklaim memiliki fungsi tertentu harus mengandung senyawa aktif dalam jumlah yang memadai dan stabil hingga akhir masa simpan. Variasi kandungan akibat proses pengolahan, penyimpanan, atau distribusi dapat memengaruhi efektivitas produk dan berpotensi menimbulkan ketidaksesuaian antara klaim dan kondisi aktual produk. Oleh karena itu, standarisasi proses produksi dan pengendalian mutu menjadi aspek penting dalam menjamin kualitas produk.

Penerapan sistem *Good Manufacturing Practices* (GMP) yakni Cara Produksi Pangan Olahan yang Baik (CPPOB) merupakan salah satu pendekatan utama dalam menjamin keamanan dan mutu pangan fungsional dan

nutrasetikal. Sistem ini mencakup pengendalian seluruh tahapan produksi, mulai dari penerimaan bahan baku, proses pengolahan, pengemasan, hingga penyimpanan produk akhir. Dengan penerapan CPPOB atau GMP, potensi risiko kontaminasi dan penurunan mutu produk dapat diminimalkan secara sistematis. Sebagai pengendalian lanjutan yang lebih spesifik dan berbasis risiko, sistem *Hazard Analysis and Critical Control Points* (HACCP) diterapkan untuk mengidentifikasi dan mengendalikan bahaya biologis, kimia, dan fisik pada titik kendali kritis selama proses produksi (Mortimore and Wallace, 2013). Selanjutnya, integrasi CPPOB/GMP dan HACCP diformalkan dalam kerangka *Food Safety Management System* (FSMS) yang komprehensif melalui standar internasional ISO 22000 dan skema sertifikasi FSSC 22000. ISO 22000 menggabungkan program prasyarat (PRPs), prinsip HACCP, dan pendekatan sistem manajemen berbasis siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), sedangkan FSSC 22000 melengkapinya dengan persyaratan tambahan dan spesifikasi teknis sektor pangan, sehingga mampu menjamin keamanan dan mutu pangan secara konsisten, terdokumentasi, dan berkelanjutan di sepanjang rantai pangan.

Dalam konteks pangan fungsional dan nutrasetikal, evaluasi keamanan juga mencakup aspek toksisitas dan batas asupan senyawa bioaktif. Beberapa komponen fungsional dapat memberikan efek kesehatan yang menguntungkan pada dosis tertentu, namun berpotensi menimbulkan efek yang tidak diinginkan apabila

dikonsumsi secara berlebihan. Oleh karena itu, penetapan batas aman konsumsi dan evaluasi risiko menjadi bagian penting dari standar keamanan, terutama untuk produk dengan kandungan bioaktif terkonsentrasi.

Perspektif ilmiah terkini menunjukkan bahwa meskipun banyak senyawa bioaktif seperti polifenol, flavonoid, dan asam lemak omega-3 memiliki manfaat kesehatan, perlu dikembangkan kerangka rekomendasi asupan yang berbasis bukti ilmiah dan evaluasi toksikologi untuk menentukan *range* konsumsi yang aman bagi populasi umum (Yates et al., 2021). Kerangka ini mempertimbangkan karakterisasi bioaktif, estimasi intake, bukti klinis manfaat serta *safety/toxicology assessment* untuk menetapkan rentang konsumsi yang mendukung kesehatan tanpa menimbulkan efek buruk (Yates et al., 2017). Selain itu, beberapa badan pangan dan nutrisi di Eropa juga melakukan evaluasi risiko toksisitas dan batas maksimal asupan harian (*upper intake levels*) untuk nutrisi bioaktif tertentu, yang digunakan sebagai pedoman ilmiah dalam regulasi pangan fungsional dan nutrasetikal (Vettorazzi et al., 2020).

Penerapan standar keamanan dan mutu tersebut tidak hanya berfungsi untuk melindungi konsumen, tetapi juga memberikan kepastian bagi pelaku usaha dan meningkatkan daya saing produk. Produk pangan fungsional dan nutrasetikal yang memenuhi standar keamanan dan mutu cenderung lebih mudah diterima oleh pasar, baik di tingkat nasional maupun internasional. Dengan demikian,



standar keamanan dan mutu menjadi fondasi penting dalam pengembangan industri pangan fungsional dan nutrasetikal yang berkelanjutan dan bertanggung jawab.

## **E. Regulasi Klaim Kesehatan dan Pelabelan**

Klaim kesehatan dan pelabelan merupakan aspek yang sangat sensitif dalam pengembangan pangan fungsional dan nutrasetikal karena secara langsung memengaruhi persepsi dan keputusan konsumen. Klaim yang disampaikan pada label dan iklan produk menjadi sarana utama komunikasi manfaat produk, namun pada saat yang sama berpotensi menyesatkan apabila tidak didukung oleh bukti ilmiah yang memadai. Oleh karena itu, regulasi klaim dan pelabelan dirancang untuk menjamin bahwa informasi yang diterima konsumen bersifat akurat, jelas, dan dapat dipertanggung-jawabkan secara ilmiah dan hukum (Shubber, 1972).

Di Indonesia, pengaturan klaim kesehatan pada produk pangan berada di bawah kewenangan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) dan diatur secara khusus melalui Peraturan BPOM Nomor 1 Tahun 2022 tentang Pengawasan Klaim pada Label dan Iklan Pangan Olahan. Regulasi ini menetapkan bahwa klaim kesehatan merupakan setiap pernyataan yang menyatakan, menyarankan, atau menyiratkan adanya hubungan antara pangan atau komponen pangan dengan fungsi kesehatan tubuh atau penurunan risiko penyakit, sehingga penggunaannya harus memenuhi persyaratan yang ketat dan tidak boleh menyesatkan konsumen. BPOM juga

menegaskan bahwa klaim kesehatan tidak boleh mengarah pada klaim pencegahan, pengobatan, atau penyembuhan penyakit yang menjadi ranah obat (BPOM, 2022).

Dalam kerangka regulasi pangan, klaim pada pangan fungsional dan nutrasetikal umumnya dibedakan menjadi beberapa kategori. Klaim nutrisi berkaitan dengan kandungan zat gizi atau komponen tertentu dalam produk, seperti “sumber serat” atau “rendah lemak”. Klaim fungsi menjelaskan peran fisiologis suatu zat dalam tubuh, misalnya membantu fungsi pencernaan atau mendukung daya tahan tubuh. Sementara itu, klaim kesehatan yang mengaitkan konsumsi produk dengan pencegahan atau pengobatan penyakit berada dalam ranah regulasi yang lebih ketat dan umumnya tidak diperbolehkan untuk produk pangan, kecuali telah melalui proses evaluasi ilmiah dan otorisasi khusus oleh otoritas berwenang (Panel and Nda, 2011).

Regulasi menekankan bahwa setiap klaim yang dicantumkan harus didasarkan pada bukti ilmiah yang kuat dan relevan. Bukti tersebut dapat berupa hasil penelitian ilmiah, uji klinis pada manusia, atau kajian sistematis yang menunjukkan hubungan sebab-akibat antara komponen pangan dan efek fisiologis yang diklaim. Pendekatan berbasis bukti (*evidence-based approach*) ini bertujuan untuk mencegah praktik klaim berlebihan (*overclaim*) yang tidak sejalan dengan kapasitas nyata produk, serta untuk melindungi konsumen dari ekspektasi kesehatan yang tidak realistis (Boer, 2021).

Selain substansi klaim, aspek pelabelan juga diatur secara ketat untuk menjamin keterbacaan dan kejelasan informasi sehingga konsumen memperoleh informasi yang benar, tidak ambigu, dan tidak menyesatkan mengenai produk pangan yang dikonsumsi. Dalam konteks regulasi nasional, ketentuan ini ditegaskan dalam Peraturan BPOM Nomor 31 Tahun 2018 tentang Label Pangan Olahan yang telah diubah dengan Peraturan BPOM Nomor 20 Tahun 2021, yang mewajibkan setiap label pangan memuat informasi yang jelas, mudah dibaca, menggunakan Bahasa Indonesia, serta disajikan secara proporsional sesuai dengan karakteristik produk. Informasi wajib tersebut meliputi nama produk, daftar bahan, berat bersih, informasi nilai gizi, tanggal kedaluwarsa, serta nama dan alamat produsen. Penyajian informasi yang jelas, proporsional, dan mudah dipahami merupakan bagian penting dari upaya perlindungan konsumen, terutama bagi kelompok rentan seperti anak-anak, lansia, dan individu dengan kondisi kesehatan tertentu (BPOM, 2022; Lyster, 2013).

Lebih lanjut, Peraturan BPOM Nomor 1 Tahun 2022 tentang Pengawasan Klaim pada Label dan Iklan Pangan Olahan menegaskan bahwa pencantuman klaim pada label harus disajikan secara objektif dan tidak menimbulkan kesan berlebihan terhadap manfaat kesehatan produk. Regulasi ini juga mengatur bahwa tata letak, ukuran huruf, serta redaksi klaim tidak boleh menutupi atau mengaburkan informasi penting lainnya, seperti peringatan konsumsi atau pembatasan penggunaan, terutama untuk kelompok rentan. Dengan demikian, pengaturan pelabelan tidak hanya

berfungsi sebagai sarana informasi, tetapi juga sebagai instrumen perlindungan konsumen dalam mencegah kesalahan interpretasi terhadap klaim kesehatan pada pangan fungsional dan nutrasetikal (Direktorat Standardisasi Pangan Olahan Badan POM RI, 2023).

Dalam praktiknya, tantangan utama dalam regulasi klaim kesehatan dan pelabelan terletak pada batas antara informasi edukatif dan promosi yang menyesatkan. Bahasa yang digunakan dalam klaim sering kali bersifat persuasif dan dapat menimbulkan interpretasi yang berbeda di kalangan konsumen. Oleh karena itu, regulasi membatasi penggunaan istilah yang bersifat absolut atau menjanjikan hasil tertentu, serta mendorong penggunaan bahasa yang objektif, terukur, dan dapat diverifikasi secara ilmiah (Kafka, 2025).

Penerapan regulasi klaim kesehatan dan pelabelan yang ketat menunjukkan kompleksitas pengaturan pangan fungsional dan nutrasetikal secara menyeluruh. Berbagai ketentuan tersebut, meskipun bertujuan melindungi konsumen, juga menghadirkan tantangan tersendiri bagi pengembangan dan inovasi produk. Oleh karena itu, diperlukan refleksi berkelanjutan terhadap tantangan implementasi serta prospek pengembangan regulasi pangan fungsional dan nutrasetikal ke depan, agar perlindungan konsumen dan inovasi industri dapat berjalan secara seimbang dan berkelanjutan (FAO, 2023).

## **F. Tantangan dan Prospek Regulasi Pangan Fungsional**

Pesatnya perkembangan pangan fungsional dan nutrasetikal menghadirkan berbagai tantangan dalam implementasi regulasi dan standarisasi. Salah satu tantangan utama adalah dinamika ilmu pengetahuan dan teknologi yang berkembang lebih cepat dibandingkan proses perumusan dan penyesuaian regulasi. Penemuan senyawa bioaktif baru serta inovasi teknologi pengolahan pangan sering kali belum sepenuhnya terakomodasi dalam kerangka regulasi yang ada, sehingga menimbulkan ketidakpastian bagi pelaku usaha maupun otoritas pengawas.

Tantangan lainnya berkaitan dengan pembuktian ilmiah klaim kesehatan. Kebutuhan akan bukti ilmiah yang kuat dan relevan menjadi kendala tersendiri, terutama bagi pelaku usaha kecil dan menengah yang memiliki keterbatasan sumber daya untuk melakukan penelitian lanjutan atau uji klinis. Kondisi ini dapat membatasi kemampuan inovasi produk, meskipun bahan baku dan potensi fungsional yang dimiliki sangat besar. Di sisi lain, lemahnya pembuktian klaim berisiko menurunkan kredibilitas produk pangan fungsional di mata konsumen.

Permasalahan klasifikasi produk juga masih menjadi tantangan yang signifikan. Batas antara pangan fungsional, nutrasetikal, suplemen kesehatan, dan obat sering kali bersifat abu-abu, terutama untuk produk yang mengandung senyawa bioaktif dalam jumlah relatif tinggi. Perbedaan interpretasi terhadap klasifikasi ini dapat menimbulkan

hambatan dalam proses perizinan dan pengawasan, serta berpotensi menimbulkan ketidakpastian hukum bagi pelaku usaha.

Dari perspektif pengawasan, kompleksitas rantai pasok dan meningkatnya perdagangan produk secara daring turut memperbesar tantangan regulasi. Produk pangan fungsional dan nutrasetikal yang dipasarkan melalui platform digital sering kali sulit diawasi secara optimal, baik dari sisi kepatuhan terhadap regulasi maupun kebenaran klaim yang disampaikan. Hal ini menuntut pendekatan pengawasan yang lebih adaptif dan kolaboratif antara otoritas, pelaku usaha, dan konsumen.

Di balik berbagai tantangan tersebut, prospek pengembangan regulasi pangan fungsional dan nutrasetikal tetap terbuka luas. Harmonisasi regulasi dengan standar internasional memberikan peluang bagi peningkatan daya saing produk nasional di pasar global. Selain itu, pendekatan regulasi berbasis risiko dan berbasis bukti ilmiah dapat menjadi kerangka yang fleksibel untuk mengakomodasi inovasi tanpa mengorbankan aspek keamanan dan perlindungan konsumen.

Di Indonesia, kekayaan sumber daya hayati dan meningkatnya minat terhadap pangan berbasis kesehatan menjadi peluang strategis untuk pengembangan pangan fungsional dan nutrasetikal berbasis bahan lokal. Dukungan regulasi yang adaptif, disertai dengan penguatan riset dan kolaborasi antara akademisi, industri, dan pemerintah, berpotensi mendorong lahirnya produk inovatif yang aman,

bermutu, dan bernilai tambah tinggi. Dengan demikian, regulasi dan standardisasi tidak hanya berfungsi sebagai instrumen pengendalian, tetapi juga sebagai enabler bagi pengembangan industri pangan fungsional dan nutrasetikal yang berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alkhatib, A. *et al.* (2017) "Functional foods and lifestyle approaches for diabetes prevention and management," *Nutrients*, 9(12), pp. 1–18. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu9121310>.
- Arero Dassie, G., Dhugassa Girsha, W. and Kalu Beggi, S. (2025) "A hybrid scoping and systematic review of food safety and quality control in selected low- and middle-income countries: challenges, policies, and effective interventions in Africa, Asia, and Latin America," *Frontiers in Food Science and Technology*, 5(October), pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.3389/frfst.2025.1570588>.
- Boer, A. De (2021) "Fifteen Years of Regulating Nutrition and Health Claims in Europe : The Past , the Present and the Future," *Nutrients*, 13(1725), pp. 1–19.
- BPOM (2022) "Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat Dan Makanan Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2022 Tentang Acuan Label Gizi," (2), p. 21.
- Candrianto, Mouludi, I. and Sipahutar, E. (2024) "Evaluation of the Application of Good Manufacturing Practice and Sanitation Standard Operating Procedures in Production Process," *Journal of Engineering and Management in Industrial System*, 12(2), pp. 78–86. Available at: <https://doi.org/10.21776/ub.jemis.2024.012.02.2>.



- Codex Alimentarius Commission (1999) "Distribution of the Report of the 27th Session of the Codex Committee on Food Labelling (ALINORM 99/22A)," (April), pp. 27–30.
- Direktorat Standardisasi Pangan Olahan Badan POM RI (2023) "Regulasi label pangan olahan," *Webinar Dapoer Kita Seri 3 Program Orang Tua Angkat UMK Pangan Olahan* [Preprint]. Available at: <https://e-klinikdesainmerekemas.kemenperin.go.id/storage/uploads/document/2023/Jun/regulation-1687243893.pdf>.
- Europe, P.I. *et al.* (1999) "Scientific Concepts of Functional Foods in Europe Consensus Document," *British Journal of Nutrition*, 81(4), pp. S1–S27. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0007114599000471>.
- FAO (2023) "Methods for Estimation of Within-Population Genetic Variation," *Nineteenth Regular Session*, (17-21 may), pp. 1–24. Available at: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bits/treams/35727bc8-3d9b-4172-b182-309085d32d9b/content>.
- Hasler, C.M. (2002) "Functional foods: Benefits, concerns and challenges - A position paper from the American Council on Science and Health," *Journal of Nutrition*, 132(12), pp. 3772–3781. Available at: <https://doi.org/10.1093/jn/132.12.3772>.

- Kafka, D.C. (2025) "Food and Dietary Supplement Labeling Claims: FDA Regulation and Select Legal Issues." Available at: <https://www.congress.gov/crs-product/R48623>.
- Kalra, E.K. (2003) "Nutraceutical - Definition and introduction," *AAPS PharmSci*, 5(3), pp. 27–28. Available at: <https://doi.org/10.1208/ps050325>.
- Lyster, R. (2013) "International legal frameworks for REDD+," *Law, Tropical Forests and Carbon*, pp. 3–25. Available at: <https://doi.org/10.1017/cbo9781139236904.003>.
- Martino, M. Di (2025) *Food safety in personalized nutrition – A focus on food supplements and functional foods*.
- Mortimore, S. and Wallace, C. (2013) *HACCP: A practical approach, HACCP: A Practical Approach*. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5028-3>.
- Panel, E. and Nda, A. (2011) "Scientific and technical guidance for the preparation and presentation of an application for authorisation of a health claim (revision 1)," *EFSA Journal*, 9(5), pp. 1–36. Available at: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2170>.
- Riski, Y. *et al.* (2025) "Implementation Of Good Manufacturing Practices (GMP) in The Home Industry of Kampung Lontong Surabaya Implementation Of Good Manufacturing Practices (GMP) in The Home Industry of Kampung Lontong Surabaya Article Info," *Pancasakti Journal of Public Health Science and*

- Research*, 5(2), pp. 210–215. Available at: <https://doi.org/10.47650/pjphsr.v5i2.1747>.
- Shubber, S. (1972) “The codex alimentarius commission under international law,” *International and Comparative Law Quarterly*, 21(4), pp. 631–655. Available at: <https://doi.org/10.1093/iclqaj/21.4.631>.
- Vettorazzi, A. *et al.* (2020) “European regulatory framework and safety assessment of food-related bioactive compounds,” *Nutrients*, 12(3), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu12030613>.
- Weaver, C.M. and Liebman, M. (2002) “Biomarkers of bone health appropriate for evaluating functional foods designed to reduce risk of osteoporosis,” *British Journal of Nutrition*, 88(S2), pp. S225–S232. Available at: <https://doi.org/10.1079/bjn2002687>.
- Yates, A.A. *et al.* (2017) “Bioactive nutrients - Time for tolerable upper intake levels to address safety,” *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 84, pp. 94–101. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.01.002>.
- Yates, A.A. *et al.* (2021) “Perspective: Framework for Developing Recommended Intakes of Bioactive Dietary Substances,” *Advances in Nutrition*, 12(4), pp. 1087–1099. Available at: <https://doi.org/10.1093/advances/nmab044>.

## BIODATA PENULIS



**Sarah Giovani, S.T.P., M.Sc., M.Agr.Sc.**

Dosen Program Studi Teknologi Pangan  
Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Al Azhar  
Indonesia

Penulis lahir di Jakarta pada 27 Juni 1992. Saat ini, penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Al Azhar Indonesia, Jakarta. Pendidikan sarjana ditempuh pada Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Sebelas Maret, kemudian melanjutkan pendidikan magister pada Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Gadjah Mada. Selain itu, penulis juga menyelesaikan studi magister pada bidang Agronomi dan Hortikultura di Kyoto University, Jepang.

Penulis menekuni bidang ilmu dan penelitian yang berfokus pada teknologi pangan, khususnya pengembangan pangan fungsional, bahan pangan berbasis nabati, peningkatan kualitas protein, serta teknologi pengolahan

pangan berkelanjutan. Dalam kegiatan akademik, penulis aktif dalam pengajaran, pembimbingan mahasiswa, pengelolaan laboratorium, serta penelitian yang berkaitan dengan kualitas pangan, formulasi produk inovatif, dan evaluasi sensori.

---000---

## BIODATA PENULIS



**Yasmin Aulia Rachma, S.T.P., M.Sc.**

Dosen Program Studi Teknologi Pangan  
Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas  
Diponegoro

Penulis lahir di Karanganyar tanggal 19 Juni 1996. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Teknologi Pangan Universitas Diponegoro Semarang dan melanjutkan S2 pada Program Magister Ilmu dan Teknologi Pangan Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Penulis menekuni bidang Menulis dan telah menghasilkan karya beberapa jurnal nasional maupun internasional bereputasi serta beberapa buku terkait pangan fungsional seperti “PEKTIN: Aplikasi pada Industri Pangan dan Efek Anti-Dislipidemia” dan “Fisiologi Biji: Dasar-Dasar Biologi untuk Aplikasi Pangan Fungsional dan Pertanian.”

---000---

## BIODATA PENULIS



**Dr. Nurul Hidayah, S.Si.**

Dosen Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan

Nurul Hidayah adalah seorang akademisi kelahiran Pati, 27 Mei 1993, yang menempuh seluruh jenjang pendidikan tinggi di Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada. Setelah meraih gelar sarjana, ia melanjutkan studi melalui program beasiswa PMDSU dari DIKTI hingga jenjang doctoral, dengan fokus riset pada pengembangan sensor kolorimetri dan fluorometri dari senyawa kimia organik. Dalam studi doktoralnya, ia berhasil mengembangkan tiga senyawa organik untuk sensor formalin pada makanan yang telah dipublikasikan di jurnal internasional bereputasi. Sejak tahun 2021, ia mengabdikan sebagai dosen di Program Studi Teknologi Pangan Universitas Ahmad Dahlan dengan fokus penelitian saat ini pada pengembangan sensor kesegaran bahan pangan secara kolorimetri berbasis bahan alam.

---000---

## BIODATA PENULIS



**Safinta Nurindra Rahmadhia, S.Si., M.Sc.**

Dosen Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta

Safinta Nurindra Rahmadhia menyelesaikan Pendidikan Sarjana Sains di Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam pada tahun 2015. Penulis melanjutkan studi Strata-2 di Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada pada tahun 2015. Gelar Master of Science di bidang Ilmu dan Teknologi Pangan diperoleh pada tahun 2017. Pada tahun 2018 hingga sekarang, penulis meniti karir sebagai dosen tetap di Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Ahmad Dahlan. Penulis aktif melakukan penelitian di bidang pengemasan, hidrokoloid, dan senyawa bioaktif sehingga hal tersebut menjadi bidang keahlian penulis dan fokus penelitiannya. Hasil penelitian penulis telah banyak dipublikasikan pada jurnal nasional dan internasional bereputasi. Selain menjadi dosen, penulis juga aktif menjadi pengelola pada jurnal nasional dan reviewer pada berbagai jurnal bereputasi.

---000---



## BIODATA PENULIS



**Ir. Ika Dyah Kumalasari, M.Sc., Ph.D**

Dosen Program Studi Teknologi Pangan

Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan

Penulis lahir di Sragen, Maret 1981, berprofesi sebagai Dosen dan peneliti di Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Ahmad Dahlan. Penulis menyelesaikan pendidikan S-3 bidang Food Science and Technology, Ehime University. Fokus keahlian penulis adalah pengembangan pangan fungsional dan nutrasetikal.

---000---

## BIODATA PENULIS



**Dr. Aprilia Fitriani, S.T.P., M.Sc.**

Dosen Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan

Penulis adalah dosen dan peneliti di bidang Ilmu dan Teknologi Pangan, dengan keahlian utama pada kimia pangan, gizi pangan, pangan fungsional, dan kesehatan. Penulis menemupuh pendidikan Sarjana Ilmu dan Teknologi Pangan di Universitas Jenderal Soedirman, melanjutkan pendidikan jenjang Magister di Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan Universitas Gadjah Mada, serta menyelesaikan pendidikan doktoral di Universitas Gadjah Mada (2019–2023) program Doktor Ilmu Pangan. Linearitas pendidikan penulis menjadi pengalaman penulis untuk pelaksanaan TriDharma Perguruan Tinggi di bidang Teknologi Pangan. Oleh sebab itu, penulis memiliki pengalaman mengajar berbagai mata kuliah inti pangan, seperti pengantar teknologi dan industri pangan, analisis pangan, biokimia pangan, evaluasi sensori, pangan dan gizi serta pangan fungsional.

Saat ini, penulis aktif sebagai Dosen Teknologi Pangan Universitas Ahmad Dahlan serta terlibat dalam kegiatan penelitian dan penulisan ilmiah. Pengalaman profesionalnya mencakup dosen tetap dan lepas di beberapa perguruan tinggi, tutor daring, serta peran dalam penjaminan mutu internal. Bidang riset yang ditekuni meliputi pangan fungsional anti diabetes dan antiobesitas, peptida bioaktif, pangan antihipertensi, dan pemanfaatan bahan pangan lokal Indonesia.

Penulis telah mempublikasikan karya ilmiah pada jurnal nasional dan internasional bereputasi, menulis artikel ilmiah populer di Foodreview Indonesia dan Linisehat.com, serta memiliki beberapa paten di bidang pengolahan pangan dan pangan fungsional. Partisipasi aktifnya dalam seminar nasional dan internasional, pelatihan analisis lanjut (LC-MS/GC-MS), serta perolehan berbagai hibah dan beasiswa (LPDP, Kemendikbud, Indofood Riset Nugraha, dan Kemendiktisaintek) semakin memperkuat rekam jejak akademik dan profesionalnya.

---000---

## BIODATA PENULIS



**Wahidah Mahanani Rahayu, S.T.P., M.Sc.**

Program Studi Teknologi Pangan,  
Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan

Wahidah Mahanani Rahayu, S.T.P., M.Sc. lahir di Yogyakarta, 20 April 1984. Penulis merupakan dosen di Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan (UAD) pada bidang Kimia Pangan dan Gizi sejak tahun 2016. Setelah lulus S1 dari Jurusan Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Universitas Gadjah Mada (UGM), penulis menimba ilmu dan bekerja di National Chiayi University, Taiwan. Setelah lulus S2 dari Ilmu dan Teknologi Pangan, UGM, penulis bergabung dan turut mendirikan Program Studi Teknologi Pangan di Universitas Ahmad Dahlan pada tahun 2016. Selain mengajar, penulis aktif melakukan penelitian dan menulis sejumlah artikel ilmiah pada jurnal nasional dan prosiding pada pertemuan ilmiah baik nasional maupun internasional di bidang pangan fungsional dari komoditas lokal. Penulis juga aktif sebagai anggota Perhimpunan Ahli Teknologi

Pangan Indonesia (PATPI). Selain terlibat dalam berbagai program penelitian dan pengabdian kepada masyarakat dalam mengolah pangan lokal, penulis saat ini sedang menempuh studi doktoral pada Program Doktor Ilmu Pangan di Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Penulis dapat dihubungi melalui surel:

[wahidah.rahayu@tp.uad.ac.id](mailto:wahidah.rahayu@tp.uad.ac.id)

---000---

## BIODATA PENULIS



**Dr. Masrukan, S.T.P., M.Sc**

Dosen Program Prodi Teknologi Pangan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Widy Mataram Yogyakarta

Masrukana adalah dosen dan peneliti di Prodi Teknologi Pangan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Widy Mataram (UWM) Yogyakarta. Lahir di Pati, Jawa Tengah pada 8 Februari 1988, beliau menyelesaikan pendidikan sarjana (S1) dan magister (S2) di Bidang Teknologi Hasil Pertanian serta program doktor (S3) dalam bidang Ilmu Pangan di Fakultas Teknologi Pertanian di Universitas Gadjah Mada (UGM).

Spesialisasi dan minat penelitiannya fokus pada teknologi ekstraksi, pengolahan, dan pemanfaatan nilai tambah dari Hasil samping perikanan (*by-product*). Topik penelitiannya meliputi ekstraksi gelatin, produksi minyak ikan kaya omega-3 dengan pelarut ramah lingkungan (*d-limonene*), serta pengembangan teknologi enkapsulasi untuk stabilisasi bahan bioaktif dalam sistem pangan.

Penulis aktif berkontribusi dalam penelitian dan publikasi ilmiah, baik di jurnal nasional terakreditasi maupun jurnal internasional bereputasi. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email: [mrukan@gmail.com](mailto:mrukan@gmail.com).

---000---

## BIODATA PENULIS



**Wafi Adizara Muzakki, S.T.P., M.Sc.**

Dosen Program Studi Teknologi Pangan Program Studi  
Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Industri, Institut  
Teknologi Sumatera

Penulis lahir di Jember tanggal 24 September 1996. Penulis adalah dosen tetap di Program Studi Teknologi Pangan, Institut Teknologi Sumatera dengan bidang keilmuan Rekayasa Proses dan Pengolahan Pangan. Penulis Menyelesaikan Pendidikan S1 di Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan Universitas Brawijaya dan melanjutkan S2 di Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan Universitas Gadjah Mada. Aktivitas akademik penulis meliputi pengajaran, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat yang berkaitan dengan rekayasa proses dan pengolahan pangan, terutama pemanfaatan bahan pangan sebagai pangan fungsional.

---000---



## BIODATA PENULIS



**Soraya Kusuma Putri, S.T.P., M.Sc.**

Dosen Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Pertanian,  
Universitas Tidar

Soraya Kusuma Putri S.T.P., M.Sc. lahir di Palangkaraya, pada 5 November 1991. Penulis menyelesaikan S1 bidang Ilmu dan Teknologi Pangan pada Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED) (lulus tahun 2014) kemudian melanjutkan S2 bidang Ilmu dan Teknologi pangan pada Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada (UGM) (lulus tahun 2017). Sejak tahun 2019 hingga 2021 penulis bekerja sebagai dosen di Universitas Semarang (USM), setelah itu penulis pindah bekerja sebagai dosen di Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Pertanian Universitas Tidar (Untidar) di Kota Magelang sejak tahun 2022 hingga saat ini. Selain itu penulis juga menjadi seorang Tutor di Universitas Terbuka sejak 2022 hingga saat ini. Penulis memiliki sertifikasi kompetensi dalam CPPOB (Cara Produksi Pangan Olahan yang Baik) dan Keamanan Pangan dengan kualifikasi Analisis Sensori Pangan yang disahkan oleh LSP-JMKP

(Lembaga Sertifikasi Profesi - Jaminan Mutu dan Keamanan Pangan). Lembaga tersebut merupakan perpanjangan tangan dari BNSP (Badan Nasional Sertifikasi Profesi). Saat ini penulis sedang berfokus pada penelitian mengenai kimia pangan dan teknologi pengolahan pangan. Penulis aktif sebagai anggota PATPI (Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia). Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: [sorayakusumaputri@untidar.ac.id](mailto:sorayakusumaputri@untidar.ac.id).

---000---

## BIODATA PENULIS



**Asepti Edi Saputro, S.T.P., M.Sc.**

Dosen Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Widya Mataram

Penulis lahir di Gunungkidul tanggal 17 September 1998. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Widya Mataram. Penulis menyelesaikan pendidikan Sarjana (S1) pada Program Studi Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian (TPHP) di Universitas Gadjah Mada (UGM) dan melanjutkan pendidikan Magister (S2) pada Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan (ITP) di kampus yang sama. Fokus penelitian penulis berada pada bidang mikrobiologi pangan, khususnya fermentasi, probiotik, dan pangan fungsional.

---000---

## BIODATA PENULIS



**Hanifa Bagus, S.T.P., M.Sc.**

Dosen Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera

Penulis lahir di Padang tanggal 22 Mei 1995. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknologi Industri Pertanian dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan di Universitas Gadjah Mada. Bidang keilmuan dan minat penelitian penulis meliputi teknologi pangan, pangan fungsional dan nutrasetikal, keamanan pangan, rekayasa proses pangan serta pengembangan produk pangan berbasis sumber daya lokal. Selain aktif dalam kegiatan pengajaran, penulis juga terlibat dalam berbagai kegiatan penelitian dan publikasi ilmiah di bidang teknologi pangan, serta berpartisipasi dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang berkaitan dengan peningkatan mutu dan keamanan produk pangan.

---000---