

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). JTEP terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi *online*. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energy alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makassar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), Dr.Ir. Lady Corrie Ch Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si. (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Desain dan Kinerja Sistem Pneumatik untuk Penabur Pupuk Tanaman Sawit Muda

Design and Performance of Pneumatic System for Young Oil Palm Fertilizer Spreader

Muqroob Tajalli, Program Studi. Teknik Pertanian dan Pangan, Institut Pertanian Bogor
Email: muqorob.tajalli@gmail.com

Wawan Hermawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: w_hermawan@ipb.ac.id

Radite Praeko Agus Setiawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: iwan_radit@yahoo.com

Abstract

Current Mechanical fertilizer applicators using centrifugal spreading system could not be applied to young palm oil trees (under 5 years old) and hence needed to be modified. The research was to design a fertilizer spreading system, using a pneumatic system. The design used a positive type pneumatic pressure to blow the granular fertilizer out of the metering device to the soil surface around the tree. The metering device was designed to deliver the fertilizer in several application rates, i.e.: 0.25, 0.75, 1.0, 1.25, and 1.5 kg/tree. Based on pressure drop analysis the pneumatic system needed a power of 0.71 kW, where the blower should be rotated at 3000 rpm to produce an air flow of $\pm 0.3375 \text{ m}^3/\text{s}$. A This prototipe spreader was tested in the field at 0.55 and 1.7 m/s forward speed one at a time. Test results showed that the spreader could deliver the fertilizer to the targetted area around the palm oil trees with an accurate application rate. However, the distribution of the fertilizer was relatively low at a range of coefficient of variance of 0.47-0.77.

Keyword: Fertilizer applicator, pneumatic system, spreader, young oil palm

Abstrak

Mesin pemupuk yang menggunakan mekanisme gaya sentrifugal, perlu dimodifikasi, karena tidak dapat diaplikasikan untuk memupuk tanaman kelapa sawit belum menghasilkan (di bawah 5 tahun). Penelitian ini dilakukan dengan merancang sistem penabur pupuk, menggunakan sistem pneumatik, dimana Penjatah pupuk didesain untuk menghembuskan pupuk pada beberapa dosis pemupukan, yaitu: 0.25, 0.75, 1.0, 1.25 dan 1.5 kg/tanaman. Berdasarkan analisis kehilangan tekanan, sistem pneumatik ini membutuhkan daya 0.71 kW pada putaran blower 3000 rpm yang menghasilkan aliran udara sebesar $\pm 0.3375 \text{ m}^3/\text{s}$. Prototipe penabur pupuk ini telah diuji di lapang pada kecepatan maju 0.55 m/s dan 1.7 m/s. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penabur pupuk ini dapat menghembuskan pupuk ke sasaran di sekitar tanaman kelapa sawit dengan laju pemupukan yang akurat. Namun, sebaran pupuk relatif rendah dengan koefisien ragam antara 0.47 - 0.77.

Kata kunci: Mesin pemupuk, sistem pneumatik, penebar, kelapa sawit muda

Diterima: 08 Desember 2015; Disetujui: 13 Mei 2016

Pendahuluan

Industri kelapa sawit merupakan komoditas penting dalam pembangunan ekonomi nasional. Selain sebagai penampung tenaga kerja yang besar, industri kelapa sawit menyumbang sebagian besar devisa negara. Indonesia merupakan salah satu produsen utama minyak sawit dunia. Hal ini terlihat dari total luas lahan perkebunan kelapa sawit

di Indonesia yang mencapai 34.18 % dari total luas lahan perkebunan kelapa sawit dunia. Pencapaian produksi rata-rata kelapa sawit Indonesia tahun 2004 - 2008 tercatat sebesar 75.54 juta ton tandan buah segar (TBS) atau 40.26 % dari total produksi kelapa sawit dunia (Fauzi *et al.* 2012).

Produktivitas yang telah dicapai oleh perkebunan sawit di Indonesia saat ini harus ditingkatkan dan dipertahankan dengan suatu pengelolaan yang

baik seperti kegiatan pemeliharaan tanaman kelapa sawit. Salah satu kegiatan dalam pemeliharaan yang memerlukan pengelolaan lebih lanjut adalah kegiatan pemupukan. Pemupukan merupakan suatu upaya untuk menyediakan unsur hara yang cukup guna mendorong pertumbuhan vegetatif tanaman. Permasalahan yang sering terjadi di perkebunan kelapa sawit dalam kegiatan pemupukan adalah ketidaksesuaian dosis aplikasi dengan rekomendasi, waktu dan cara aplikasi, dan faktor pendukung yang lain tidak terkondisikan (Ridawati 2002). Pemupukan dapat dilakukan dengan dua cara antara lain pemupukan manual dan pemupukan secara mekanis dengan *power spreader*.

Pemupukan manual menghasilkan aplikasi pupuk yang beragam dan membutuhkan tenaga kerja yang banyak. Hal ini merupakan masalah yang terjadi setiap tahun. Pemupukan manual yang pernah dilakukan tidak mampu mencapai suatu hasil yang maksimal sehingga masih terdapat kekurangan yang harus diperbaiki seperti pengujian alat dan kalibrasi dosis pupuk harus sesuai dan tepat dosis, aplikasi pemupukan harus benar dan tepat sasaran, pengawasan pekerjaan pemupukan harus intensif dan efektif, serta kualitas pemupukan harus mencapai mutu hasil yang lebih baik.

Mesin pemupuk kelapa sawit yang biasa disebut dengan mesin penebar pupuk (*power spreader*) (Cunningham dan Chao 1967) merupakan salah satu mesin pemupuk yang banyak digunakan di beberapa perkebunan kelapa sawit. Namun demikian belum ada mesin pemupuk yang khusus dirancang untuk kelapa sawit muda atau tanaman belum menghasilkan (TBM) karena *power spreader* yang ada sekarang belum bisa menaburkan pupuk di permukaan tanah di sekitar pokok (piringan pokok). Kalaupun dipaksakan maka pupuk berhamburan dan jatuh bertabrakan dengan pelepah daun.

Pelepah daun pada TBM masih rendah dan menutupi daerah piringan. Bahkan pupuk juga akan masuk ke dalam sela-sela ketiak pelepah.

Dari beberapa penjelasan di atas, penulis dapat menyampaikan bahwa mesin pemupuk kelapa sawit yang umumnya digunakan pada saat ini, masih kurang efektif untuk diterapkan pada sawit TBM. Sehingga diperlukan pengembangan desain yang mampu untuk menaburkan pupuk di piringan pokok sawit TBM. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem penabur pupuk NPK untuk kelapa sawit muda (TBM) dan menguji kinerjanya.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Februari 2014 sampai Februari 2015. Pembuatan prototipe dilaksanakan di bengkel Fadhel Teknik dan bengkel Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor. Pengujian mesin dilakukan di Laboratorium Lapangan Siswadhi Soepardjo, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alat dan Bahan

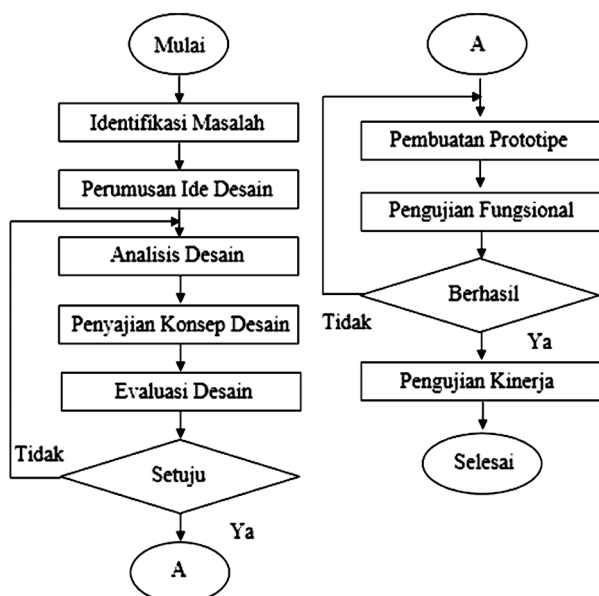
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan konstruksi mesin untuk pembuatan mesin dan bahan untuk pengujian berupa pupuk NPK 15.15.15. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari alat yang dipergunakan untuk desain, pembuatan prototipe dan pengujian kinerja. Untuk mendukung analisis desain digunakan perangkat lunak *SolidWorks* 2011 khususnya untuk simulasi aliran udara dan pupuk dalam sistem pneumatiknya. Untuk pengukuran distribusi dan laju aplikasi pupuk digunakan peralatan: karpet berpola, meteran, timbangan digital, *tachometer* digital DT-1236, anemometer *Kanomax* A541 dan kamera digital.

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan secara umum terdiri dari: 1) identifikasi masalah, 2) perumusan ide desain, 3) evaluasi konsep desain, 4) analisis desain, 5) pembuatan prototipe, dan 6) uji kinerja mesin (Gambar 1).

Analisis Desain

Mesin penabur pupuk ini didesain dengan kriteria: 1) dapat mengaplikasikan pupuk NPK dengan dosis 0.25, 0.75, 1.0, 1.25, dan 1.5 kg/tanaman, 2) kecepatan maju mesin 0.55 dan 1.7 m/s, 3) pupuk ditaburkan di sekitar tanaman sawit dalam radius 1.5 m, 4) tenaga putar dari sistem pneumatik menggunakan putaran *power take off* (PTO) traktor. Perancangan sistem pneumatik pada mesin pemupuk TBM harus mampu menghembuskan pupuk yang dijatahkan sehingga sampai pada



Gambar 1. Bagan alir tahapan penelitian.

Tabel 1. Hasil analisis desain fungsional.

No	Sub-fungsi	Komponen
1	Menampung pupuk	<i>Hopper</i>
2	Mengatur dosis keluaran pupuk	<i>Metering device</i>
3	Memutar <i>metering device</i> sesuai dosis	Motor listrik DC
4	Mereduksi putaran motor listrik	<i>Gearhead</i>
5	Mengontrol kecepatan putar dan lama penyalaan motor listrik	Sistem kendali
6	Menghembuskan pupuk keluar	<i>Blower</i>
7	Menyalurkan udara dan mengarahkan aliran pupuk	Pipa PVC dan kotak pencampur
8	Menyebarkan pupuk ke lahan	<i>Diffuser</i>
9	Mentransmisikan daya ke <i>blower</i>	Sabuk, puli dan poros

target di sekitar tanaman yang dipupuk. Perbedaan dosis pemupukan tanaman sawit TBM disesuaikan dengan keperluan pupuk sesuai umur tanam dari kelapa sawit tersebut.

Berdasarkan kriteria desain di atas, maka fungsi utama dari sistem pneumatik yang dikembangkan adalah menghembuskan pupuk granular NPK untuk tanaman sawit TBM yang ditanam pada sengkedan secara efektif dengan dosis bervariasi. Selanjutnya dirancanglah sub-fungsi dari mesin, dan dipilih komponennya, yang hasilnya seperti disajikan pada Tabel 1.

Kemudian dilakukan analisis struktural untuk bagian-bagian utama mesin, khususnya bagian sistem pneumatiknya. Desain keseluruhan mesin terdiri dari bagian *hopper* pupuk, penjatah pupuk (*metering device*), sistem penumatik, sistem transmisi daya dan sistem kendali. Bagian mesin berupa *hopper* dan penjatah pupuk telah dirancang oleh Irfansyah (2015). Bagian-bagian mesin pemupuk ditunjukkan pada Gambar 2.

Dengan kecepatan maju mesin 0.55 m/s dan 1.7 m/s, dan panjang daerah penaburan pupuk per tanaman 3 m (1.5 m sebelum dan sesudah

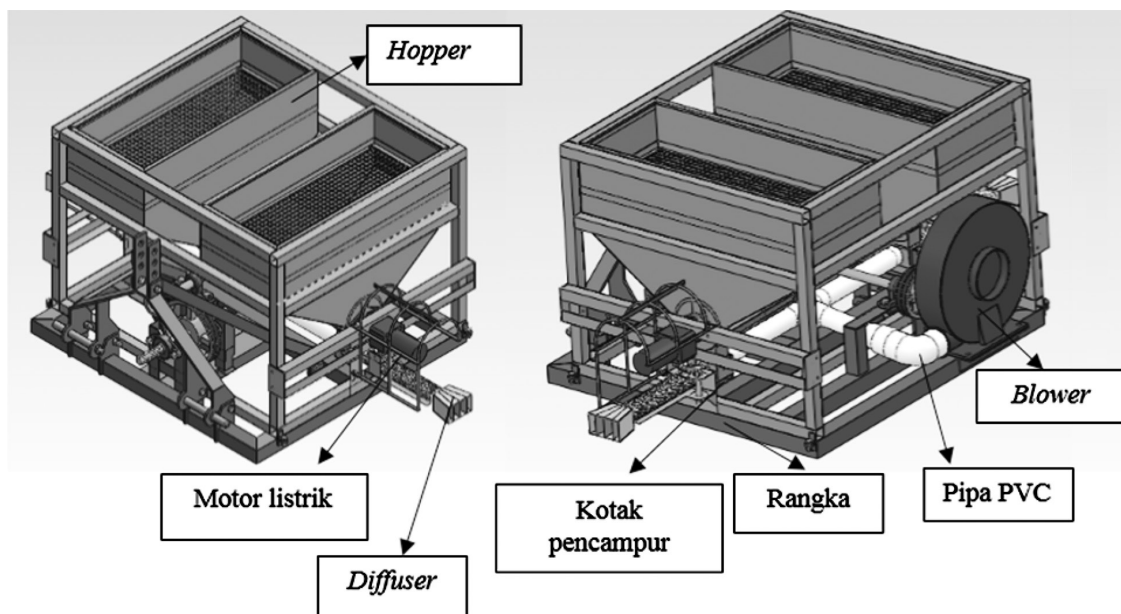
melewati tanaman), maka waktu pengeluaran pupuk per tanaman adalah 6 detik dan 2.8 detik masing-masing untuk kecepatan 0.55 m/s dan 1.7 m/s. Dengan menggunakan dosis tertinggi yaitu 1.5 kg/tanaman, maka debit pupuk yang harus dihembuskan adalah 0.23 kg/s dan 0.54 kg/s masing-masing untuk kecepatan 0.55 m/s dan 1.7 m/s.

Perhitungan kebutuhan daya dalam sistem penghembus menggunakan perhitungan penurunan tekanan total yang terjadi pada sistem seperti pada persamaan (1) (Srivastava *et al.* 1993).

$$\Delta P = \Delta P_L + \Delta P_a + \Delta P_s + \Delta P_g + \Delta P_b \quad (1)$$

Dalam hal ini: ΔP = total *pressure drop* sistem (kPa), ΔP_L = kehilangan tekanan di saluran akibat udara (kPa), ΔP_a = *pressure drop* akibat percepatan partikel (kPa), ΔP_s = *pressure drop* akibat gesekan padatan (kPa), ΔP_g = *pressure drop* akibat pengangkatan vertikal (kPa), ΔP_b = *pressure drop* di belokkan (kPa).

Untuk desain mesin dengan kecepatan maju 0.55 m/s, di mana debit pupuknya sebesar 0.23 kg/s



Gambar 2. Bagian-bagian mesin pemupuk.

maka dapat dihitung penurunan tekanan sebagai berikut. Data yang digunakan dalam perhitungan adalah: panjang total pipa lurus yang dibutuhkan 1.6 m, diameter pipa yang digunakan 0.0508 m, jumlah belokan 90° satu buah, cabang-T satu buah dan *bulk density* pupuk NPK adalah 1260 kg/m³. Dengan kecepatan pneumatik yang direkomendasikan sebesar 38 m/s (Srivastava et al. 1993). Kehilangan tekanan di saluran akibat udara (ΔP_L) sebesar 0.0526 kPa, *pressure drop* akibat percepatan partikel (ΔP_a) sebesar 5.605 kPa, *pressure drop* akibat gesekan padatan (ΔP_s) sebesar 0.0001 kPa, *pressure drop* akibat pengangkatan vertikal (ΔP_g) sebesar 0 kPa, *pressure drop* di belokkan (ΔP_b) sebesar 0.7124 kPa, maka penurunan tekanan dalam sistem pneumatik berdasarkan persamaan (1) adalah:

$$\Delta P = 0.0526 + 5.605 + 0.0001 + 0 + 0.7124 = 6.3701 \text{ kPa} \quad (2)$$

Selanjutnya daya *blower* yang dibutuhkan tergantung pada kecepatan aliran udara volumetrik dan total *pressure drop* sistem. Daya yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan (3) dari udara standar.

$$P = \frac{\Delta P Q}{\eta_b} \quad (3)$$

$$P = \frac{6.3701 \times 0.0021}{0.7} = 0.71 \text{ kW} \quad (4)$$

Dalam persamaan (3): P adalah daya *blower* (kW), Q adalah kecepatan aliran volumetrik udara (m³/s), η_b adalah efisiensi *blower* (0.5-0.7).

Jadi, PTO dari traktor (*crawler type tractor*) harus memiliki daya yang lebih besar dari 0.71 kW untuk memutar *blower*.

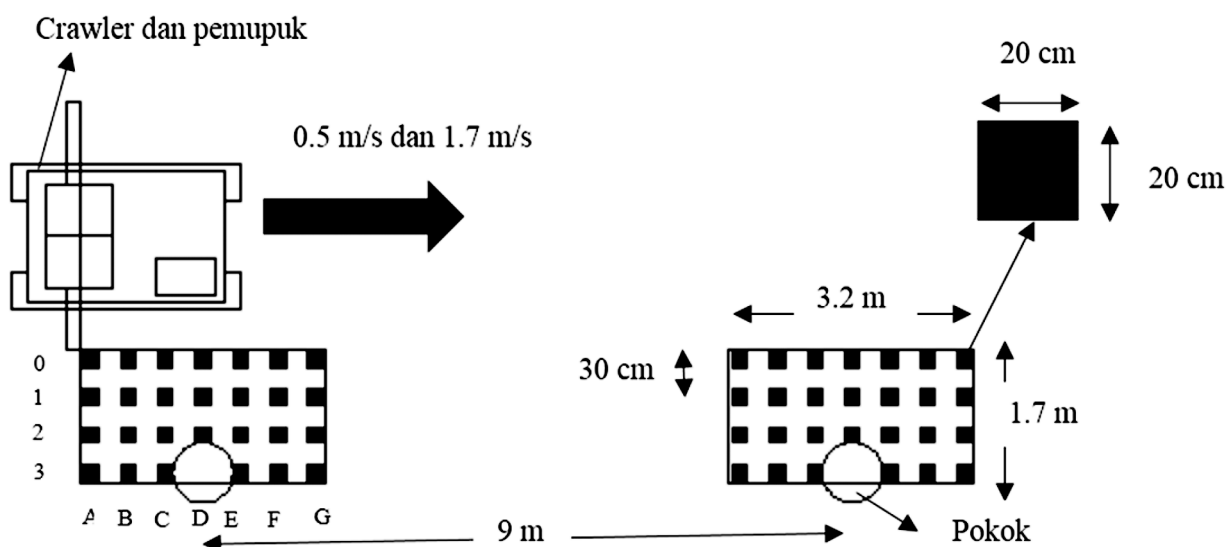
Untuk mengetahui kondisi aliran pupuk pada sistem pneumatik, dilakukan simulasi menggunakan aplikasi CFD (*Computational Fluids Dynamics*) pada perangkat lunak *SolidWorks* 2011. Bagian yang disimulasikan adalah bagian kotak pencampur

pupuk dan udara yang terletak di bagian bawah *hopper*. Bagian ini berfungsi untuk mencampur pupuk dengan aliran udara. Dengan ini butiran-butiran pupuk dihembuskan oleh aliran udara menuju ke *diffuser* yang selanjutnya dihembuskan ke permukaan lahan. Simulasi dilakukan karena pola pergerakan pupuk di dalam saluran sulit untuk diamati. Dalam simulasi ini, debit udara dari *blower* di-set 0.3375 m³/s sesuai dengan debit optimum yang dihasilkan *blower*, debit pupuk 0.23 kg/s, dan ukuran diameter butiran pupuk 4 mm.

Metode Pengujian Kinerja

Sebelum dilakukan pengujian kinerja mesin, dilakukan pengamatan untuk mengetahui dan memastikan tiap-tiap bagian dapat berfungsi dengan baik. Sistem pneumatik dipasang dengan kelengkapan mesin pemupuk yang lainnya, lalu dipasang di atas traktor. Pengujian kinerja mesin dilakukan di lahan datar dengan perlakuan kecepatan maju 0.55 dan 1.7 m/s. Variasi dosis pemupukan yang akan diuji adalah 0.25, 0.75, 1.0, 1.25 dan 1.5 kg/tanaman. Untuk mengukur sebaran pupuk di permukaan yang ditargetkan, maka dipasang lapisan karpet di atas permukaan tanah. Pada karpet dibuat pola kotak-kotak pengamatan pupuk yang masing-masing berukuran 20 cm × 20 cm (Gambar 3). Jarak spasi antar kotak adalah 30 cm. Mesin dijalankan pada jalur sejajar pokok tanaman sedemikian rupa sehingga jarak ujung *diffuser* ke pokok 160 cm. Dalam pengujian, pupuk yang dikeluarkan dari *diffuser* akan tersebar di permukaan kotak-kotak pengamatan. Pupuk di setiap kotak pengamatan ditimbang, untuk diperoleh sebarannya.

Selain itu, dilakukan juga pengujian akurasi pengeluaran pupuk (dosis) tiap pokok tanaman dengan cara menampung pupuk yang keluar dari ujung *diffuser* menggunakan kantong plastik, dan ditimbang. Pengujian dilakukan tiga kali ulangan baik *diffuser* kanan maupun kiri, untuk setiap perlakuan.



Gambar 3. Skema pengukuran sebaran pemupukan.

Pengukuran dosis pemupukan dilakukan dalam dua kondisi yaitu: 1) secara statis (mesin tidak bergerak maju) dan 2) dinamis (mesin bergerak maju).

Hasil dan Pembahasan

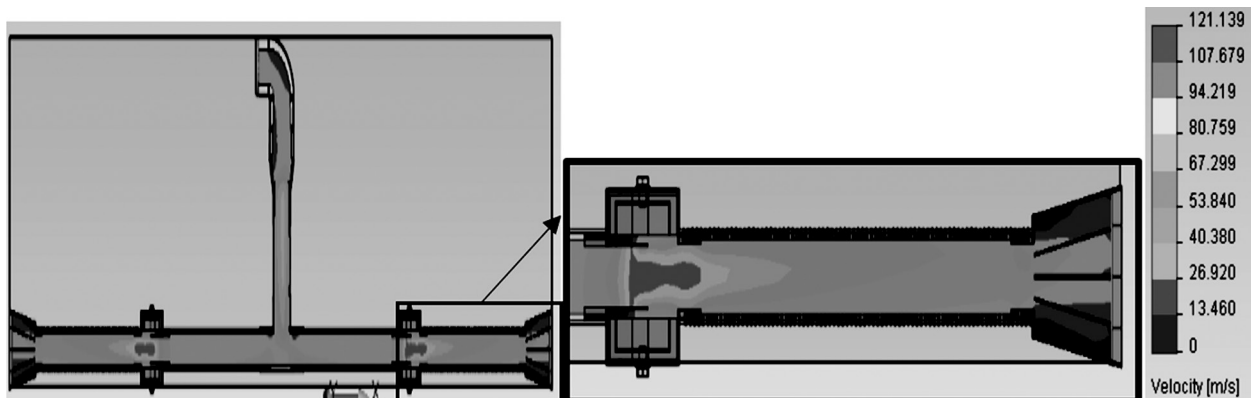
Simulasi Aliran Udara Bertekanan dan Aliran Pupuk dalam Sistem Pneumatik

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kecepatan aliran udara pada *inlet* kotak pencampur, bagian kiri berwarna biru muda seperti pada Gambar 4, yaitu sebesar 40.380 m/s. Hasil simulasi memberikan nilai kecepatan udara pada *outlet* kotak pencampur sebesar 53.840 m/s. Terjadi peningkatan kecepatan pada bagian tengah bawah kotak pencampur. Hal ini disebabkan adanya sirip pencampur yang menyebabkan perubahan ukuran saluran yang menjadi lebih kecil dari *inlet* kotak pencampur. Besarnya kecepatan pada bagian tengah bawah kotak pencampur adalah 80.759 sampai 121.139 m/s. Hasil simulasi aliran udara memperlihatkan bahwa kecepatan udara pada *inlet* dan *outlet diffuser* adalah 26.92 m/s dan 13.46 m/s. kecepatan udara pada *outlet diffuser* kanan dan kiri adalah 12.8 m/s dan 12.2 m/s. kecepatan udara pada *outlet diffuser* hasil simulasi dengan hasil pengukuran tidak jauh berbeda. Hal ini membuktikan bahwa sistem pneumatik dapat berfungsi sesuai dengan yang direncanakan.

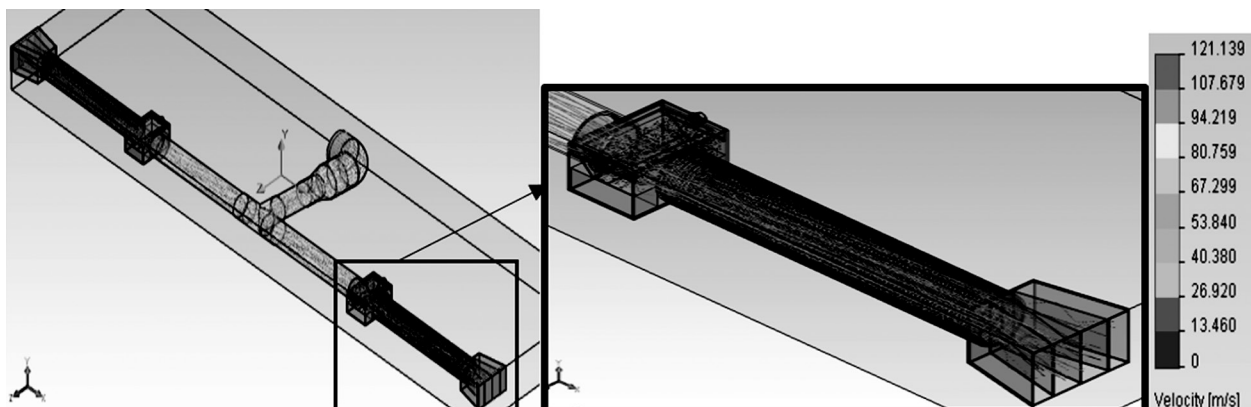
Sebaran pupuk dari kotak pencampur mencapai *diffuser* memanfaatkan aliran udara bertekanan yang dihasilkan *blower*. Dari pengukuran karakteristik pupuk NPK 15.15.15, diketahui ukuran diameter butiran pupuk 2.36 - 4.76 mm dari 82.56 % dari total massa pupuk yang diukur. Pupuk yang berdiameter 4 mm dan memiliki *bulk density* 1260 kg/m³ relatif memiliki pengaruh aerodinamika karena luas permukaan yang besar. Semakin besar ataupun kasar permukaan butiran maka akan semakin besar efek aerodinamika yang bekerja pada butiran tersebut jika berada dalam aliran udara (Griff *et al.* 1997). Aliran pupuk dari kotak pencampur sampai *diffuser* telah disimulasikan dan hasilnya disajikan pada Gambar 5. Pada simulasi ini butiran pupuk memiliki kecepatan terbesar pada kotak pencampur bagian tengah bawah sebesar 80.759 m/s. Hal ini disebabkan oleh saluran aliran udara mengecil dengan adanya sirip pencampur. Pada bagian tengah atas kotak pencampur butiran pupuk memiliki kecepatan yang rendah karena aliran udara yang berasal dari *blower* terhalang oleh sirip pencampur. Namun, butiran pupuk tersebut mendapat gaya dorong yang berasal dari *metering device* sehingga tidak terjadi penumpukan pupuk di kotak pencampur.

Sistem Pneumatik pada Prototipe Mesin Pemupuk dan Kinerjanya

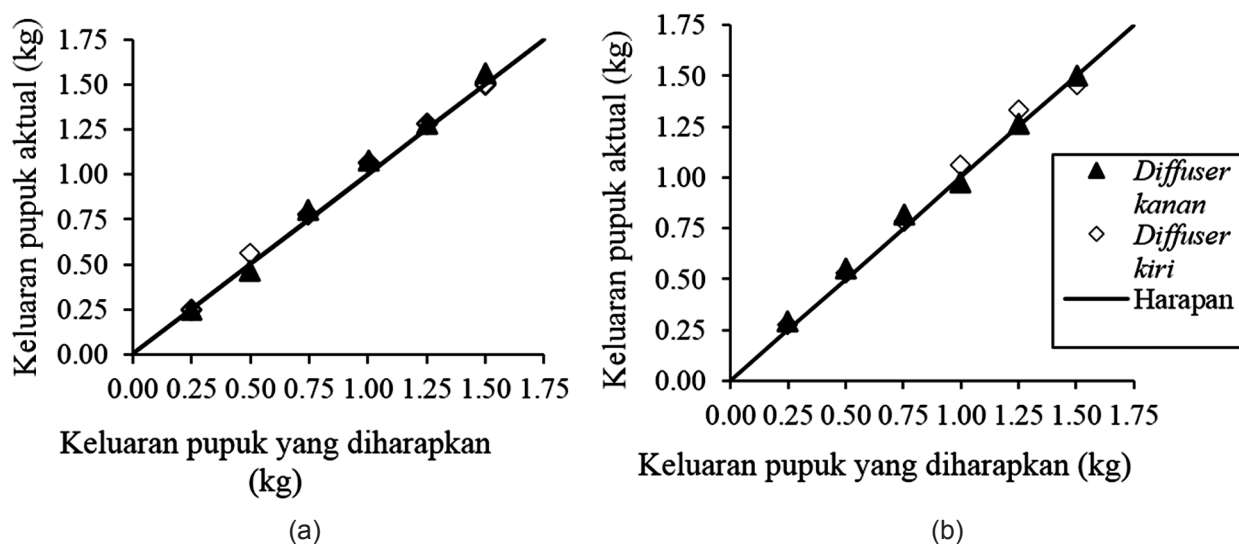
Sistem pneumatik yang digunakan adalah sistem



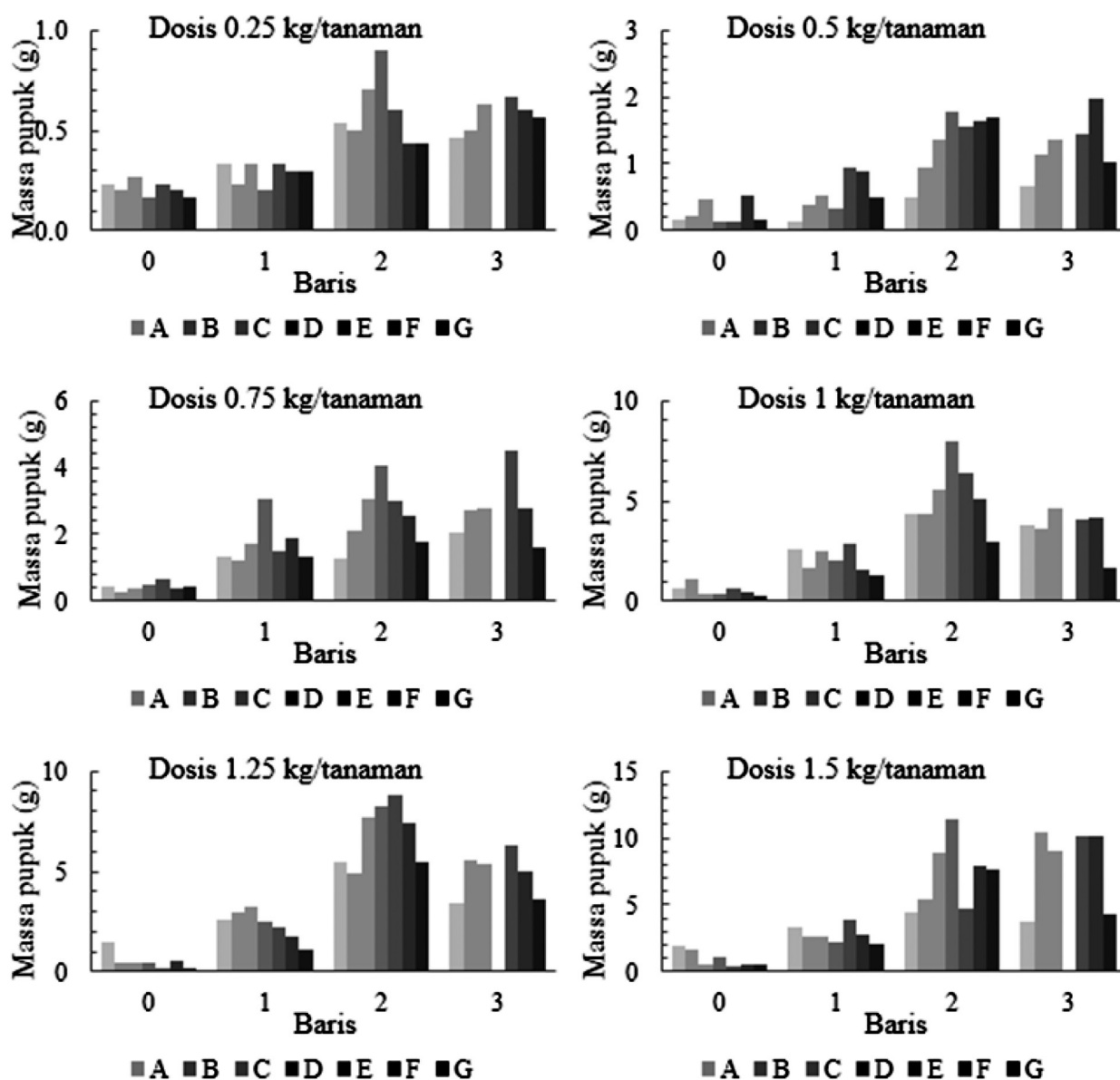
Gambar 4. Simulasi aliran udara di kotak pencampur sampai *diffuser*.



Gambar 5. Simulasi aliran pupuk di kotak pencampur sampai *diffuser*.



Gambar 6. Grafik hasil pengujian dosis pupuk (a) statis (b) dinamis.



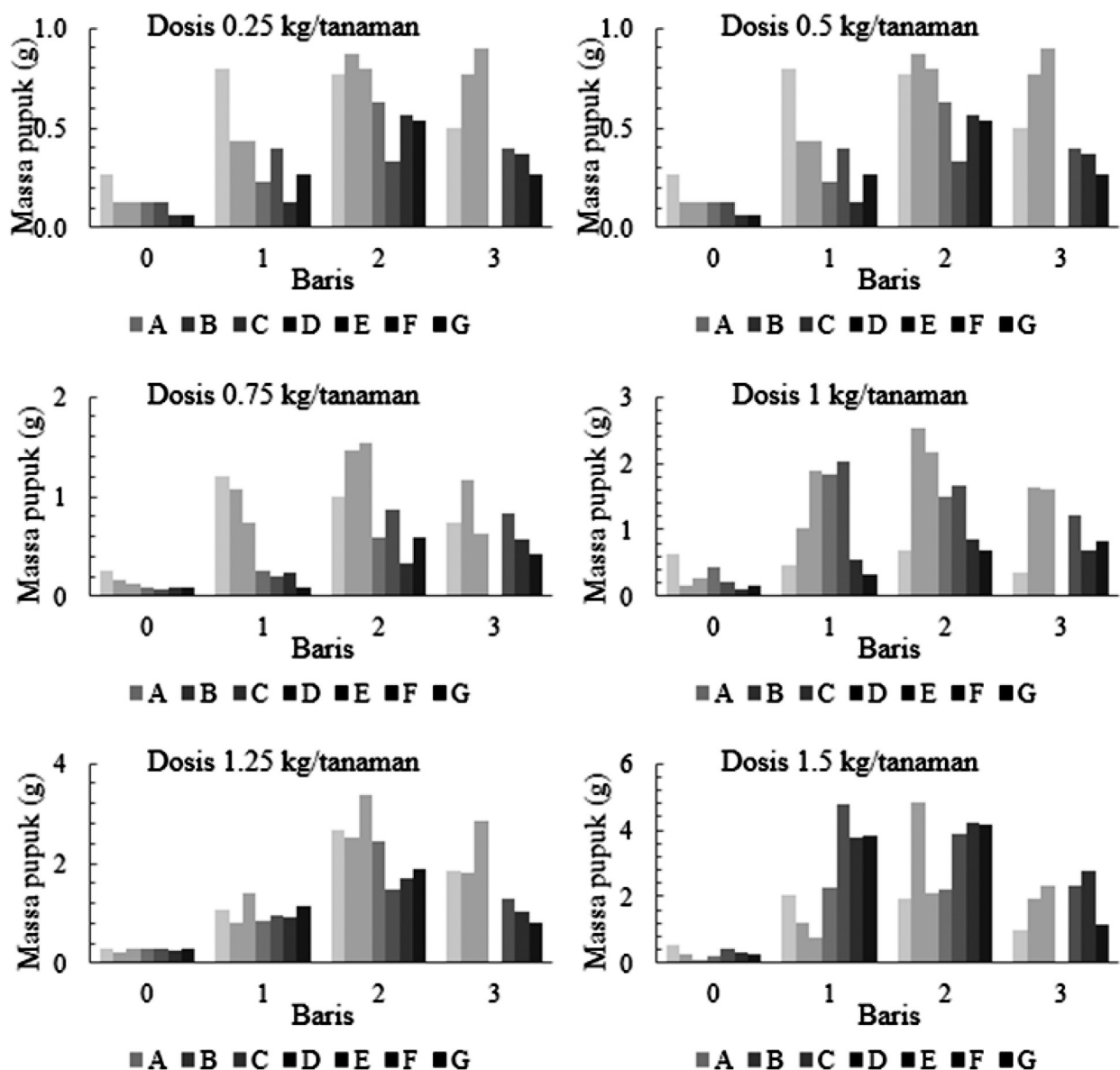
Gambar 7. Sebaran pupuk pada kecepatan maju mesin 0.55 m/s.

pneumatik positif (Srivastava *et al.* 1993). Sistem pneumatik pada prototipe mesin pemupuk berupa *blower*, saluran berupa pipa PVC dan aksesoris, kotak pencampur, pipa fleksibel dan *diffuser*. Sistem pneumatik ini menggunakan *blower* dengan spesifikasi *intermediate pressure blower* tipe CZR-750W. *Blower* ini telah mengakomodasi kebutuhan daya sistem pneumatik yaitu 0.71 kW karena *blower* dapat dioperasikan pada daya 0.75 kW dan menghasilkan debit sebesar $\pm 0.3375 \text{ m}^3/\text{detik}$ pada kecepatan putar 3000 rpm. Karena kecepatan putar PTO yang tersedia 648 rpm (Aswin 2015), maka untuk meningkatkan kecepatan putarnya digunakan sistem transmisi dua pasang sabuk-puli dan poros antara. Sistem sabuk-puli yang pertama memiliki ratio 1:3 dan yang kedua memiliki rasio 1:2. Tipe sabuk yang dipilih adalah tipe B ganda, sesuai dengan perhitungan penyaluran daya dan putaran, menggunakan diagram pemilihan sabuk-V (Sularso dan Suga 2004). *Blower* diletakkan pada

bagian belakang sebelah kanan dan mempunyai arah putar *blower* searah jarum jam jika dilihat dari belakang. Hal ini sama juga pada mesin pemupuk padi yang dirancang Kim *et al.* (2008) dan Gunawan *et al.* (2013).

Hasil pengujian akurasi penjabatan pupuk sebesar 99.16 % - 99.66 % menunjukkan bahwa mesin dapat menaburkan pupuk dengan akurat sesuai dosis yang di-set, baik pada pengujian statis maupun dinamis, seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Ada sedikit perbedaan antara keluaran yang diharapkan dengan keluaran pupuk aktual, yang disebabkan oleh kurang presisinya ukuran auger dari *metering device* akibat proses pabrikasi yang masih konvensional dan sederhana.

Pengujian sebaran dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8. Hasil analisis sebaran pupuk di permukaan target menunjukkan bahwa sebaran pupuk kurang merata. Pupuk lebih banyak tersebar di baris dua dan tiga, yaitu pada jarak 1 - 1.6 m



Gambar 8. Sebaran pupuk pada kecepatan maju mesin 1.7 m/s.

dari ujung *diffuser*. Hal ini terjadi karena lintasan pupuk dari *diffuser* sampai jadi ke lahan berbentuk setengah parabola. Dengan demikian jarak optimum jatuhnya pupuk dari *diffuser* adalah 1 m. Sebaiknya dibuat pengatur kemiringan di rangka penahan pipa fleksibel agar pupuk bisa tepat ditabur di piringan pokok tanaman. Selain itu juga, dari hasil pengujian terlihat bahwa pupuk lebih banyak tersebar pada kolom C, D dan E. Hal ini disebabkan oleh penjatahan pupuk pada mesin ini tidak kontinu hanya memupuk per tanaman sehingga pada awal saat memupuk hanya sedikit pupuk yang keluar dari *metering device*. Pada saat pertengahan pemupukan, pupuk yang keluar lebih banyak.

Pada kecepatan 0.55 m/s koefisien ragamnya bervariasi antara 0.47 (dosis 0.25 kg/tanaman) sampai 0.76 (dosis 1.5 kg/tanaman). Pada kecepatan 1.7 m/s koefisien ragamnya bervariasi antara 0.63 (dosis 0.5 kg/tanaman) sampai 0.77 (dosis 0.75 kg/tanaman). Hal ini menggambarkan penyebaran pupuk pada dosis yang kecil cenderung lebih seragam. Koefisien ragam dari kecepatan 0.55 m/s dan 1.7 m/s tidak jauh berbeda. Oleh sebab itu, mesin dapat dioperasikan dengan kecepatan 0.55 m/s dan 1.7 m/s.

Simpulan

1. Desain sistem pneumatik pada mesin pemupuk dapat menebarkan pupuk di sekitar pokok tanaman sawit.
2. Daya yang dibutuhkan untuk menghembuskan pupuk adalah 0.71 kW.
3. Dosis pupuk yang dihembuskan oleh mesin sudah sesuai dengan yang dosis yang di-set.
4. Jarak optimum jatuhnya pupuk dari *diffuser* adalah 1 m.
5. Mesin pemupuk dapat dioperasikan pada kecepatan maju 0.55 m/s dan 1.7 m/s.

Saran

Sebaiknya dibuat pengatur kemiringan di rangka penahan pipa fleksibel agar pupuk bisa tepat ditabur di piringan pokok tanaman dengan seragam.

Daftar Pustaka

- Aswin, D.B. 2015. Rancangan konseptual mesin penggerak aplikator pupuk butiran dengan mekanisme pengangkat pelepah daun (skripsi). Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian. Bogor.
- Cunningham, F.M. dan E.Y.S. Chao. 1967. Design relationships for centrifugal fertilizer distributors. Transactions of the ASAE Vol. 10(1):91-95.
- Fauzi, Y., Y.E. Widyastuti, I. Satyawibawa, R.H. Paeru. 2012. Kelapa Sawit. Depok. Penebar Swadaya.
- Griff, T.E., J.T. Walker, J.E. Hofstee. 1997. Aerodynamic properties of individual fertilizer particles. American Society of Agriculture Engineers Vol. 40(1):13-20.
- Gunawan, P., R.P.A. Setiawan, I.W. Astika. 2013. Pengembangan dan uji kinerja mesin pemupuk dosis variable pada budidaya padi sawah dengan konsep pertanian presisi. Jurnal Keteknikan Pertanian Vol. 25(1):1-9.
- Irfansyah, D.A. 2015. Desain dan uji kinerja penjatah pupuk untuk mesin pemupukan kelapa sawit (skripsi). Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian. Bogor.
- Kim, Y.J., H.J. Kim, K.H. Ryu, J.Y. Rhee. 2008. Fertilizer application performance of a variable rate pneumatic granular applicator for rice production. Journal of Biosystems Engineering Vol. 100(2008):498-510.
- Ridawati. 2002. Pemupukan tanaman kelapa sawit *Elaeis guineensis* Jacq di PTPN VII unit usaha Betung Krawo Musi Banyuasin Sumatera Selatan (skripsi). Departemen agronomi dan Hortikultura Fakultas Pertanian. Bogor.
- Srivastava, A.K., C.E. Goering, R.P. Rohrbach. 1993. Engineering Principles of Agricultural Machines. Michigan. American Society of Agriculture Engineers.
- Sularso dan K. Suga. 2004. Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin. Jakarta. Pradnya Paramita.

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). JTEP terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi *online*. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energy alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makassar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), Dr.Ir. Lady Corrie Ch Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si. (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Pertimbangan Sifat Mekanik Pelepah Sawit Terhadap Proses Pengomposan Sebagai Acuan Desain Mesin Pencacah

Mechanical Properties of Palm Frond Consideration for Composting Process to Recommendation Chopper Machine Designing

Ramayanty Bulan, Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian Institut Pertanian Bogor.
E-mail: Ramayantybulan@gmail.com

Tineke Mandang, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Institut Pertanian Bogor
Jl. Lingkar Akademik, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680. E-mail: tineke_mandang_2003@yahoo.com

Wawan Hermawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Institut Pertanian Bogor
Jl. Lingkar Akademik, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680. E-mail: w_hermawan@ipb.ac.id

Desrial, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Institut Pertanian Bogor
Jl. Lingkar Akademik, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680. E-mail: desrial@ipb.ac.id

Abstract

Physical and mechanical properties of palm frond are very important factor for the development of palm oil waste utilization technology. The objective of this research was to determine mechanical properties of palm frond Frond for Chopper Machine Designing. The research of composting conduct with two composting factor combination, namely: composting starter composition (i.e. Bokashi, vermi-compost and natural composting) and piece of frond dimension (2 cm, 4 cm, and 6 cm). Sample was obtained from 5 years and 20 years palm oil trees. The average length of palm frond was 675.89 cm, average leaflet length at the palm frond base was 103.89 cm and average leaflet length at palm frond tip was 23.83 cm. Maximum compression strength at the 20 years-palm frond base was 8134.62 N and at the 5 years-palm midrib base was 4893.52 N. Maximum force requirement for cutting palm leaf was 67.67 N. The composting process indicates that Bokashi starter composition gives higher percentage of mass reduction on all variant of piece of frond dimension. Smaller piece of frond (2 cm) enable the composting process quicker and had a better result. Statistical analysis reveals that combination of composting factors have significant effect on C/N ratio but insignificant on NPK content.

Keywords: palm fronds, compression strength, chopper, composting, bokashi

Abstrak

Karakteristik fisik dan mekanik pelepah sawit merupakan faktor penting dalam pengembangan teknologi penanganan limbah pelepah sawit. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan karakteristik fisik dan mekanik dari pelepah sawit untuk mendesain mesin pencacah daun sawit. Kombinasi metode pengomposan (bokashi, vermikompos, natural kompos) dan ukuran cacahan daun sawit (2 cm, 4 cm, 6 cm) juga diteliti. Sampel pelepah sawit diperoleh dari pohon yang berumur 5 tahun dan 20 tahun. Panjang pelepah sawit adalah 675.89 cm, panjang daun rata-rata pada pangkal adalah 103.89 cm dan panjang daun rata-rata pada ujung pelepah adalah 23.83 cm. Kekuatan tekan maksimum pelepah pada bagian pangkal pelepah yang berumur 20 tahun yaitu 8134.62 N dan pada pelepah yang berumur 5 tahun yaitu 4893.52 N. Tahanan potong maksimum daun adalah 67.67 N. Proses pengomposan menunjukkan bahwa metode pengomposan bokashi memberikan persentase penurunan massa yang paling besar dibandingkan dengan metode lainnya. Cacahan daun pelepah 2 cm memberikan proses pengomposan yang lebih baik. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa metode pengomposan memberikan pengaruh yang signifikan pada rasio C/N tetapi tidak signifikan pada kandungan NPK.

Kata kunci: Pelepah sawit, kekuatan tekan, mesin pencacah, pengomposan, bokashi.

Diterima: 02 Februari 2016; Disetujui: 22 Maret 2016

Pendahuluan

Luas perkebunan kelapa sawit menurut laporan internasional dalam *Oil World Annual* tahun 2010 mengalami peningkatan sebesar 12.6 juta ha dengan produksi mencapai 32 juta ton CPO (Germer dan Sauerborn 2008). Mielke (2011) memprediksi permintaan global dari CPO akan terus meningkat hingga mencapai 63 juta ton pada tahun 2015. Perkebunan kelapa sawit yang luas tersebut juga menghasilkan biomassa sebesar 96 % dalam bentuk pelepah sawit, batang sawit dan tandan kosong sawit (Corley dan Tinker 2003). Biomassa dari perkebunan kelapa sawit dalam bentuk pelepah sawit yang dihasilkan dari proses kastrasi, penunasan (*pruning*) dan pemanenan belum dimanfaatkan secara baik. Pelepah sawit hanya ditumpuk sebagai limbah pada antar baris tanaman sawit (gawangan mati).

Hartmann (1991) menyebutkan bahwa biomassa hasil penunasan diperkirakan menghasilkan 10 ton per ha per tahun. Tanaman kelapa sawit menghasilkan 30 - 40 pelepah sawit per tahun ($2.4 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{tahun}^{-1}$) pada fase tanaman belum menghasilkan (TBM) dan 18 - 24 pelepah sawit per tahun ($52 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{tahun}^{-1}$) pada fase tanaman menghasilkan (TM) (Aholoukpe *et al.* 2013, Morel *et al.* 2011). Hasil penelitian lainnya oleh Zahari *et al.* (2002) menyebutkan bahwa dalam satu siklus hidup tanaman kelapa sawit menghasilkan 26 juta ton pelepah sawit. Besarnya potensi pelepah sawit yang dihasilkan tersebut maka diharapkan pemanfaatan pelepah sawit untuk berbagai keperluan perlu dikembangkan.

Salah satu potensi pemanfaatan limbah pelepah sawit adalah diadakannya sebagai pupuk organik dan mulsa organik. Sarwono (2008) menyebutkan bahwa pupuk organik dan mulsa organik dapat digunakan sebagai substitusi pupuk anorganik dalam usaha konservasi lahan. Hal tersebut tidak mempengaruhi proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman kelapa sawit dimana pupuk organik dan mulsa organik yang digunakan berbahan dasar limbah tandan kosong sawit. Potensi pupuk organik dan mulsa organik berbahan dasar limbah dari kelapa sawit dapat ditambah dengan memanfaatkan pelepah sawit sebagai bahan dasar pembuatan pupuk organik.

Pelepah kelapa sawit secara umum terdiri menjadi tiga bagian yaitu daun, *rachis* dan *petiole* (Gambar 1). Daun yang menempel pada pelepah kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku kompos dengan terlebih dahulu dilakukan proses pengecilan ukuran melalui pencacahan. *Rachis* dan *petiole* dapat dimanfaatkan sebagai mulsa organik dengan proses pengempaan (pemipihan) terlebih dahulu. Limbah biomassa dalam bentuk batang dan pelepah diperoleh pada masa produksi di lahan perkebunan kelapa sawit (Wanzhari *et al.* 2002).

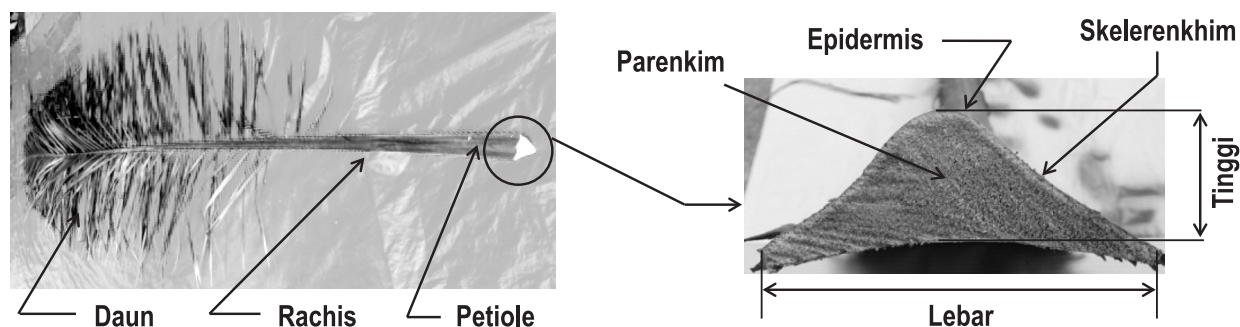
Pengomposan daun sawit dan menjadikan pelepah sawit menjadi mulsa memerlukan sebuah mesin pengempa pelepah sawit dan pencacah daun sawit untuk mempermudah dan mempercepat prosesnya. Oleh sebab itu penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik teknik pelepah dan daun sawit sebagai dasar perancangan mesin pengempa pelepah sawit dan pencacah daun sawit. Hasil cacahan daun sawit selanjutnya diuji untuk menentukan ukuran cacahan daun sawit dan teknik pengomposan daun sawit yang paling tepat sebagai pupuk organik.

Bahan dan Metode

Bahan dan Peralatan Uji

Bahan uji adalah pelepah sawit (varietas tenera) yang diambil dari tanaman berumur 5 dan 20 tahun dari perkebunan kelapa sawit AGH Cikabayan IPB (Gambar 1). Pengujian karakteristik pelepah disiapkan pelepah yang segar (baru dipotong) dan yang telah disimpan pada 3, 5, 7, 9 hari setelah dipotong dari tanaman sawit. Bahan yang digunakan dalam pengomposan adalah *effective microorganisme* (EM₄), kotoran sapi, cacing *Lumbricus Rubellus* dan aluminium foil.

Peralatan yang digunakan untuk pengujian kekuatan tekan adalah mesin instron type 3369P7905. Untuk pengujian sifat fisik pelepah sawit dan daun sawit digunakan jangka sorong, timbangan digital, oven, dan desikator. Alat untuk percobaan pengomposan adalah bak fermentasi dan termometer.



Gambar 1. Pelepah sawit dan penampang melintang pelepah kelapa sawit.

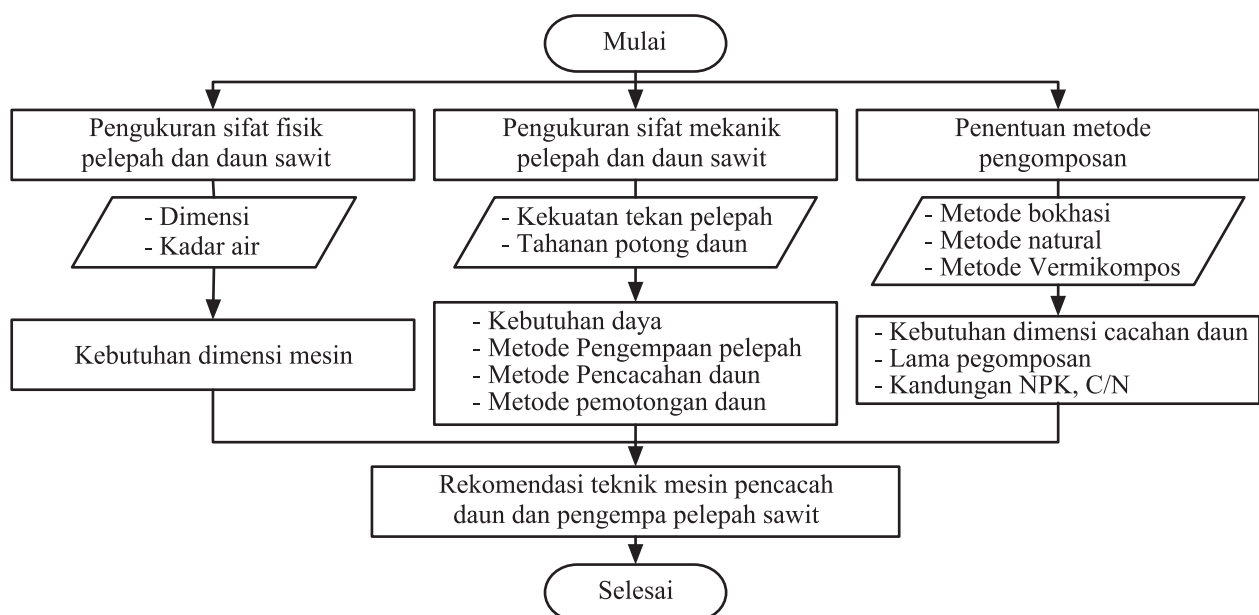
Prosedur Penelitian

Pertimbangan sifat fisik dan mekanik pelepah sawit terhadap metode pengomposan dilakukan melalui tiga tahap seperti pada Gambar 2. Tiap tahap tersebut akan memberikan rekomendasi teknik dalam merancang mesin pencacah daun dan pengempa pelepah sawit. Dimensi pelepah dan daun sawit yang diukur adalah pada bagian pangkal, tengah dan ujung pada umur tanaman 5 dan 20 tahun. Kadar air daun sawit diukur pada durasi penyimpanan 3, 5, 7, 9 hari. Kadar air pelepah diukur pada bagian parenkim dan kulit pelepah pada durasi penyimpanan 3, 5, 7, 9 hari.

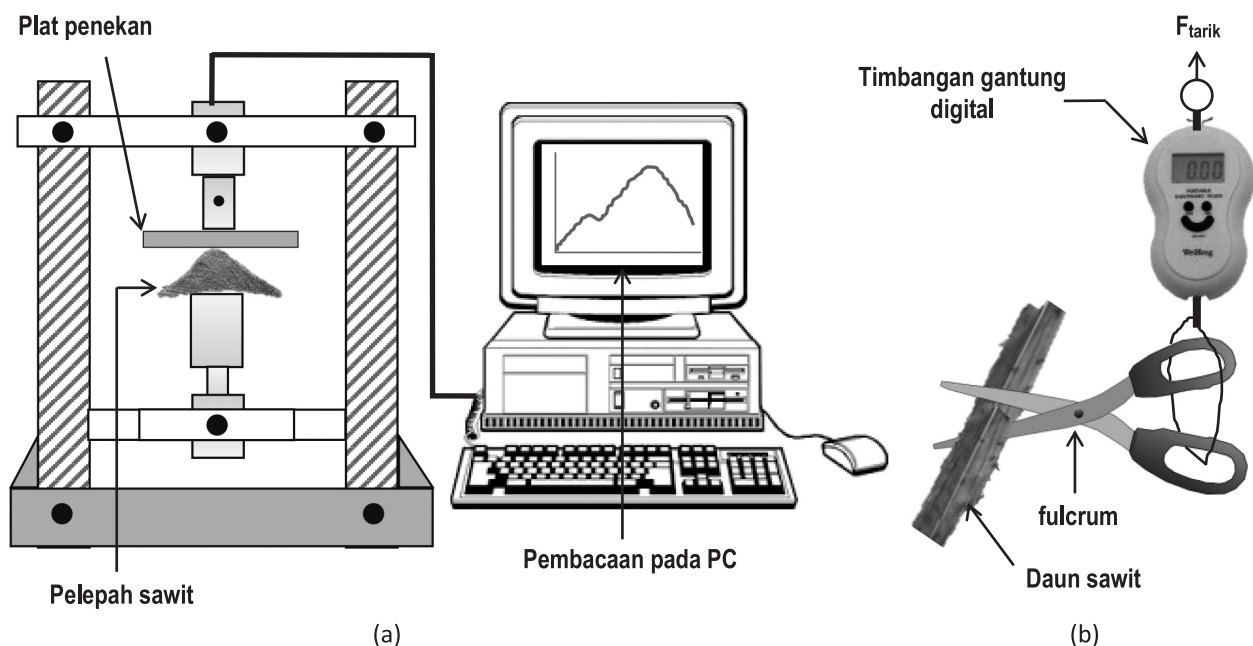
Karakteristik mekanik pelepah sawit yang diukur adalah kekuatan tekan dengan skema pada Gambar 3a. Pengujian kekuatan tekan pada pelepah dilakukan pada pangkal, tengah dan ujung

dari pelepah sawit. Karakteristik mekanik daun sawit yang diukur adalah tahanan potong statis. Tahanan potong daun sawit menggunakan metode gunting (Gambar 3b). Tahanan potong pada daun dilakukan pada pangkal, tengah dan ujung dari daun sawit.

Cara pengomposan yang optimum untuk cacahan daun sawit dilakukan dengan variasi metode pengomposan dan ukuran cacahan daun sawit. Perlakuan dalam metode pengomposan terdiri dari dimensi cacahan daun sawit (2 cm, 4 cm, 6 cm) dan metode pengomposan (bokashi, vermikompos, natural). Rancangan percobaan untuk menentukan metode pengomposan menggunakan rancangan acak lengkap. Parameter perlakuan diukur dalam durasi waktu 10 dan 20 minggu setelah pengomposan.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.



Gambar 3. Skema pengujian karakteristik mekanik (a) pelepah sawit (b) daun sawit.

Tabel 1. Dimensi pelepah dan daun sawit.

Sample	Parameter	Nilai	Satuan
Pelepah	Panjang pelepah	675.89	cm
	Berat pelepah	9.5	kg
	Lebar maksimum	180	mm
	Lebar minimum	11	mm
	Tinggi maksimum	64.5	mm
	Tinggi minimum	23.5	mm
Daun	Panjang daun di pangkal pelepah	103.89	cm
	Panjang daun di ujung pelepah	23.83	cm
	Berat daun pada pelepah	3.0	kg
	Diameter lidi	2.2	mm
	Tebal daun	0.2	mm
	Lebar daun	27.2	mm

Hasil dan Pembahasan

Sifat Fisik Daun dan Pelepah Sawit

Sifat fisik dari daun dan pelepah sawit dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil pengukuran sifat fisik pelepah dan daun pada Tabel 1 akan dijadikan sebagai dasar dalam menentukan dimensi dari mesin pengempa pelepah dan pencacah daun sawit. Salah contoh pada unit pengempa akan menggunakan pengempa tipe *roll* dengan jarak antar *roll* maksimum 20 mm. Hal ini didasarkan pada bahwa tinggi pelepah minimum adalah sebesar 23.5 mm.

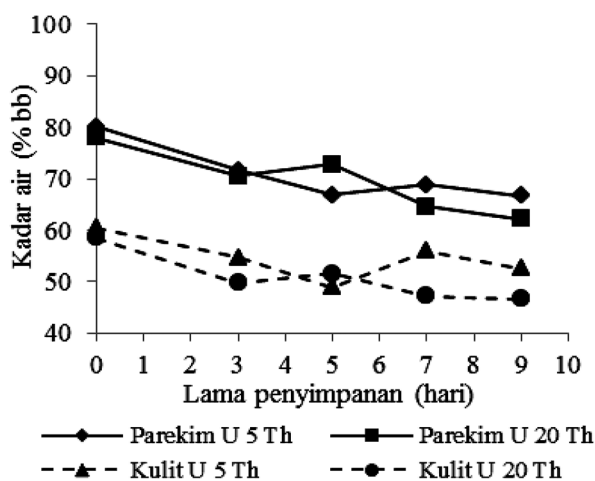
Hasil pengujian kadar air pada pelepah dan daun sawit ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil pengukuran kadar air tersebut menunjukkan bahwa kulit memiliki kadar air yang lebih rendah dibandingkan kadar air pada parenkhim. Hal ini disebabkan oleh struktur serat kulit lebih rapat dibandingkan struktur serat parenkhim sehingga air yang tersimpan dalam kulit lebih sedikit dibandingkan air yang tersimpan dalam parenkhim. Kulit pada pelepah tanaman

usia 20 tahun memiliki kandungan air lebih sedikit dibandingkan usia tanaman 5 tahun karena serat telah mengalami perkembangan dan memiliki struktur yang jauh lebih rapat. Hasil pengujian juga menunjukkan cenderung terjadi penurunan kadar air pada pelepah dan daun terhadap lama waktu penyimpanan. Hal tersebut diduga terjadi akibat pelepasan kadar air tidak terikat pada daun dan pelepah. Intara *et al.* (2005) juga menyebutkan bahwa jaringan parenkhim pelepah sawit akan menjadi layu (alot) ketika sudah mengalami penyimpanan.

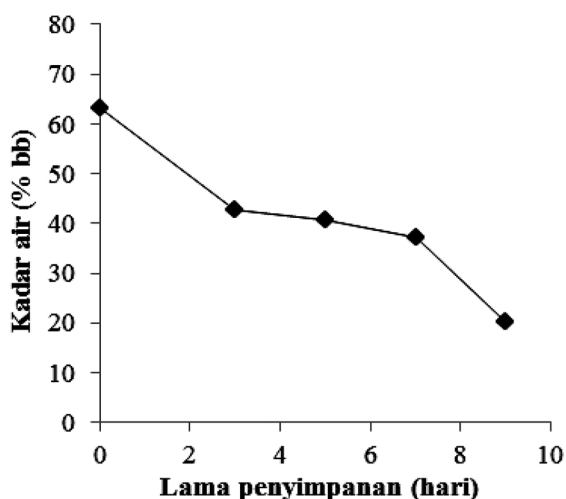
Sifat Mekanik Pelepah Sawit

Kekuatan tekan yang dibutuhkan untuk menekan pelepah paling besar yang dihasilkan dari tanaman berusia 5 tahun adalah pada bagian pangkal yaitu sebesar 4893.52 N. Pelepah yang dihasilkan tanaman yang berusia 20 tahun, kekuatan tekan yang paling besar terdapat pada bagian pangkal yaitu sebesar 8134.62 N. Sebagai perbandingan menurut Lakkad dan Patel (1981), bambu memiliki kekuatan tekan sebesar 164160 N. Besarnya kekuatan tekan untuk mengempa pelepah pada umur tanam 20 tahun ini akan dijadikan sebagai dasar untuk menentukan daya yang harus disediakan dalam perancangan mesin pencacah dan pengempa limbah panen sawit.

Hasil uji penekanan pelepah yang diambil dari tanaman berusia 20 tahun dan berusia tanaman 5 tahun pada berbagai umur simpan dapat dilihat pada Gambar 5. Hasilnya menunjukkan bahwa cenderung terjadi penurunan nilai kekuatan tekan terhadap lama waktu penyimpanan. Pelepah segar membutuhkan nilai uji tekan yang lebih besar dibandingkan pelepah yang telah disimpan. Pelepah pada bagian pangkal memberikan nilai uji tekan yang paling besar dari bagian tengah dan ujung pelepah. Hal ini disebabkan oleh struktur serat pelepah bagian pangkal lebih padat sehingga menghasilkan nilai uji tekan yang lebih besar agar



(a)



(b)

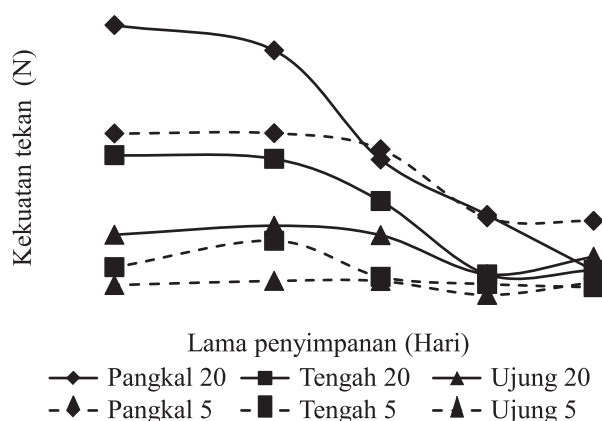
Gambar 4. Kadar air pada durasi penyimpanan (a) pelepah sawit (b) daun sawit.

terjadi pemipihan. Perubahan bentuk yang lebih pipih mengakibatkan kerusakan struktur kulit dan parenkhim pelepah dan akan menjadi lebih cepat terdekomposisi.

Besarnya tahanan potong daun sawit dengan metode gunting (Gambar 6) adalah sebesar 67.67 N pada bagian pangkal daun pada durasi penyimpanan 3 hari. Besarnya tahanan potong pada bagian pangkal daun sawit ini diduga disebabkan oleh besarnya diameter dari lidi pada bagian pangkal sawit. Besarnya diameter lidi ini menyebabkan tahanan potong yang dibutuhkan untuk memotongnya semakin besar. Besarnya tahanan potong daun sawit dijadikan sebagai dasar pertimbangan dalam penentuan metode pencacahan. Metode pencacahan daun sawit yang akan dipilih akan menentukan kualitas cacahan untuk proses pengomposan. Bernal *et al.* (2009) menyebutkan bahwa dimensi bahan merupakan faktor penting dalam pertumbuhan mikroorganisme pengomposan.

Fluktuasi Suhu dan Penyusutan Massa Selama Proses Pengomposan

Setiap tahapan proses pengomposan diindikasikan dengan fluktuasi suhu tumpukan. Suhu tumpukan pada masing-masing kombinasi komposisi dan ukuran pelepah berfluktuasi seiring berjalannya proses pengomposan. Komposisi bokashi mengalami peningkatan suhu tertinggi jika dibandingkan dengan komposisi kompos lainnya.

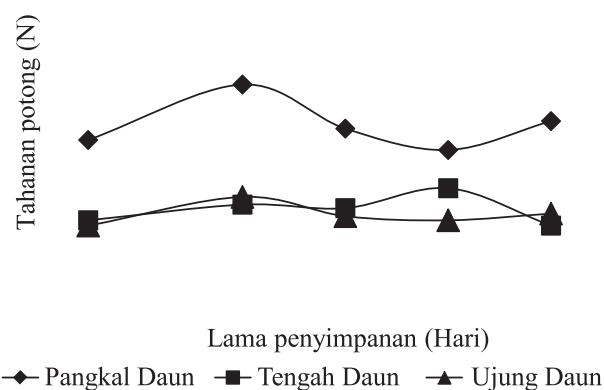


Gambar 5. Hasil uji tekan pelepah pada berbagai durasi penyimpanan.

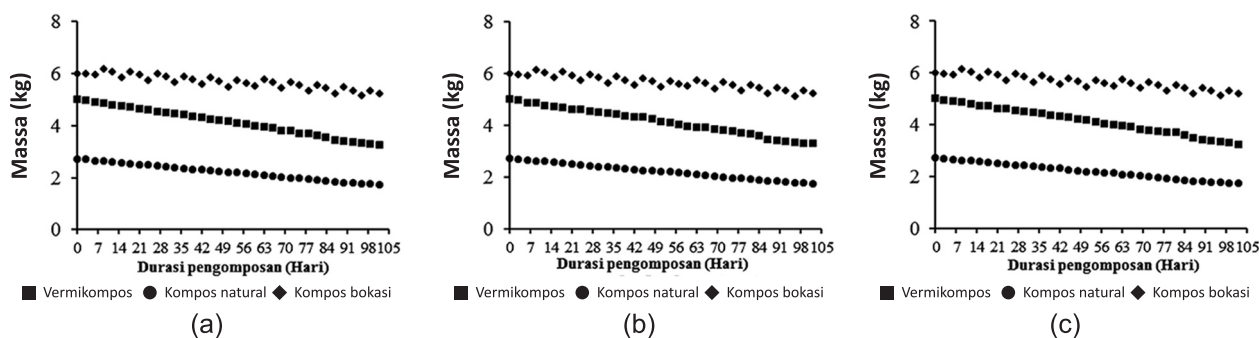
Hal ini sesuai dengan Francou *et al.* (2005) yang menyatakan bahwa pada tahapan awal, suhu tumpukan akan mendekati suhu 41°C. Peningkatan suhu dimungkinkan karena bakteri mesofilik sedang aktif bekerja mendekomposisi dan aktif melepaskan panas dari bahan organik yang diurai.

Hasil penelitian sebagaimana tampak pada Gambar 7, menunjukkan bahwa faktor perlakuan ukuran cacahan pelepah terkecil (2 cm) memberikan reduksi massa terkecil, yaitu 34.07% pada komposisi bahan katalisator kompos bokashi. Selama proses pengomposan, adanya energi panas yang dihasilkan oleh mikroorganisme berakibat mudah teruapnya uap air dan gas-gas lain ke udara bebas yang dihasilkan selama proses pengomposan. Gas-gas tersebut meliputi karbon dioksida, nitrogen monoksida dan gas-gas lainnya (Oviasogie *et al.* 2010).

Partikel kompos yang lebih besar mengakibatkan menurunnya rasio luas permukaan terhadap massa. Kompos dengan partikel yang lebih besar tidak terdekomposisi dengan baik karena bagian dalam dari partikel sulit dijangkau oleh mikroorganisme. Namun demikian, partikel kompos yang terlalu kecil akan mengakibatkan produk kompos yang padat dan porositasnya berkurang. Porositas dari produk kompos yang dihasilkan ditentukan oleh faktor-faktor yang berhubungan dengan bahan penyusun kompos, meliputi ukuran partikel dan distribusinya, bentuk, kepadatan, serta kadar air. Hal ini sesuai dengan penelitian oleh Bernal *et al.* (2009)



Gambar 6. Hasil uji tahanan potong daun sawit pada berbagai durasi penyimpanan.



Gambar 7. Persentase penurunan berat kompos cacahan (a) 2 cm (b) 4 cm (c) 6 cm.

Tabel 2. Hasil pengukuran N P K dan rasio C/N pada produk kompos.

Lama pengomposan (minggu)	Dimensi cacahan (cm)	Jenis Pupuk		
		Bokashi	Natural	Vermikompos
Kandungan N (%)				
10	2	0.93	0.82	0.84
	4	0.87	0.75	0.82
	6	0.80	0.65	0.72
20	2	0.99	0.89	0.92
	4	0.95	0.85	0.90
	6	0.92	0.83	0.87
Kandungan P (%)				
10	2	1.18	0.89	0.95
	4	1.13	0.85	0.89
	6	1.02	0.82	0.85
20	2	1.37	1.27	1.29
	4	1.34	1.27	1.25
	6	1.31	1.18	1.22
Kandungan K (%)				
10	2	0.29	0.27	0.27
	4	0.27	0.21	0.26
	6	0.23	0.17	0.24
20	2	0.35	0.29	0.31
	4	0.32	0.28	0.30
	6	0.31	0.22	0.28
Rasio C/N				
10	2	13.37a	18.30a	14.73a
	4	13.90b	18.67b	15.85b
	6	14.40c	18.67c	18.24c
20	2	11.05	12.72	12.21
	4	11.65	12.98	12.58
	6	12.09	13.24	13.15

Keterangan: Nilai yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%

Tabel 3. Analisis teknik desain mesin.

Komponen Analisis Desain	Unit Pengempa	Unit Penggunting	Unit Pencacah
Kekuatan tekan/tahanan potong (N)	8134.62	67.67	67.67
Torsi (N.m)	650.99	12.16	3.43
Diameter unit (mm)	160	180	100
Putaran (rpm)	100	120	1200
Kebutuhan daya (hp)	9.27	0.1	0.58
Diameter poros (mm)	46.79	9.86	8.10

menyatakan bahwa besarnya partikel kompos dan distribusinya merupakan faktor yang sangat penting guna menyeimbangkan luas permukaan partikel untuk pertumbuhan mikroorganisme dan mempertahankan aerasi udara yang cukup untuk proses pengomposan.

Kandungan NPK dan Rasio C/N Hasil Proses Pengomposan

Hasil pengukuran unsur hara NPK dan rasio C/N ditampilkan pada Tabel 2. Hasil analisis statistik

menunjukkan bahwa unsur hara NPK pada dua kali pengukuran (10 dan 20 minggu) tidak dipengaruhi secara signifikan oleh paduan kedua faktor perlakuan yang diberikan. Hasil yang berbeda ditunjukkan oleh rasio C/N pada pengukuran 10 minggu, dimana paduan kedua faktor perlakuan berpengaruh signifikan terhadap rasio C/N. Pada pengukuran rasio C/N 20 minggu, diketahui bahwa interaksi antar faktor perlakuan tidak signifikan.

Hasil penelitian ini memiliki kecenderungan yang sama terkait unsur NPK dan rasio C/N

Tabel 4. Spesifikasi komponen mesin.

Unit Mesin	Dimensi	Keterangan
Unit penggunting daun		Dimensi mesin dari unit penggunting dirancang menggunakan data karakteristik fisik daun (Tabel 1) dan hasil uji tahanan potong daun (Gambar 6))
1. Diameter poros	25 mm	
2. Diameter gunting	180 mm	
3. Jumlah penggunting	2 unit	
4. Jarak antar gunting	180 mm	
Unit pengempa pelepah		Dimensi dari unit pengempa dirancang menggunakan data karakteristik fisik pelepah (Tabel 1) dan hasil uji tekan pelepah (Gambar 5)
1. Poros silinder pengempa	50 mm	
2. Diameter <i>roll</i>	160 mm	
3. Panjang <i>roll</i>	400 mm	
4. Jarak antar <i>roll</i>	20 mm	
Unit pencacah daun		Dimensi dari unit pencacah dirancang menggunakan data karakteristik fisik daun (Tabel 1) dan hasil pengukuran NPK C/N rasio pengomposan daun (Tabel 2)
1. Poros pisau pencacah	25 mm	
2. Kecepatan putar pisau	1200 rpm	
3. Panjang pisau pencacah	500 mm	
4. Jumlah pisau	4	

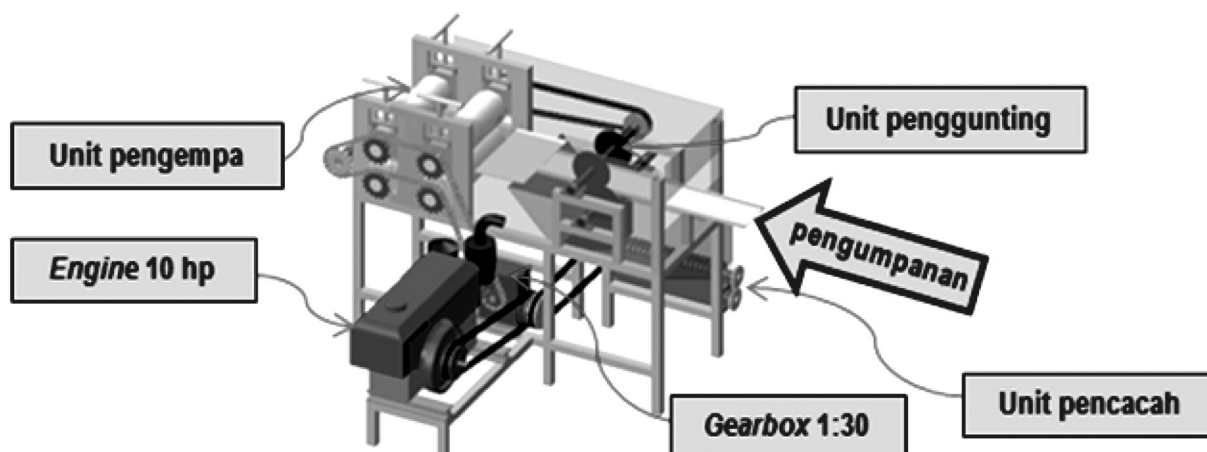
dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Suhaimi dan Ong (2001) yang melakukan proses pengomposan dengan bahan dasar tandan kosong sawit (*fruit empty bunch*). Penelitian tersebut mengindikasikan bahwa unsur NPK pada produk kompos cenderung naik seiring dengan berjalannya waktu pengomposan. Kecenderungan yang berbeda terdapat pada rasio C/N, dimana seiring dengan berjalannya waktu pengomposan, nilai rasio C/N akan menurun. Penelitian tersebut juga menyebutkan faktor lain selama proses pengomposan, seperti pengomposan terbuka atau tertutup serta pemberian pengadukan pada tumpukan bahan akan mempengaruhi nutrisi yang terkandung pada produk kompos yang dihasilkan.

Hasil kajian yang telah dilakukan, tampak bahwa kombinasi proses pengomposan dengan komposisi kompos bokashi dengan ukuran cacahan pelepah 2 cm dengan durasi pengomposan 10 minggu, merupakan kombinasi proses yang optimal. Hal ini mengingat unsur hara NPK yang tidak dipengaruhi secara nyata oleh kombinasi faktor perlakuan yang diberikan. Selain itu, komposisi kompos bokashi

dengan ukuran cacahan pelepah 2 cm lebih dipilih karena lebih mudah dari sisi ekonomi dan kepraktisan pembuatan.

Penggunaan Data Karakteristik untuk Analisis Desain

Keseluruhan komponen mesin dipilih dan ditentukan berdasarkan hasil pengukuran karakteristik fisik mekanik dan teknik pengomposan terbaik untuk pelepah sawit (Tabel 4). Mesin pencacah terdiri dari unit pengempa pelepah, unit pemotong dan pencacah daun. Pengempa pelepah menggunakan tipe *roll* dan pemotong daun menggunakan mekanisme pisau rotari. Pencacah daun menggunakan mekanisme pemotong tipe *reel/bedknife*. Jarak antar *roll* ditentukan berdasarkan pada tinggi pelepah minimum yaitu 23.5 mm sehingga didesain jarak antar *roll* 20 mm. Jarak antar pisau pemotong daun 180 mm didasarkan pada lebar pelepah maksimum. *Pitch* pencacah daun 20 mm berdasarkan dari hasil pengomposan yang terbaik pada dimensi cacahan 2 cm. Kebutuhan torsi, daya dan diameter poros (Tabel 3)



Gambar 8. Rancangan mesin pengempa dan pencacah pelepah kelapa sawit.

dihitung menggunakan standar ASME berdasarkan sifat mekanik kekuatan tekan pelepah dan tahanan potong daun (Sularso dan Suga 2004). Gambar dari hasil analisis desain ditampilkan pada Gambar 8.

Simpulan

1. Sifat fisik, mekanik dari pelepah sawit dan metode pengomposan cacahan daun sawit telah berhasil diperoleh dan dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam merancangan mesin pencacah daun dan pengempa pelepah sawit.
2. Metode pengomposan bokhasi dengan cacahan daun sawit 20 mm memberikan kandungan N, P, K dan C/N terbaik dengan durasi pengomposan 10 minggu.
3. Kekuatan tekan pelepah pada usia tanaman 20 tahun adalah 8134.62 N dan pada usia tanaman 5 tahun adalah 4839.52 N. Tahanan potong daun sawit maksimum 67.67 N per daun pada bagian pangkal daun.
4. Hasil pengujian karakteristik fisik dan mekanik pelepah sawit digunakan sebagai dasar perancangan mesin pencacah yang terdiri dari tiga unit yaitu unit pengempa, penggunting dan pencacah.

Daftar Pustaka

- Aholoukpe, H., B. Dubos, A. Flori, P. Deleporte, G. Amadji, J.L. Chotte, D. Blavet. 2013. Estimating aboveground biomass of oil palm: allometric equations for estimating frond biomass. *Journal Forest Ecology Management* 292: 122-129.
- Bernal, M.P., J.A. Alburquerque, R. Moral. 2009. Composting a animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Journal Bioresource Technology* 100: 5444-5453.
- Corley, R.H.V., P.B. Tinker. 2003. *The Oil Palm, fourth ed. World Agriculture*. 562p.
- Francou, C., M. Poitrenaud, S. Houot. 2005. Stabilization of organic matter during composting: influence of process and feedstocks. *Journal Compost Science Utilization* 13(1): 72-83.
- Germer, J., J. Sauerborn. 2008. Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance. *Journal ED Sustainability* 10: 697-716.
- Hartmann, C. 1991. *Evolution et comportement des sols sablo-argileux ferrallitiques sous culture du palmiers à huile. Cas de la plantation R. Michaux à Dabou en Côte d'Ivoire*. Thèse de Doctorat de l'Université de Paris 6.
- Intara, Y.I., IN. Suastawa, R.P.A. Setiawan. 2005. Sifat fisik dan mekanik parenkhim pelepah dan batang tandan sawit. *Jurnal keteknikan pertanian*. 19 (2): 117-126.
- Mielke, T. 2011. *The 22nd Palm and Lauric Oils Conference and Exhibition (POC 2011)*. Global demand for palm oil growing rapidly.
- Morel, A.C., S.S. Saatchi, Y. Malhi, N.J. Berry, L. Banan, D. Burslem, R. Nilus, R.C. Ong. 2011. Estimating aboveground biomass in forest and oil palm plantation in Sabah, Malaysian Borneo using ALOS PALSAR data. *Journal Forest Ecology and Management* 262: 1786-1798.
- Lakkad, S.C., J.M. Patel. 1981. Mechanical properties of bamboo, a natural composite. *Journal Fibre Science and Technology* 14 (4): 319-322.
- Oviasogie, P.O., N.O. Aisueni, G.E. Brown. 2010. Oil palm composted biomass: A review of the preparation, utilization, handling and storage. *African Journal of Agricultural Research* 5(13): 1553-1571.
- Sarwono, E. 2008. Pemanfaatan Jajang Kosong Sebagai Substitusi Pupuk Tanaman Kelapa Sawit. *Jurnal Aplika* 8 (1): 19-23.
- Suhaimi, M., H.K. Ong. 2001. Composting empty fruit bunches of oil palm. FFTC Publication. Malaysia Agricultural Resource Dev. Inst. Malaysia 1 November 2001.
- Sularso, K. Suga. 2004. *Dasar Perancangan dan Pemilihan Elemen Mesin*. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Zahari, M.W., O.A. Hassan, H.K. Wong, J.B. Liang. 2003. Utilization of Oil Palm Frond-Based Diets for Beef and Dairy Production in Malaysia. *Asian-Aust Journal Anim* 16(4): 625-634.

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). JTEP terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi *online*. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energy alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makassar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), Dr.Ir. Lady Corrie Ch Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si. (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Desain dan Pengujian Prototipe Sistem Kontrol Mesin Sprayer Dosis Variabel untuk Aplikasi Penyemprotan Pertanian Presisi

Design and Prototype Testing of Control Systems of Sprayer Machine on Variable Dose for Precision Farming Spraying Application

Muhammad Rizal, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Institut Pertanian Bogor.

Email: rizalmuhammad08@gmail.com

I Dewa Made Subrata, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Institut Pertanian Bogor.

Email: dewamadesubrata@yahoo.com

Radite Praeko Agus Setiawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Institut Pertanian Bogor.

Email: iwan_radit@yahoo.com

Abstract

Presently. Rise of crop production often face major obstacle, such as plant disease and pests. Crop losses can occur when plant disease and pests are not treated properly. However, excessive use of chemical pesticide cause environmental damage. The objective of present study was to develop and evaluate control system of variable rate sprayer and its performance for precision farming. The methods consist of some sequential steps i.e. measuring disease and pest intensity and determine its respective dose then input it in microcontroller grid sequence; controlling several sprayer components, i.e. pump motor, solenoid valve, and proximity sensor for plant detection; and conducting performance test of sprayer prototype based on microcontroller data input. The results showed that in order to obtain appropriate flow rate correspond to disease and pest intensity, a PWM (pulse width modulation) ranged of 100-250, 217-592 rpm of motor speed, 2-10 sec/plant of spray duration, and 4-11 ml/s of flow rate, were used. The field test with data input, i.e. 120 plants, with 8.1% and 15.5% of disease intensity, 10 and 8.3 ml/sec/row (10m/row), and 20 and 60 sec/plant of spray duration; generated average actual results with 10.2 and 7.8 ml/sec/row of flow rate and 23.2 and 64.3 sec/plant of spray duration. The field test also indicates 91% of precision time of application.

Keyword: pulse width modulation (PWM), control, flow rate, cabbage

Abstrak

Peningkatan produksi tanaman seringkali dihadapkan adanya gangguan hama dan penyakit. Kerugian besar bahkan kegagalan panen dapat terjadi bila gangguan tersebut tidak diatasi dengan baik. Penggunaan pestisida yang berlebihan membahayakan lingkungan dan kehidupan manusia akibat zat kimia yang terdapat pada pestisida. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang, pabrikasi dan menguji kinerja prototipe sistem kontrol mesin sprayer dosis variabel untuk aplikasi penyemprotan pertanian presisi. Metode pengujian yang digunakan yaitu input intensitas serangan hama, dosis semprotan tiap serangan, dan urutan grid pada mikrokontroler, mengontrol komponen sprayer seperti motor pompa, solenoid valve, dan sensor jarak deteksi tanaman, menguji kinerja prototipe mesin sprayer berdasarkan input yang diberikan pada mikrokontroler, dan melakukan penyemprotan secara presisi. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa untuk mencapai debit semprotan yang sesuai dengan intensitas serangan hama digunakan PWM 100-250, kecepatan motor 217-592 rpm, lama semprotan 2-10 detik/tanaman, dan debit 4-11 ml/detik. Hasil pengujian lapangan pada 120 tanaman dilakukan penyemprotan dengan debit 10 ml/detik setiap blok sepanjang 10 m pada intensitas serangan hama 8.1% diperoleh lama semprotan 20 detik. Sedangkan penyemprotan dengan debit 8.3 ml/detik per blok tanaman yang sama pada intensitas serangan hama 15.5% diperoleh lama semprotan 60 detik. Sehingga hasil pengujian lapang diperoleh lama penyemprotan rata-rata 23.2 detik dengan debit semprotan aktual 10.2 ml/detik dan 64.3 detik untuk debit semprotan aktual 7.8 ml/detik. Perbandingan antara prediksi dan aktual diperoleh akurasi penyemprotan sebesar 91%.

Kata kunci: PWM, kontrol, debit, tanaman kubis

Diterima: 02 Maret 2016; Disetujui: 13 Mei 2016

Latar Belakang

Perlindungan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit menggunakan pestisida, khususnya di Indonesia, masih dilakukan secara berlebihan tanpa pengontrolan dosis yang tepat. Dimana penggunaan pestisida khususnya yang bersifat sintesis berkembang luas karena dianggap paling cepat dan ampuh mengatasi gangguan hama. Namun, penggunaannya ternyata menimbulkan kerugian seperti resistensi hama, resurgensi hama, terbunuhnya musuh alami dan masalah pencemaran lingkungan dan sangat berbahaya bagi manusia (Kardinan, 2001).

Kondisi serangan yang berbeda-beda, menyebabkan perbedaan akan kebutuhan dosis pestisida pada tiap tanaman. Oleh karena itu kebiasaan petani dalam mengatasi serangan hama dan penyakit perlu diubah dengan cara melakukan penyemprotan pestisida hanya pada tanaman yang terjangkit. Tapi permasalahannya sekarang petani melakukan penyemprotan tanpa mengetahui distribusi serangan hama. Volume dan dosis pestisida yang seragam disemprotkan pada tanaman dengan jangkak penyakit yang berbeda sehingga menyebabkan penggunaan pestisida yang berlebihan pada tanaman.

Penentuan tingkat identifikasi serangan hama pada tanaman kubis sangat diperlukan sebagai acuan dalam penyemprotan tanaman presisi. Selama ini petani melakukan pemberantasan hama pada tanaman kubis tidak melakukan perhitungan tingkat serangan hama pada tanaman sehingga proses penyemprotannya berdasarkan keinginan petani bukan sesuai kebutuhan tanaman. Adapun metode penentuan tingkat serangan hama yang dilakukan petani dengan cara pengamatan langsung tanpa melalui perhitungan tertentu. Sehingga penentuan jumlah dosis yang akan diberikan tiap tanaman tidak diketahui.

Penggunaan pestisida terhadap hama secara presisi merupakan hal yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman dan pengendalian hama dan penyakit, dimana penggunaan pestisida yang berlebihan atau tidak sesuai akan membahayakan lingkungan dan kehidupan manusia akibat zat kimia yg terdapat pada pestisida. Karena itu untuk proses penggunaan pestisida secara presisi dibutuhkan teknologi yang mampu mengontrol dosis pestisida pada saat penyemprotan.

Tujuan dari penelitian ini untuk merancang, pabrikasi dan menguji kinerja prototipe mesin sprayer 2 alur dengan sistem kontrol pada dosis variabel untuk aplikasi penyemprotan presisi.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember

2014 – Desember 2015, bertempat di laboratorium Mekatronika dan Robotika bagian Teknik Mesin dan Otomasi, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Fateta IPB dan pengujian lapangan dilaksanakan di lahan Teaching Farm Sadifa Fakultas Pertanian IPB.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dibedakan menjadi peralatan konstruksi untuk pembuatan prototipe, peralatan elektronika untuk pembuatan sistem kontrol, dan peralatan untuk keperluan pengujian. Peralatan konstruksi antara lain peralatan bengkel konstruksi, mesin perbengkelan dan pengerjaan logam. Peralatan untuk pembuatan alat kontrol antara lain solder, obeng, bor, dan tang potong. Peralatan untuk pengujian antara lain multimeter, *tachometer tipe DT-2234C*, *stopwatch*, meteran, dan gelas ukur/tabung ukur. Rangkaian elektronika pendukung, seperti sakelar, adaptor dan pengaman beban lebih (sekring). Peralatan untuk pembuatan desain antara lain komputer dan software solidworks 2011 untuk pembuatan desain sistem mekanik, proteus 7 profesional untuk pembuatan rangkaian mikrokontroler, dan arduino 1.0.6 untuk pembuatan program mikrokontroler.

Bahan yang digunakan untuk konstruksi mesin adalah (1) plat baja berbagai ukuran, (2) baut dan mur berbagai jenis, dan (3) besi poros berbagai ukuran (4) nozzle, dan (5) sprayer elektrik. Bahan yang digunakan untuk rangkaian mikrokontroler adalah (1) arduino mega 2560, (2) sensor Ultrasonic SR 04, (3) motor shield L293D, (4) motor DC, (5) solenoid valve, (6) DI-Smart Rotary Encoder (sensor kecepatan motor) dan (7) bahan habis pakai untuk pengujian (pestisida, air, dan tanaman kubis).

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan kaidah perancangan (pengembangan) dengan beberapa tahapan. (1) Studi pustaka. (2) Identifikasi sistem. (3) Menganalisis komponen mesin yang akan dikembangkan. (4) Merancang/memodifikasi sistem mekanik mesin sprayer. (5) Merancang/memodifikasi perangkat keras sistem kontrol. (6) Pengujian fungsional prototipe mesin sprayer. (7) Kalibrasi prototipe mesin sprayer. (8) Pengujian laboratorium kinerja prototipe mesin sprayer. (9) Pengujian lapangan dan pengambilan data kinerja prototipe mesin sprayer.

Rancangan Fungsional

Secara keseluruhan konsep pengembangan sistem kontrol prototipe mesin sprayer dosis variabel untuk aplikasi penyemprotan pertanian Presisi dapat dilihat pada Gambar 1. Komponen yang digunakan beserta fungsinya pada prototipe mesin yang dibuat sebagai berikut:

a. Arduino mega 2560 merupakan mikrokontroler yang berfungsi untuk mengontrol penyemprotan

yang berdasarkan atas input dosis pestisida, input intensitas serangan hama dan input urutan grid semprotan pada program, mengontrol sensor deteksi tanaman (sensor *Ultrasonic SR 04*), mengontrol kecepatan motor DC, mengontrol DI-Smart Rotary Encoder (sensor kecepatan motor) dan mengontrol solenoid valve.

- b. Sensor *Ultrasonic SR 04* berfungsi untuk mendeteksi tanaman kubis berdasarkan tinggi tanaman yang digunakan sebagai dasar penentuan ketinggian nozzle.
- c. Nozzle (*cone nozzle*) digunakan untuk menghasilkan semprotan yang sesuai dengan luas kanopi tanaman kubis.
- d. Motor pompa sprayer berfungsi sebagai penghasil semprotan yang berdasarkan atas PWM kecepatan putaran motor.
- e. Solenoid valve berfungsi sebagai kran otomatis dengan sistem buka tutup katup solenoid untuk keluaran debit semprotan sprayer.
- f. DI-Smart Rotary Encoder (sensor kecepatan motor) berfungsi untuk mengukur kecepatan motor pompa pada saat penyemprotan.
- g. Led berfungsi sebagai indikator sensor jarak pada saat deteksi tanaman.

Rancangan Struktural

Prototipe mesin sprayer yang dibuat terdiri atas beberapa komponen yaitu unit pengontrol, komponen sensor dan sprayer elektrik.

Prototipe mesin sprayer

Desain mesin sprayer terdiri atas beberapa komponen utama yaitu (1) Sprayer elektrik kapasitas tangki 16 liter, Charger 100-240 volts, Output 12V DC 1000 mA dan kapasitas pompa 12 volts, tekanan Max 40 PSI. (2) Mikrokontroler arduino mega 2560 spesifikasi tegangan operasi 5 volt, tegangan masukan 6-20 volt, digital I/O 54 pin (dari 15 yang memberikan output PWM) dan masukan analog 16 Pin. (3) Nozzel (*cone nozzle*). (4) Solenoid valve spesifikasi tegangan kerja 12 volt, tekanan operasi 0.02-0.8 MPa. (5) Sensor deteksi tanaman (sensor *Ultrasonic SR 04*) spesifikasi jangkauan deteksi 2-500 cm, sudut deteksi 15 derajat, tegangan kerja 5 volt, resolusi 1 cm, dan frekuensi 40 kHz. Pengaturan kecepatan aliran pada prototipe mesin sprayer diatur dengan mikrokontroler arduino mega 2560 dengan pengaturan PWM melalui kecepatan motor yang menghasilkan tekanan air untuk menghasilkan debit semprotan yang sesuai dengan konsentrasi serangan hama pada tanaman.

Algoritme pengendalian dan rancangan sistem kontrol

Unit pengontrol berfungsi untuk mengontrol keseluruhan sistem, salah satunya sebagai pengatur dosis berdasarkan nilai PWM dan lama semprotan pada mikrokontroler untuk mengatur

putaran kecepatan motor sprayer. Adapun prinsip kerja sistem kontrol dapat dilihat pada Gambar 2.

Pengujian fungsional kinerja kontrol

Uji fungsional dilakukan pada sistem kontrol komponen prototipe mesin sprayer untuk mengetahui dan memastikan bahwa setiap bagian dapat berfungsi dengan baik. Uji fungsional tersebut meliputi (1) uji kendali kecepatan motor, (2) uji deteksi tanaman dengan ultrasonik, (3) uji kalibrasi alat ukur, dan (4) uji kendali solenoid valve saat penyemprotan.

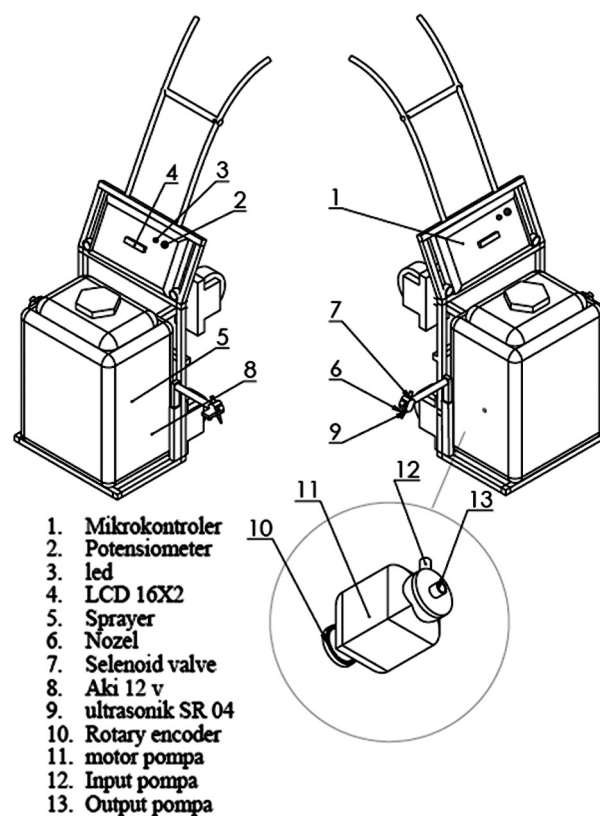
Pengujian kalibrasi alat ukur putaran motor dan jarak

Sensor penghitung putaran atau *rotary encoder* akan dikalibrasi terlebih dahulu sebelum digunakan untuk pengukuran dan pengujian. Setelah didapatkan faktor koreksi dari hasil regresi data yang dihasilkan, faktor tersebut dimasukkan kedalam program dan diunduh ke dalam mikrokontroler. Selain penghitung putaran, alat pengukur jarak (sensor ultrasonik) juga dikalibrasi menggunakan alat ukur yang sudah terstandar.

Pengujian laboratorium

Pengujian laboratorium dilakukan untuk menguji kinerja kontrol dengan beberapa tahap yaitu:

- 1) Mengukur kecepatan motor dengan 4 nilai PWM yang ditentukan yaitu (100, 150, 200 dan 250) dengan *tachometer tipe DT-2234C* dan



Gambar 1. Sketsa modifikasi prototipe mesin sprayer.

rotary encoder, dan mengukur tegangan yang digunakan berdasarkan 4 nilai PWM dengan menggunakan multimeter.

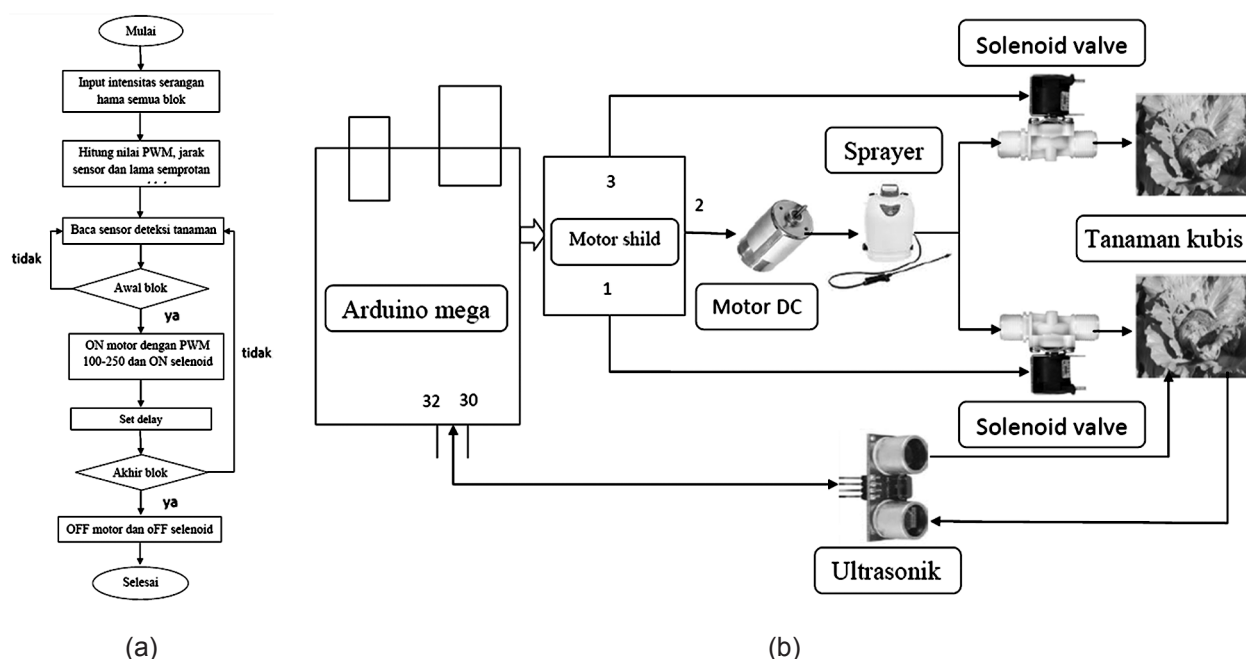
- 2) Mengukur ketepatan deteksi sensor jarak (*Ultrasonic SR 04*) menggunakan 5 jarak yang ditentukan yaitu (10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, dan 50 cm) berdasarkan alat ukur meteran dengan 3 kali ulangan pengujian. Ini dilakukan dengan tujuan menyesuaikan pembacaan jarak pada sensor dengan jarak yang sebenarnya pada meteran agar pada saat pengaplikasian pada tanaman sesuai dengan jarak tanam.
- 3) Mengukur volume semprotan pada sprayer dengan 4 PWM yaitu (100, 150, 200 dan 250). Pengukuran ini dilakukan dengan menyemprotkan sprayer pada tabung ukur berdasarkan waktu yaitu (1-10 detik) dengan kondisi kedua solenoid dalam keadaan terbuka/ menyemprot.
- 4) Menguji ketepatan posisi semprotan pada 10 model tanaman dengan jarak tanam sesuai tanaman kubis yaitu 50 cm dengan jarak total pengujian yaitu 5 m. Pengujian ini menggunakan 2 perlakuan waktu mulai ON motor dan solenoid setelah tanaman terdeteksi yaitu dengan operator berhenti dan tanpa berhenti untuk 4 PWM yaitu (100, 150, 200 dan 250). Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali ulangan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui persentase ketepatan posisi semprotan sprayer dengan skala persentase semprotan yaitu (20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%).

Prosedur pengujian lapangan

Pengujian lapangan dilakukan pada lahan dengan sistem penanaman model bedengan dimana pada satu bedengan terdapat 2 jalur tanaman, jarak

tanam 50 cm x 50 cm. Penyemprotan dilakukan pada lahan yang terdiri dari 6 bedengan dengan lebar tiap bedengan 180 cm, bedengan terdiri dari 2 blok dengan panjang tiap blok 10 m, jarak antara 2 bedengan 40 cm dan panjang tiap bedengan 20 m (Gambar 3). Tahapan pengujian lapangan meliputi:

1. Menyiapkan modifikasi protipe mesin sprayer yang telah dibuat dan diuji di laboratorium.
2. Melakukan uji penyemprotan pada beberapa tanaman berdasarkan data hasil pengujian fungsional dan kalibrasi alat yang telah dilakukan di laboratorium. Adapun variabel yang diuji dan diukur pada saat pengujian lapangan yaitu ketepatan deteksi tanaman dan ketepatan waktu semprotan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah kinerja prototipe sprayer pada pengujian lapangan sesuai dengan yang diinginkan.
3. Melakukan uji kesesuaian lama penyemprotan, berdasarkan nilai PWM motor pompa, dan menghitung hasil debit semprotan berdasarkan persentase serangan hama pada tanaman.
4. Pengujian penyemprotannya secara keseluruhan dilakukan per blok tanaman dengan terlebih dahulu menentukan objek tanaman yang terkena penyakit dengan kategori serangan hama sedang dan serangan hama banyak. Berdasarkan kategori serangan hama tersebut maka dilakukan pengujian penyemprotan dengan kode P1 (penyiraman sedang volume 20 ml air dengan intensitas serangan hama 1 – 10%), dan P2 (penyiraman banyak dengan volume 50 ml air dengan intensitas serangan hama 11 – 20%) dimana volume semprotan yang digunakan berdasarkan acuan dari asumsi serangan hama pada tanaman. Adapun model penyiramannya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. (a) Diagram alir sistem kontrol dan (b) Skema pengendalian sistem kontrol.

Akuisisi dan pengolahan data

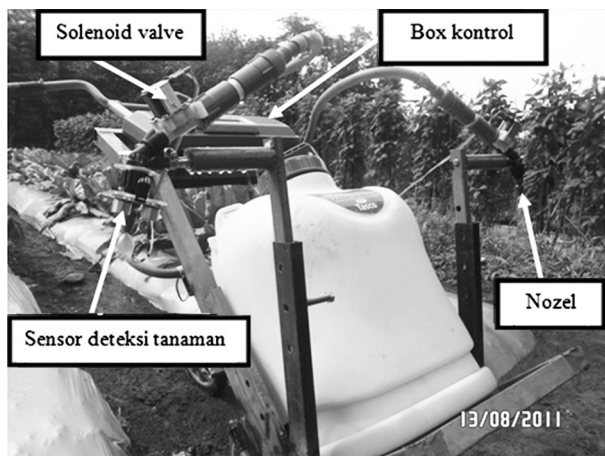
Analisis dilakukan dengan membandingkan data yang diinput pada mikrokontroler dengan data hasil pengukuran di lapangan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = V/t \quad (1)$$

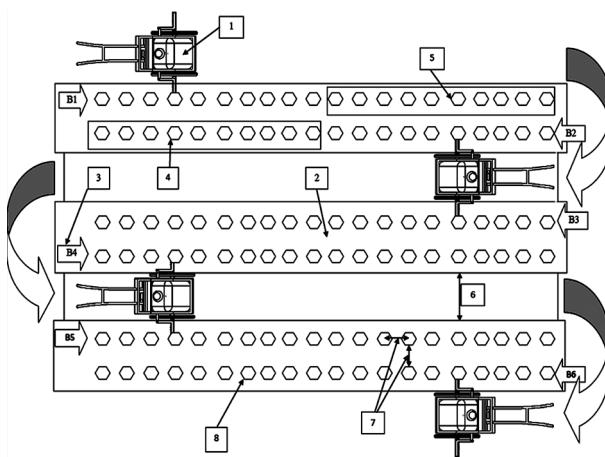
Dimana Q adalah debit semprotan (ml/detik), V adalah volume semprotan (ml), dan t adalah waktu/lama semprotan yang digunakan tiap tanaman (detik).

$$v = s/t \quad (2)$$

adapun v adalah kecepatan maju alat (m/detik), s adalah jarak lahan (m), dan t adalah waktu/lama pengaplikasian alat pada saat penyemprotan (detik). Dalam penelitian ini parameter yang menjadi pengamatan adalah kecepatan maju, lama semprotan dan volume semprotan. Nilai PWM dan lama semprotan pada mikrokontroler merupakan acuan pada saat penyemprotan.



Gambar 3. Mekanisme pengujian lapangan.



Keterangan: (1) sprayer, (2) bedengan, (3) Baris tanaman (B1-B6), (4) blok tanaman (V=200 ml), (5) blok tanaman (V=500 ml), (6) jarak antara bedengan (40 cm), (7) jarak tanaman (50 cm x 50 cm), (8) tanaman.

Gambar 4. Prototipe sprayer pestisida terkontrol.

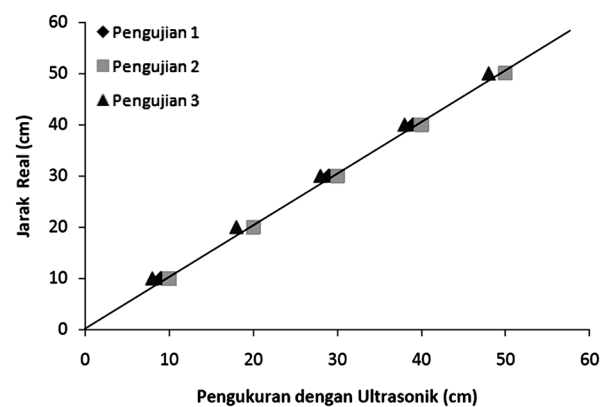
Hasil dan Pembahasan

Hasil perancangan dan uji kinerja sistem kontrol

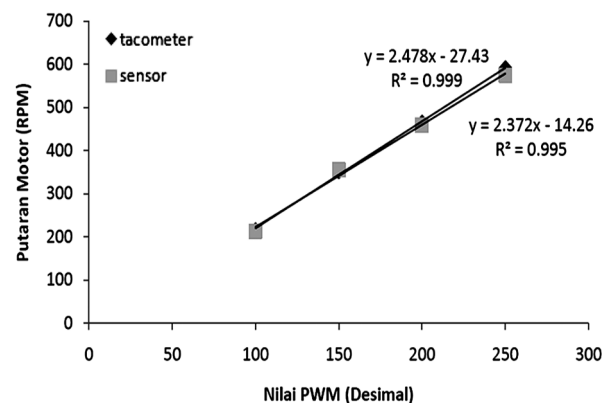
Kapasitas sistem kontrol pada kecepatan putaran motor berdasarkan nilai PWM dari 100-250 diperoleh kecepatan terendah pada PWM 100 dan tertinggi PWM 250. Kecepatan motor rata-rata 217 rpm dan 592 rpm. Volume hasil semprotan rata-rata 31 ml selama 2-10 detik dan 50.2 ml selama 2-10 detik. Pengujian kecepatan motor dilakukan dalam kondisi sprayer melakukan penyemprotan. Dan ini sesuai dengan pernyataan bahwa motor berputar pada PWM 100-255 perubahan kecepatan tidak begitu besar (Alghoffary 2014).

Berdasarkan pengujian validasi sensor *Ultrasonic SRF 04* diperoleh hasil pembacaan sensor *Ultrasonic SRF 04* yang berbeda dari jarak yang sesungguhnya sebesar 1 cm. Hal ini sesuai spesifikasi sensor *Ultrasonic SR 04* yang tercantum dalam (data sheet *Ultrasonic SR 04*) yaitu memiliki resolusi sebesar 1 cm. Hasil pengujian dapat dilihat pada (Gambar 5). Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa sensor jarak adalah sebuah sensor yang digunakan untuk mengukur jarak objek tertentu dan membaca posisi benda (Santoso 2013).

Berdasarkan pengujian kecepatan motor prototipe mesin sprayer dengan PWM 100, 150,



Gambar 5. Hasil pengujian dan kalibrasi sensor *Ultrasonic SR 04*.



Gambar 6. Hasil pengujian kecepatan motor saat penyemprotan.

200, dan 250 diperoleh rata-rata kecepatan putaran motor pompa yaitu 217 rpm, 351 rpm, 466 rpm, dan 592 rpm. Kecepatan motor sangat dipengaruhi oleh beban air yang digunakan dimana air memberikan tekanan pada motor sprayer yang menyebabkan menurunnya kecepatan putaran motor pada saat pengujian. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 6. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa kecepatan motor akan berubah dari setengah kecepatan penuh menjadi mendekati kecepatan penuh. Bagian yang berpengaruh pada transistor pengendali di dalam chip adalah tegangan rata-ratanya, dimana semakin besar *duty cycle*-nya maka akan semakin besar pula tegangan rata-ratanya sehingga arus yang mengalir ke beban motor juga semakin meningkat sehingga mempengaruhi kecepatan motor DC (Susilo 2010).

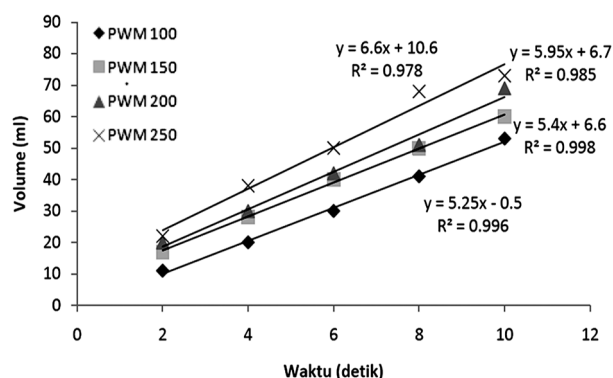
Berdasarkan pengujian ketepatan posisi penyemprotan sprayer pada model tanaman kubis diperoleh hasil yaitu lama penyemprotan 30.8 detik, kecepatan maju 0.162 m/s. Dalam kondisi operator berhenti tiap tanaman selama 1 detik maka diperoleh hasil ketepatan posisi penyemprotan sebanyak 83%. Dengan 4 nilai PWM yaitu 100, 150, 200, dan 250. Kemudian pengujian ketepatan posisi penyemprotan tanpa berhenti diperoleh hasil yaitu lama penyemprotan 26.17 detik, kecepatan maju 0.191 m/s, sehingga diperoleh hasil ketepatan posisi penyemprotan sebanyak 29% dengan 4 nilai PWM yaitu 100, 150, 200, dan 250. Berdasarkan hasil yang diperoleh maka dapat ditentukan nilai yang dibutuhkan untuk mencapai ketepatan posisi penyemprotan pada saat pengaplikasian prototipe sprayer (Gambar 7).

Berdasarkan hasil pengujian kinerja penyemprotan dimana kedua nozel dalam keadaan terbuka dengan pengaturan nilai PWM maka diperoleh hasil pengujian yaitu pada PWM 100, 150, 200, dan 250. Rata-rata volume semprotan 31 ml, 39.8 ml, 42.4 ml, dan 49.8 ml dengan lama semprotan rata-rata 6 detik. Hasil penyemprotan dipengaruhi oleh nilai PWM dan lama penyemprotan yang digunakan dengan kecepatan motor sprayer yang berbeda dimana semakin tinggi nilai PWM

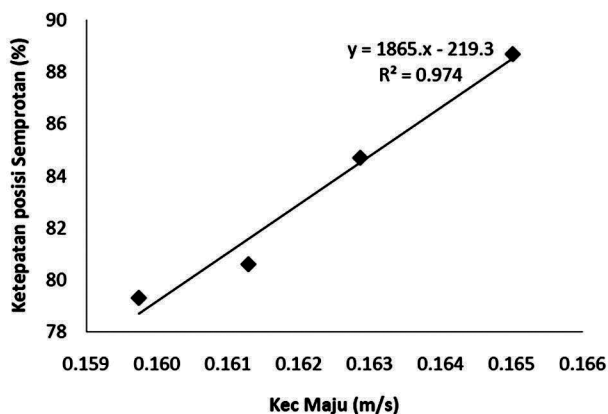
yang digunakan dan semakin lama waktu yang dibutuhkan pada saat penyemprotan akan menghasilkan volume semprotan yang semakin banyak. Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 8 dapat ditentukan nilai input PWM dan lama semprotan untuk mencapai hasil semprotan yang optimal pada tanaman. Hal ini sesuai dengan pendapat bahwa fluida yang bergerak di dalam pipa dianggap dalam kondisi "steady state" atau air dianggap mempunyai kecepatan yang konstan dari waktu ke waktu apabila melalui suatu pipa dengan diameter yang sama dan akan menghasilkan volume semprotan yang sama (Ilhamsyah 2015).

Hasil identifikasi serangan hama pada tanaman kubis berdasarkan titik serangan pada tanaman diperoleh serangan hama rata-rata 8.1% dan 15.5%, tinggi tanaman 42 cm, dan diameter tanaman 30 dan 45 cm. Berdasarkan persentasi serangan hama tersebut maka dapat ditentukan volume dan lama semprotan yang akan digunakan yaitu 200 ml dengan lama semprotan 20 detik/ blok tanaman untuk persentasi serangan hama dengan skala 1-10% dan 500 ml dengan lama semprotan 60 detik/blok tanaman untuk persentasi serangan hama dengan skala 11 – 20%.

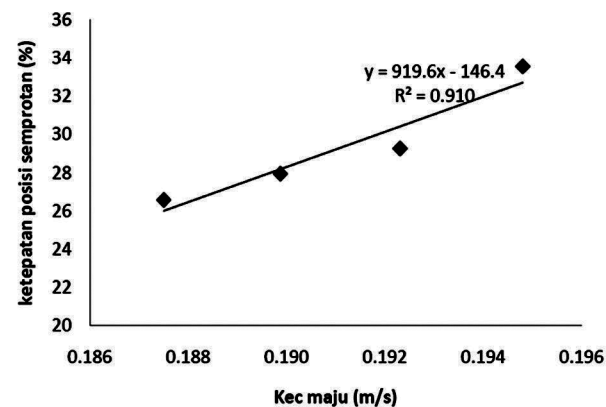
Hasil pengujian lapangan menggunakan perlakuan PWM 150 dan 250, dengan debit semprotan 10 ml/detik per blok tanaman dan 8.3



Gambar 8. Hasil pengujian kesesuaian semprotan.



Gambar 7. Hasil pengujian ketepatan posisi penyemprotan.



Tabel 1. Hasil uji lapangan berdasarkan waktu dan debit semprotan sprayer.

Parameter pengamatan	PWM	D (cm)	Baris 1		Baris 2		Baris 3		Baris 4		Baris 5		Baris 6	
			P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R
Waktu (s)	250	45	60	68	60	63	60	63	60	65	60	65	60	62
	150	30	20	25	20	26	20	26	20	19	20	19	20	24
Debit (ml/s)	250	45	8.3	7.4	8.3	7.9	8.3	7.9	8.3	7.7	8.3	7.7	8.3	8.1
	150	30	10	8	10	7.7	10	7.7	10	10.5	10	10.5	10	8.3

Keterangan: 1. Waktu (P: Perintah(s)) dan (R: Realisasi/pengukuran(s))
 2. Debit (P: Perintah(ml/s)) dan (R: Realisasi/perhitungan(ml/s)).

ml/detik per blok tanaman dengan waktu 20 dan 60 detik/blok tanaman. Diperoleh hasil pengujian rata-rata lama penyemprotan 23.2 detik dan 64.3 detik dengan debit semprotan berdasarkan perhitungan menghasilkan 8.8 ml/detik dan 7.8 ml/detik dengan ketelitian waktu pengaplikasian dosis 91%. Hasil pengujian lapangan dapat dilihat pada Tabel 1.

Ketidak kesesuaian semprotan saat pengujian disebabkan oleh lebar jalur lintasan sprayer yang tidak sama, kecepatan jalan operator tidak terkontrol dan keadaan tanah yang basah menyebabkan roda sulit untuk berputar sehingga proses penyemprotan tidak sesuai dengan perintah pada mikrokontroler.

Simpulan

1. Pengembangan prototipe sprayer elektrik dua penyemprotan dalam satu lintasan dapat diaplikasikan di lapangan.
2. Uji laboratorium menunjukkan bahwa untuk mencapai volume semprotan yang sesuai dengan tanaman, dibutuhkan PWM 100-250, kecepatan motor 217-592 rpm, tegangan yang digunakan 5.38-8.43 volt, dan untuk mencapai ketepatan posisi penyemprotan yang optimal dibutuhkan rata-rata kecepatan jalan 10 m/menit dengan posisi semprotan mencapai 83%.
3. Rata-rata kecepatan yang digunakan untuk melakukan penyemprotan lapangan pada 200 ml/blok tanaman adalah 0.43 m/s dengan lama semprotan 23.2 detik, sedangkan penyemprotan pada 500 ml/blok tanaman adalah 0.16 m/s dengan lama semprotan 64.3 detik, dengan PWM 150 dan 250.
4. Hasil pengujian lapangan pada 120 tanaman menggunakan debit semprotan 10 ml/detik per blok tanaman pada intensitas serangan hama 8.1%, dan debit semprotan 8.3 ml/detik per blok tanaman pada intensitas serangan hama 15.5%, memperoleh debit semprotan rata-rata 10.2 ml/detik dan 7.8 ml/detik dengan ketelitian lama penyemprotan sprayer 91%.

Daftar Pustaka

- Alghoffary, R. 2014. Sistem Pengaturan Kecepatan Motor DC pada Alat Ekstraktor Madu Menggunakan Kontroler PID. *Jurnal Mahasiswa TEUB* 1(2).
- Ilhamsyah, R.T., D. Triyanto. 2015. Prototipe Sistem Keran Air Otomatis Berbasis Sensor Flowmeter pada Gedung Bertingkat. *Jurnal Coding Sistem Komputer Universitas Tanjungpura* 3(3).
- Kardinan, A. 2001. Pestisida Nabati, Ramuan dan Aplikasi. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Santoso, A.B. 2013. Pembuatan Otomasi Pengaturan Kereta Api, Pengereman, Dan Palang Pintu Pada Rel Kereta Api Mainan Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 1(1).
- Susilo, D., R.A. Nugroho. 2010. Wall Following Algorithm. UKSWS-Press. Salatiga.

Halaman ini sengaja dikosongkan

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). JTEP terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi *online*. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energy alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makassar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), Dr.Ir. Lady Corrie Ch Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si. (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Analisis Sistem *Heat Pump* Kompresi Uap untuk Pengeringan Gabah

The Analysis of Vapor Compression Heat Pump System for Rough Rice Drying

Damawidjaya Biksono, Mahasiswa S3 PS Ilmu Keteknikan Pertanian, Sekolah Pascasarjana, IPB.

Email: damawidjaya@yahoo.com

Leopold Oscar Nelwan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian,

Institut Pertanian Bogor. Email: lonelwan@yahoo.com

Tineke Mandang, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian,

Institut Pertanian Bogor. Email: tineke_mandang_2003@yahoo.com

Dyah Wulandani, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian,

Institut Pertanian Bogor. Email: dwulandani@yahoo.com

Yogi Sirodz Gaos. Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Ibnu Khaldun (UIKA) Bogor.

Abstract

As a drying system, heat pump drying with appropriate configuration is potential to save energy. The objective of this research was to develop vapor compression heat pump system for rough rice drying and to obtain low energy consumption from several system configurations. Therefore, the model of vapor compression heat pump system was designed in which its configuration was modifiable. The result showed that the ratio of specific moisture extraction rate which calculated mechanic and thermal consumption ($SMER_{Tot}$) upon resistive heating dryer for those several configurations was 159 – 329%. The open cycle heat pump drying method with intermittent operation produced the highest specific moisture extraction rate which only calculated thermal energy ($SMER_T$) and $SMER_{Tot}$ at 7.06 and 5.06 kg/kWh, respectively. Intermittent operation did not much influence drying rate but significantly reduced energy consumption. Ambient air inlet which placed before evaporator and condenser on a closed cycle could produce different $SMER_{Tot}$ i.e. 4.01 dan 3.07 kg/kWh respectively. The utilization of ambient air through forced convection in heat exchanger could increase $SMER_{Tot}$, while the utilization of air flow the dryer from outlet could reduce $SMER_{Tot}$.

Keywords: rough rice drying, vapor compression heat pump system, specific moisture extraction rate (SMER)

Abstrak

Pengeringan *heat pump* merupakan sistem pengeringan yang berpotensi menghemat energi terutama apabila konfigurasinya sesuai. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan sistem *heat pump* kompresi uap (HPKU) untuk pengeringan gabah dan mendapatkan konsumsi energi yang rendah dari berbagai konfigurasi sistem. Untuk itu pada penelitian ini didesain sebuah model sistem pengering *heat pump* yang konfigurasinya dapat diubah-ubah untuk pengeringan gabah. Hasil percobaan memperlihatkan bahwa rasio peningkatan *specific moisture extraction rate* yang memperhitungkan konsumsi energi mekanik dan termal ($SMER_{Tot}$) terhadap pengering pemanas resistif untuk berbagai konfigurasi tersebut adalah 159 – 329%. Metode pengeringan *heat pump* siklus terbuka dengan pengoperasian HPKU yang *intermittent* memberikan *specific moisture extraction rate* yang hanya memperhitungkan konsumsi energi termal ($SMER_T$) dan $SMER_{Tot}$ yang paling tinggi yaitu masing-masing 7.06 dan 5.06 kg/kWh. Pengoperasian *intermittent* tidak banyak mempengaruhi laju pengeringan, tetapi secara nyata menurunkan konsumsi energi. Penempatan inlet udara lingkungan sebelum evaporator dan sebelum kondensor pada siklus tertutup memberikan $SMER_{Tot}$ yang berbeda yaitu 4.01 dan 3.07 kg/kWh. Penggunaan udara lingkungan dengan menggunakan konveksi paksa melalui penukar panas dapat meningkatkan $SMER_{Tot}$, sedangkan penggunaan aliran udara dari keluaran pengering dapat menurunkan nilai $SMER_{Tot}$.

Kata kunci: Pengeringan gabah, sistem *heat pump* kompresi uap, *specific moisture extraction rate* (SMER)

Diterima: 14 Maret 2016; Disetujui: 12 Mei 2016

Latar Belakang

Pengeringan adalah penurunan kadar air bahan sampai batas tertentu yang diinginkan atau aman sehingga batas tersebut bebas dari serangan mikroba, enzim dan insekta yang merusak (Henderson dan Perry 1982). Secara lebih luas pengeringan merupakan proses yang terjadi secara serempak antara perpindahan panas dari udara pengering ke massa uap air dari bahan yang dikeringkan (Hall 1970, Brooker *et al.* 1981). Mekanisasi pada pengeringan padi relatif tertinggal dibandingkan dengan tahapan pascapanen diantaranya mesin penggilingan. Hal tersebut disebabkan oleh mahalnnya biaya pengeringan artifisial gabah yang terutama disebabkan oleh biaya energinya, sedangkan nilai tambah yang diberikan oleh pengering ditinjau dari sisi kecepatan pengolahannya tidak terlalu besar, sehingga opsi penjemuran masih menjadi pilihan utama karena biaya operasional yang relatif murah.

Sistem HPKU diharapkan dapat mengatasi permasalahan utama tersebut, karena sistem ini mendapatkan panas yang diserap dari suhu lingkungan. Selain digunakan untuk meningkatkan kuantitas panas (dibandingkan input panasnya) sistem HPKU memiliki kemampuan *dehumidifikasi* udara yang digunakan untuk pengeringan. Umumnya pengeringan dengan sistem HPKU mengkonsumsi energi yang lebih hemat dibandingkan pengering konvensional (Aveces-Sabiro 1992, Harchegani *et al.* 2012), walaupun ada juga penelitian lain yang memperlihatkan peningkatan konsumsi energi sehubungan dengan waktu yang terlalu lama (Pal *et al.* 2010). Akan tetapi sehubungan dengan suhu yang relatif rendah maka kompensasi yang diperoleh adalah kualitas pengeringan yang lebih baik (Goh *et al.* 2011). Rossi *et al.* (1992) membuat pengeringan sayuran dengan pengeringan *heat pump* dan pengeringan konvensional menggunakan heater listrik dan dapat penghemat energi 40% dan waktu proses. Mellmann and Furl, (2008) melaporkan hasil penelitiannya dengan penghematan energi dari 30% sampai dengan 50% dari biaya produk. Pengeringan dengan sistem HPKU untuk mengeringkan gabah memiliki potensi untuk digunakan secara lebih efisien, dan umumnya dilakukan pada suhu yang lebih rendah dari pengeringan konvensional sehingga dapat mempertahankan kualitas.

Siklus dalam pengoperasian HPKU secara umum mencakup siklus resirkulasi dan terbuka. Pada siklus resirkulasi, sebagian energi yang berasal dari pengering dimanfaatkan kembali sedangkan pada siklus terbuka pemanasan hanya mengandalkan suhu dari lingkungan. Zigler *et al.* (2009) melakukan penelitian pengeringan tanaman obat dan rempah-rempah dengan menggunakan pengeringan *batch* yang ditambah dengan sistem *heat pump*, dimana pengeringan *heat pump*

dengan sistem siklus resirkulasi dilanjutkan dengan pengeringan konvensional dan melaporkan hasil penelitian tahap awal dengan konsumsi energi primer dapat dikurangi 40% sampai dengan 55% dengan menggunakan sistem *heat pump*. Aceves-Saborio (1993) menyatakan walaupun pada umumnya konsumsi energi sistem siklus resirkulasi lebih rendah, tidak ada jaminan apakah siklus resirkulasi ini menguntungkan. Ketergantungan pada kondisi udara lingkungan menyebabkan kondisi yang demikian.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan pengeringan gabah dengan sistem HPKU untuk mendapatkan konsumsi energi yang paling rendah permassa air yang diuapkan dari berbagai konfigurasi sistem HPKU yang mencakup penggunaan penukar panas dengan udara lingkungan atau udara ekshaus pada pengoperasian siklus terbuka dan resirkulasi serta membandingkannya dengan pengeringan gabah konvensional yang menggunakan pemanas resistif.

Bahan dan Metode

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Desember 2014 sampai Oktober 2015. Percobaan dilakukan di Laboratorium Teknik Energi Terbarukan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB Bogor.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gabah varietas Ciherang dengan kadar air 22 – 24% b.b. dan alat ukur yang digunakan termokopel tipe T, *pressure gauge*, rotameter, multimeter CD 800a, moisture tester, clamp meter, power analyzer Lutron DW-6091, timbangan digital, oven, anemometer Kanomax, climd master model A 541, recorder Yokogawa type MV-1000 dan type MV-2000. Dimana kalibrasi suhu termokopel dilakukan dengan menggunakan thermometer glass standart untuk suhu rendah dan suhu tinggi dengan *Oil bath*.

Model Pengering dengan Sistem HPKU

Gambar 1 memperlihatkan skema desain dari sistem pengering HPKU yang dilengkapi dengan penukar panas dengan udara lingkungan atau udara ekshaus (HE) dengan pengoperasian siklus terbuka dan siklus resirkulasi. Pada siklus terbuka katup gate (A) dan (B) ditutup dan katup gate (C) dan (D) dibuka, dimana udara lingkungan masuk ke sistem HPKU mengalir ke pengering dan ke luar lingkungan. Pada siklus resirkulasi aliran udara bersirkulasi dari sistem HPKU ke pengering dengan katup gate (B) dibuka, dan katup gate (A) atau (D) dibuka sesuai dengan konfigurasi yang diinginkan yaitu udara lingkungan masuk sebelum kondensor atau evaporator dan katup gate (C) dibuka untuk

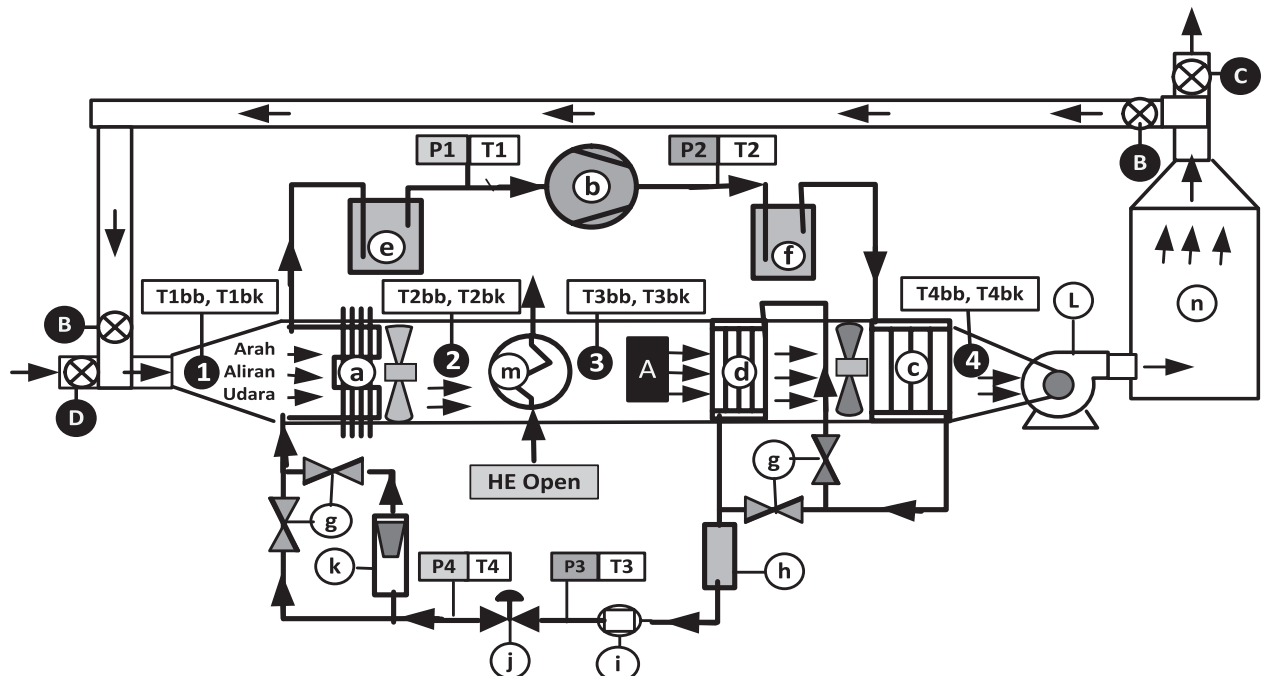
membuang udara dalam jumlah yang sama dengan yang masuk. Dan untuk menghindari masuknya cairan refrigerant ke dalam kompresor maka digunakan receiver sebelum kompresor.

Saluran udara dari sistem pengering tersebut dibuat berbentuk segi empat ukuran (30 x 30) cm bahan plat baja 0.6 mm memudahkan pembentukan konstruksi dan diinsulasi *polyurethane foam* 5 mm untuk meminimalkan kontak dengan udara luar. Saluran udara HPKU ke ruang pengering bagian tengah sistem antara evaporator dan kondensor dipasang HE yang tujuannya mempercepat pindah panas udara dari lingkungan model sistem HPKU sistem terbuka dan resirkulasi. Sirkulasi udara dari ruang pengering ke sistem HPKU menggunakan pipa PVC ukuran 4 inchi dengan panjang 350 cm, pengering model silinder dengan diameter 82 cm, tinggi 90 cm, jarak bagian plenum atas dan bawah 23 cm.

Gambar 1 memperlihatkan pengukuran suhu sistem HPKU dilakukan pada titik aliran udara masuk (1) dan keluar (2) evaporator, masuk (2) dan keluar (3) *heat exchanger*, masuk (3) dan keluar (4) kondensor. Pengukuran suhu plenum dilakukan pada bagian bawah, tengah dan atas. Pengukuran suhu bola basah dan bola kering di sistem HPKU dan pengering dilakukan untuk mengetahui kelembaban relatif dan data suhu yang terekam di recorder setiap 10 menit selama kira-kira 12 jam.

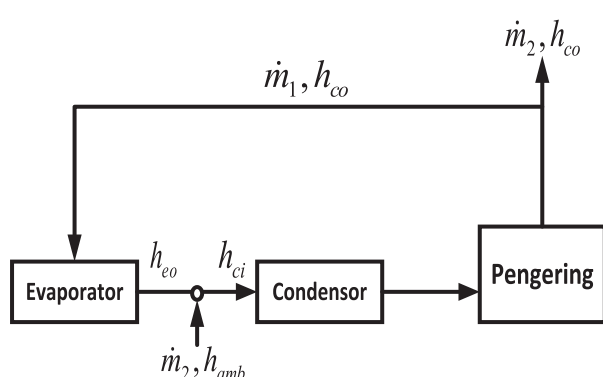
Neraca Energi pada Pengeringan Heat Pump Kompresi Uap dengan Sistem Resirkulasi

HPKU untuk pengeringan pada sirkulasi sistem resirkulasi murni harus menggunakan kondensor eksternal untuk membuang kelebihan panas sedemikian hingga HPKU dapat bekerja dengan stabil. Pada penelitian ini HPKU tidak dilengkapi kondensor eksternal, sehingga untuk

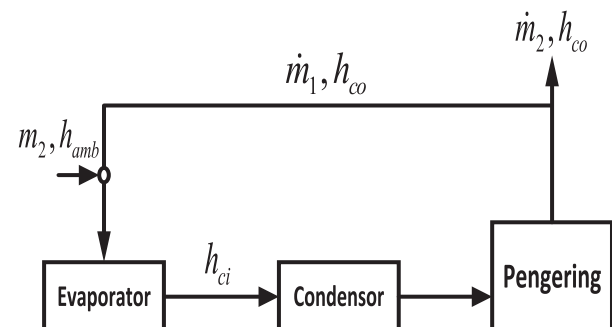


Gambar 1. Skematik sistem *heat pump* kompresi uap dengan pengering sistem terbuka dan resirkulasi.

Keterangan Gambar 1 : a. Evaporator, b. Kompresor, c & d. Condensor, e. Receiver, f. Suction Accumulator, g. Hand Valve, h. Filter Dryer, i. Sight Glass (Glas penduga), j. Katup TXV, k. Rota meter, l. Blower, m. Heat Exchanger, n. Ruang pengering, P. Pressure Gauge, T. Thermocouple, Temperatur bola basah (T_{bb}) dan Temperatur bola kering (T_{bk}).



Gambar 2. Skematik HPKu sistem resirkulasi udara masuk sebelum kondensor.



Gambar 3. Skematik HPKu sistem resirkulasi udara masuk sebelum evaporator.

Tabel 1. Konfigurasi sistem pengering yang diuji.

Percobaan	Konfigurasi Pengeringan
1	Siklus udara pengeringan sistem terbuka, HE tertutup.
2	Siklus udara pengeringan sistem terbuka, HE udara lingkungan konveksi bebas.
3	Siklus udara pengeringan sistem terbuka, HE udara keluar dari ruang pengering
4	Siklus udara pengeringan sistem resirkulasi, inlet udara dari condensor rasio bukaan udara 1/2, HE udara lingkungan konveksi bebas.
5	Siklus udara pengeringan sistem resirkulasi, inlet udara dari condensor rasio bukaan udara 2/3, HE udara lingkungan konveksi bebas.
6	Siklus udara pengeringan sistem terbuka, pengoperasian HPKu <i>intermittent</i> dan blower dihidupkan kontinu, HE udara lingkungan konveksi bebas.
7	Siklus udara pengeringan sistem terbuka, HE udara lingkungan menggunakan blower.
8	Siklus udara pengeringan sistem resirkulasi, inlet udara dari evaporator rasio bukaan udara 1/2, HE udara lingkungan konveksi bebas.
9	Siklus udara pengeringan sistem terbuka, pengoperasian <i>intermittent</i> baik HPKu dan blower dengan sirkulasi, HE udara lingkungan konveksi bebas.
10	Pengeringan dengan sistem pemanas resistif.

pengoperasian sistem resirkulasi sebagian udara dari lingkungan harus dialirkan melalui komponen HPKU dengan jumlah udara pengeringan harus dibuang yang sama besar. Udara lingkungan dapat dialirkan melalui inlet sebelum kondensor atau sebelum evaporator yang secara skematik masing-masing ditunjukkan oleh Gambar 2 dan 3.

Neraca energi untuk sistem HPKU adalah:

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_e + \dot{W} \quad (1)$$

Keterangan :

$\dot{Q}_c$ = Laju pindah panas kondensor (kW)

$\dot{Q}_e$ = Laju pindah panas evaporator (kW)

$\dot{W}$ = Kerja kompresor (kW)

Oleh karena itu, jika seluruh panas dari/ke kondensor atau evaporator mengalir dari/ke udara di dalam sistem heat pump maka persamaan neraca untuk sistem Gambar 2 adalah:

$$(\dot{m}_1 + \dot{m}_2)h_{co} - (\dot{m}_1 h_{eo} + \dot{m}_2 h_{amb}) = \dot{m}_1 (h_{co} - h_{eo}) + \dot{W} \quad (2)$$

Atau

$$\dot{m}_2 (h_{co} - h_{amb}) = \dot{W} \quad (3)$$

Keterangan :

$\dot{m}_1$ = Laju aliran udara masuk evaporator (kg/s)

$\dot{m}_2$ = Laju aliran udara lingkungan masuk kondensor dan evaporator (kg/s)

h_{ci} = Entalpi udara masuk kondensor (kJ/kg)

h_{co} = Entalpi udara keluar kondensor (kJ/kg)

h_{ei} = Entalpi udara masuk evaporator (kJ/kg)

h_{eo} = Entalpi udara keluar evaporator (kJ/kg)

h_{amb} = Entalpi udara lingkungan (kJ/kg)

Sedangkan persamaan neraca untuk sistem Gambar 3 adalah:

$$(\dot{m}_1 + \dot{m}_2)(h_{co} - h_{ci}) = (\dot{m}_1 h_{co} + \dot{m}_2 h_{amb}) - (\dot{m}_1 + \dot{m}_2)h_{ci} + \dot{W} \quad (4)$$

Atau:

$$\dot{m}_2 (h_{co} - h_{amb}) = \dot{W} \quad (5)$$

Sehingga secara neraca energi, kedua skema ini dapat diterapkan.

Percobaan Pengering Sistem Heat Pump Kompresi Uap

Pengeringan gabah dengan sistem HPKU dilakukan dengan 9 model konfigurasi dan satu model perlakuan dengan sistem pemanas resistif sebagai pembandingan, antara lain sebagai berikut :

Percobaan Model Pengering dengan Pemanas Resistif

Gambar 4 menunjukkan udara lingkungan disalurkan ke ruang pengering menggunakan saluran udara yang dipasang menyatu dengan ruang pengering dibuat pendek untuk mengurangi kehilangan panas akan tetapi tidak mengganggu penyebaran udara ke ruang pengering. Ukuran diameter saluran di bagian depan saluran sesuai dengan lubang keluaran udara dari blower dan diinsulasi untuk mengurangi kehilangan panas saluran udara melalui pemanas resistif dengan daya 2 kW, suhu pengering diatur otomatis menggunakan termostat suhu antara 40°C–45°C, sedangkan pengukuran konsumsi energi listrik dengan menggunakan power analyzer, clamp meter dan multimeter.

Perhitungan *Specific Moisture Extraction Rate* (SMER) dan Penentuan Laju Pengeringan

Nilai SMER merupakan rasio jumlah massa air yang diuapkan dari bahan terhadap energi listrik yang digunakan (kg/kWh). Nilai SMER dapat dinyatakan dalam dua ekspresi, yaitu untuk konsumsi energi listrik yang hanya digunakan untuk maksud pemanasan:

$$SMER_T = \frac{W_{air}}{E_T} \quad (6)$$

Keterangan :

$SMER_T$ = *Specific Moisture Extraction Rate* termal (kg/kWh)

W_{air} = Jumlah massa air yang diuapkan (kg)

E_T = Energi yang digunakan sistem HPKU (kWh)

dan untuk konsumsi energi listrik yang digunakan untuk total energi yaitu untuk pemanasan dan mekanik (blower), yaitu :

$$SMER_{Tot} = \frac{W_{air}}{E_{Tot}} \quad (7)$$

Keterangan :

$SMER_{Tot}$ = *Specific Moisture Extraction Rate* total (kg/kWh)

E_{Tot} = Energi yang digunakan sistem HPKU dan Blower (kWh)

Jumlah air yang diuapkan dihitung dari:

$$W_{air} = \left(1 - \frac{100 - m_f}{100 - m_i} \right) \times W_i \quad (8)$$

Keterangan :

m_f = Kadar air awal (% b.b.)

m_i = Kadar air akhir (% b.b.)

W_i = Berat bahan (kg)

Laju pengeringan dalam (kg/s) dinyatakan sebagai:

$$\dot{W}_{air} = \frac{W_{air}}{\Delta t} \quad (9)$$

Keterangan :

$\dot{W}_{air}$ = Laju pengeringan (kg/s)

Δt = Waktu pengeringan (jam)

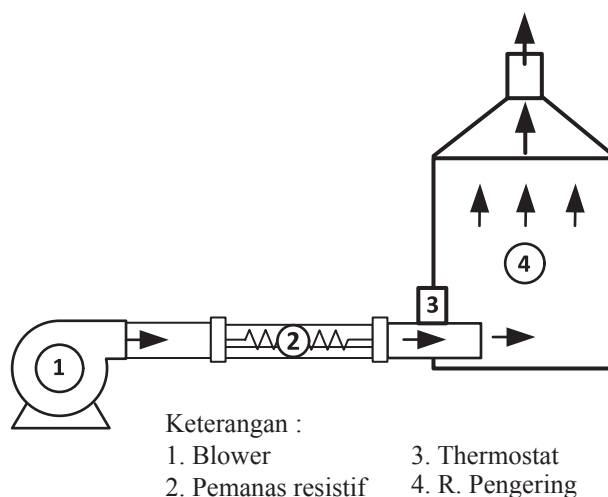
Hasil dan Pembahasan

Konsumsi Energi untuk Setiap Konfigurasi

Hasil pengukuran konsumsi energi dan rasio energi terhadap pengeringan dengan pemanas resistif serta $SMER_T$ dan $SMER_{Tot}$ untuk masing-masing metode pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2. Pengeringan dilakukan pada kadar air awal rata-rata 24% b.b. dan kadar air

akhir rata-rata 13.36 - 14.34% b.b. Laju aliran udara pengering yang digunakan adalah 0.125 kg/s serta massa gabah yang dikeringkan sebanyak 150 kg per konfigurasi pengujian pada tebal tumpukan gabah 0.6 m. Waktu pengeringan yang dibutuhkan untuk keseluruhan konfigurasi relatif sama yaitu antara 11–12 jam. Penurunan kadar air yang paling cepat dari 9 konfigurasi yang dilakukan adalah pada konfigurasi II yaitu merupakan pengeringan siklus terbuka dengan HE yang menggunakan konveksi bebas udara lingkungan dengan waktu 11 jam.

Pada sistem HPKU nilai $SMER_T$ diperoleh 3.39–7.06 kg/kWh dan $SMER_{Tot}$ berkisar 2.45–5.06 kg/kWh. Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan hasil percobaan dari (Harchegani *et al.* 2012) pada pengeringan gabah dimana nilai SMER 0.1 kg/kWh. Kemungkinan penyebab rendahnya SMER pada percobaan tersebut mungkin disebabkan oleh jumlah massa gabah yang jauh lebih rendah, namun pada makalah tersebut tidak dijelaskan berapa jumlah massa gabah yang dikeringkan. Bahkan pada produk lain dengan kadar air yang lebih tinggi seperti kayu dan pisang (Prasertsan dan Sean-saby 1998) memperoleh SMER dalam kisaran 0.34–0.57 kg/kWh. Penghematan energi yang cukup signifikan pada penelitian ini kemungkinan justru disebabkan oleh pengoperasian HPKU yang tidak kontinyu akibat terjadinya kondisi *over-pressure* pada kompresor HPKU. Dengan blower yang secara kontinyu beroperasi, tumpukan gabah tetap dialiri oleh udara lingkungan yang pada percobaan ini memiliki rata-rata suhu dari 30.4 – 31.9°C dengan RH 63 – 68%. Oleh karena itu, ketika kompresor tak beroperasi untuk beberapa saat, penurunan kadar air masih berlangsung dengan cukup baik. Bahkan pada pengeringan dengan pemanasan resistif dengan suhu dan kelembaban udara lingkungan yang demikian masih memiliki $SMER_{Tot}$ yang cukup tinggi yaitu sebesar 1.54 kg/kWh.



Gambar 4. Skematik sistem pengeringan dengan pemanas resistif.

Tabel 2. Konsumsi dan rasio energi terhadap pengeringan dengan pemanas resistif serta $SMER_T$ dan $SMER_{Tot}$ untuk masing-masing pengujian.

Per coba an	Waktu Operasi (menit)	Konsumsi energi (kWh)		Rasio energi terhadap pengering (%)		SMER (kg/kWh)		Rasio SMER terhadap pengering pemanas resistif (%)		Rata-rata kadar air (% b.b.)		Waktu pe ngering an (jam)	Laju pe ngering an (kg/s)	Kelembaban relatif (RH) (%)		Suhu ling kungan (°C)
		Termal	Total	Termal	Total	Termal ($SMER_T$)	Total ($SMER_{Tot}$)	Termal	Total	Awal	Akhir			Plenum	Ling kungan	
I	337	3.27	4.88	36.82	46.67	5.14	3.45	283.89	244.00	23.36	13.68	12	0.389	40.05	63.82	31.30
II	341	3.81	5.44	42.92	52.04	4.73	3.31	260.95	215.21	24.35	14.02	11	0.445	43.33	63.78	30.44
III	323	3.99	5.54	44.96	52.96	3.39	2.45	187.15	158.90	22.70	14.34	12	0.313	44.05	63.07	30.91
IV	324	4.07	5.61	45.78	53.67	4.23	3.07	233.66	199.27	23.38	13.45	12	0.398	45.91	65.77	31.85
V	439	3.88	5.97	43.70	57.13	3.78	2.46	208.64	159.58	22.42	14.01	12	0.340	35.40	68.33	31.37
VI	240	2.92	4.06	32.82	38.86	7.06	5.06	389.53	328.97	25.44	13.59	12	0.476	36.05	65.40	31.72
VII	275	3.22	4.53	36.25	43.33	5.90	4.19	325.78	272.50	24.57	13.63	12	0.440	38.36	65.23	30.97
VIII	275	3.36	4.67	37.82	44.70	5.57	4.01	307.75	260.41	24.18	13.36	12	0.434	43.92	67.56	30.31
IX	275	3.36	3.69	37.88	35.33	5.48	4.99	302.41	324.24	24.41	13.82	12	0.427	44.33	66.83	30.49
X	329	8.88	10.45	100	100	1.81	1.54	100	100	23.01	13.76	12	0.372	45.13	66.00	31.21

Dibandingkan dengan pengering yang menggunakan pemanas resistif, nilai $SMER_{Tot}$ dari seluruh konfigurasi pengering HPKU berkisar antara 159 – 329%, yang berarti keefektifan per satuan energi yang digunakan oleh pengering HPKU mencapai lebih dari tiga kali lipat. Nilai $SMER_T$ bahkan lebih tinggi lagi, yaitu mencapai hampir empat kali lipat. Hal ini dapat dipahami karena COP sistem HPKU umumnya lebih dari 1. Dari seluruh konfigurasi pengering HPKU, konfigurasi VI merupakan konfigurasi yang paling menghemat konsumsi energi yaitu dengan $SMER_{Tot}$ dan $SMER_T$ masing-masing adalah 7.06 dan 5.06. Hal ini disebabkan pada konfigurasi ini, perbedaan waktu pengeringannya tidak signifikan dibandingkan dengan penurunan energi dengan cara *intermittent*.

Pengoperasian dengan Siklus Sistem Resirkulasi

Sistem siklus yang digunakan (resirkulasi atau terbuka) nampaknya tidak terlalu banyak mempengaruhi SMER. Akan tetapi dilihat dari $SMER_{Tot}$ pada konfigurasi IV, V dan VIII, untuk siklus resirkulasi lebih baik digunakan dengan input udara lingkungan dari evaporator (4.01 kg/kWh) dibandingkan dengan input udara dari kondensor (2.46 dan 3.07 kg/kWh). Walaupun persamaan (2) dan (4) memperlihatkan kedua konfigurasi ini sama secara neraca energi, perbedaan dapat disebabkan oleh kerja kompresor yang berbeda saat menerima kondisi yang berbeda pada komponen evaporator dan juga kondensornya.

Efek dari Penggunaan HE

Maksud dari penukar panas (HE) yang ditempatkan di antara evaporator dan kondensor adalah untuk meningkatkan panas sensibel setelah udara didehumidifikasi di evaporator. Penukar panas dioperasikan dengan menggunakan udara lingkungan atau udara dari ekshauss pengering. Pengaliran udara lingkungan dapat menggunakan

blower atau konveksi bebas. Pada siklus terbuka yaitu pada konfigurasi I, II, III dan VII, nilai $SMER_T$ masing-masing adalah 3.45, 3.31, 2.45 dan 4.19. Walaupun dari konfigurasi I dan II tidak nampak efek dari penukar panas, efek ini cukup signifikan ketika mengalirkan udara dalam penukar panas dengan udara ekshauss (konfigurasi III) dengan udara lingkungan menggunakan blower (konfigurasi VII). Pengaliran udara menggunakan udara ekshauss tidak membantu konservasi energi karena perpindahan panasnya memiliki *driving force* beda suhu antara bagian dalam dan luar HE. Walaupun entalpi dari udara keluaran pengering lebih tinggi dari udara lingkungan, suhunya lebih rendah.

Efek Pengoperasian *Intermittent* Selama Proses Pengeringan Heat Pump Kompresi Uap

Gambar 5 memperlihatkan perubahan suhu dan RH terhadap waktu pengeringan pada sistem HPKU siklus sistem resirkulasi, dimana Gambar 5a adalah untuk konfigurasi II yang merupakan pengoperasian kontinyu, Gambar 5b buntut konfigurasi VI dengan pengoperasian *intermittent* untuk sistem HPKU dan Gambar 5c untuk konfigurasi IX dengan pengoperasian *intermittent* baik untuk sistem HPKU maupun blowernya.

Gambar 5a memperlihatkan bahwa akibat kondisi *over-pressure* yang menyebabkan kompresor berhenti sementara, suhu plenum (udara pengering) berfluktuasi selama proses pengeringan. Misalnya menit ke 110 – 150 terjadi *over-pressure* sehingga sistem HPKU mati dan suhu plenum turun dari 40°C ke 31°C, sedangkan nilai kelembaban relatif naik dari 40% ke 60%, padahal suhu lingkungan antara jam 08.00–13.00 cenderung meningkat dari 26.3°C ke 33.8°C. Dengan kondisi ini nilai rata-rata suhu plenumnya 38.63°C, dengan kelembaban relatif 43% dan kelembaban mutlak 0.0163 kg/kg u.k.

Konfigurasi VI dilakukan dengan 120 menit sistem HPKU dioperasikan dan 30 menit dimatikan selama proses pengeringan. Selama pengeringan blower

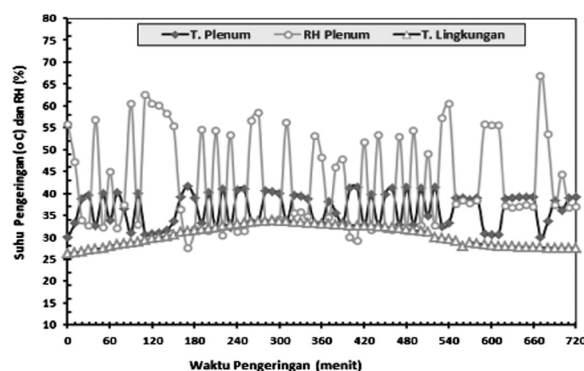
tetap dioperasikan. Gambar 5b memperlihatkan bahwa pada kondisi dimatikan, dengan segera suhu plenum turun ke kondisi lingkungan seperti yang dapat dilihat pada 30 menit pertama yaitu menit ke 120-150 kelembaban relatif naik dari 36% ke 50% suhu turun dari 42°C ke 30°C. Namun demikian nilai rata-rata suhu masih mencapai 39.64°C dengan kelembaban relatifnya 36% dan kelembaban mutlak 0.0142 kg/kg u.k.

Pada konfigurasi IX, perlakuannya hampir sama dengan konfigurasi VI akan tetapi pada saat heat pump tidak dioperasikan, blower juga dimatikan. Sebagaimana halnya dengan konfigurasi VI ketika pengoperasian HPKU dan blower dihentikan, suhu plenum menurun sedangkan kelembabannya meningkat. Karena blower pada konfigurasi ini juga dimatikan peningkatan suhu plenumnya menjadi lebih lambat sehingga rata-rata suhu pengeringannya sedikit lebih rendah yaitu 37.72°C dengan kelembaban relatif 44%.

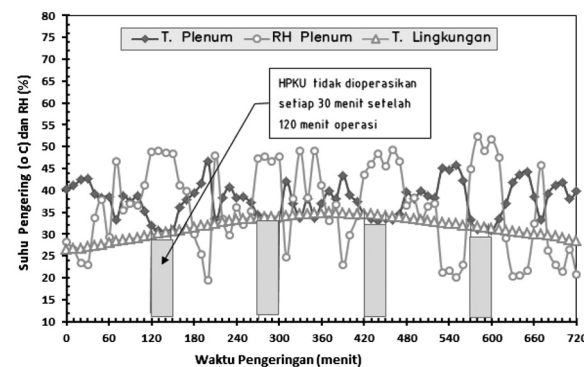
Walaupun terdapat perbedaan suhu dan kelembaban rata-rata pada konfigurasi II, VI dan IX, secara keseluruhan penurunan kadar air bahan (% b.b.) terhadap waktu pengeringan tidak terpengaruh secara signifikan (Gambar 6). Penurunan kadar air pada 180 menit pertama hampir sama untuk ketiga konfigurasi. Perlambatan penurunan kadar air pada menit ke 90–180 pada konfigurasi II disebabkan oleh tidak beroperasinya kompresor pada menit ke 120 selama kira-kira 30 menit. Selanjutnya penurunan kadar air pada konfigurasi ini tidak terlalu cepat dibandingkan pada konfigurasi VI dan IX ketika HPKU sedang dioperasikan.

Perlambatan penurunan kadar air tidak terlalu signifikan pada konfigurasi VI pada saat HPKU tidak dioperasikan akan tetapi cukup signifikan untuk konfigurasi IX. Hal ini disebabkan oleh tidak digunakannya blower pada konfigurasi IX sehingga penurunan kadar air cenderung tidak terjadi pada saat tersebut. Akan tetapi ketika pengoperasian HPKU sedang berjalan, penurunan kadar air pada konfigurasi ini cukup cepat.

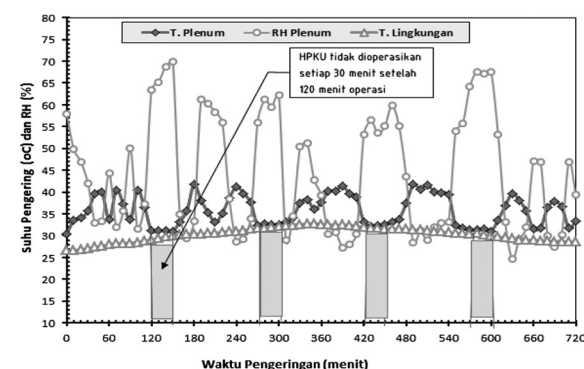
Pada studi ini, secara umum dapat dilihat bahwa pengoprasian HPKU secara *intermittent* pada berbagai konfigurasi tidak berpengaruh terhadap suhu udara pengering dan penurunan kadar air. Namun demikian, pengoperasian *intermittent* memberikan efek penurunan konsumsi energi yang cukup signifikan, sehingga Konfigurasi VI dan IX merupakan konfigurasi yang nilai $SMER_{Tot}$ paling tinggi. Jika dibandingkan dengan konfigurasi II, nilai $SMER_{Tot}$ dari kedua konfigurasi tersebut kira-kira mencapai 1.5 kali lipat. Selain itu, karena kondisi udara lingkungan yang cukup potensial, penggunaan blower secara kontinyu (konfigurasi VI) lebih menguntungkan dibandingkan dengan penggunaan blower secara *intermittent* (konfigurasi IX).



(5a)

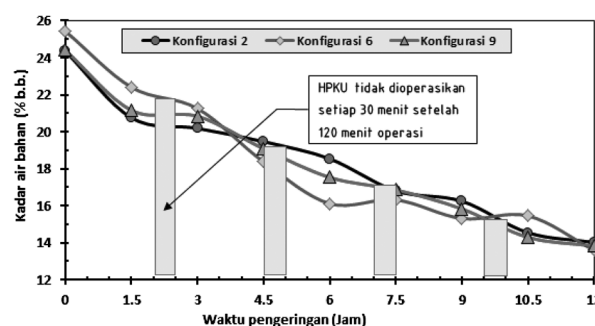


(5b)



(5b)

Gambar 5. Grafik perbandingan suhu pengering dan RH terhadap waktu pengeringan :
(a) konfigurasi II, (b) konfigurasi VI, dan
(c) konfigurasi IX.



Gambar 6. Grafik perbandingan kadar air gabah rata-rata masing-masing konfigurasi terhadap waktu pengeringan.

Simpulan

Seluruh kondisi udara pengeringan yang dihasilkan oleh seluruh konfigurasi heat pump kompresi uap dan pemanas resistif pada studi ini hampir sama yaitu suhu 35.7 - 37.9°C dan RH 35.4 - 45.9°C sehingga juga memberikan waktu pengeringan yang hampir sama yaitu 11 – 12 jam. Rasio peningkatan $SMER_{Tot}$ terhadap pengering pemanas resistif untuk berbagai konfigurasi pengering heat pump kompresi uap yang digunakan pada studi ini adalah 159 – 329%. Tingginya nilai $SMER_{Tot}$ baik dari pengering heat pump kompresi uap maupun pemanas resistif disebabkan oleh pengoperasian yang *intermittent* pada kondisi suhu dan kelembaban udara lingkungan yang memadai. Metode pengeringan heat pump dengan sistem terbuka dengan pengoperasian heat pump kompresi uap yang *intermittent* memberikan $SMER_T$ dan $SMER_{Tot}$ yang paling tinggi yaitu masing-masing 7.06 dan 5.06 kg/kWh. Pengoperasian *intermittent* tidak banyak mempengaruhi laju pengeringan, tetapi secara nyata menurunkan konsumsi energi.

Penempatan inlet udara lingkungan pada sebelum evaporator lebih baik dibandingkan inlet sebelum kondensor pada siklus tertutup yang ditunjukkan oleh $SMER_{Tot}$ berturut-turut 4.01 dan 3.07 kg/kWh. Penggunaan udara lingkungan dengan menggunakan konveksi paksa pada penukar panas akan meningkatkan $SMER_{Tot}$, sedangkan penggunaan aliran udara dari keluaran alat pengering akan menurunkan nilai $SMER_{Tot}$.

Daftar Pustaka

Aceves-Saborio, S. 1992. Analysis of Energy Consumption in Heat Pump and Conventional Driers. Heat Recovery System & CHP Vol. 13. No. 5 : 419–428.

Brooker, Donal, B., Brakker-Arkema, Fred, W., Hall, Carl, W. 1992. Drying and Storage of Grains and Oilseeds. An AVI book, Published by Van Nostrand Reinhold, New York.

Goh, Li Jin. Othman, Mohd Yusof. Mat, Sohif. Ruslan, Hafidz. Sopian, Kamaruzzaman. 2011. Review of Heat Pump Systems for Drying Application. Renew. Sustain. Energy Rev. 15, 4788–4796.

Henderson, SM., and Perry, RL. 1982. Agriculture Process Engineering. 3rd Edition. Ceneticut : The AVI Publishing Company, Inc. Wesport.

Harchegani, M., Sadeghi, M., Emami, MD. Moheb, A. 2012. Investigating Energy Consumption and Quality of Rough Rice Drying Process using A Grain Heat Pump Dryer. Australian Journal of Crop Science 6 (4) : 209–217.

Mellmann, J. and Füll, C. 2008. Drying Plants for Medicinal and Spice [2] Plant - Specific Energy Consumption and Optimization Potential . Journal of Medicinal and Aromatic Plants 13 (3) , pp 127-133.

Pal, US., Khan, MK., Mohanty, SN. 2010. Heat pump drying of green sweet pepper. Drying Technol. 26, 1584–1590.

Prasertsan, S. and Saen-saby, P. 1998. Heat Pump Drying of Agricultural Materials. *Drying Technology*, 16 (1&2) : 235–250.

Rossi, SJ., Neues, LC., Kicokbush, TG. 1992. Thermodynamic and energetic evaluation of a heat pump applied to the drying of vegetables. In : Mujumdar AS, Editor, Drying'92. Elsevier Science : P. 1475–8.

Ziegler, Th., F. Niebling, F., Teodorov, T., Mellmann, J. 2009. Heat Pump Drying of Drug and Aromatic Plants Possibilities for Increasing the Energy Efficiency / Heat Pump Drying of Medicinal and Spice Plants - Possibilities of Energy Efficiency Enhancement . Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 14 (4): 160-166.

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). JTEP terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi *online*. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energy alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makassar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), Dr.Ir. Lady Corrie Ch Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si. (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Analisis Dimensional Reaktor Berpengaduk Statis untuk Produksi Biodiesel

Dimensional Analysis of Static Mixing Reactor for Biodiesel Production

Akhmad Irfan, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Institut Pertanian Bogor.

Email: akhmad.irfan.ipb@gmail.com

Armansyah Halomoan Tambunan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Email: ahtambun@ipb.ac.id

Desrial, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor. Email: desrial@ipb.ac.id

Abstract

Biodiesel production can be done using static mixing reactor (SMR). The production by this method requires less energy than blade agitator. However, the use of elements in the helix-shaped stirrer reactors causing large pressure drop. The other factors that affect the flow in the SMR can be determined using dimensional analysis. Dimensional analysis can be used to eliminate the variables that are not required so that can be done to optimize the energy used in the SMR design. The variables that influence the pressure drop (ΔP) in the SMR can be formulated into mathematical equation as:

$$\Delta P = 1.5747 \rho v^2 \left(\frac{Lp}{D} \right)^{0.624} (Ar)^{-1.089} \left(\frac{1}{Re} \right)^{-0.074}$$

Total irreversibility due to the use of a static mixer in the SMR tested is 0.237 W.

Keywords: *Static mixing reactor, dimensional analysis, exergy analysis, pressure drop*

Abstrak

Produksi biodiesel dapat dilakukan dengan menggunakan reaktor berpengaduk statis atau SMR (*Static Mixing Reactor*). Pembuatan biodiesel dengan metode ini membutuhkan energi yang lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan blade agitator. Namun demikian penggunaan elemen pengaduk yang berbentuk helix dalam reaktor menimbulkan *pressure drop* yang besar. Faktor-faktor lain yang berpengaruh terhadap aliran di dalam SMR dapat ditentukan dengan menggunakan analisis dimensional. Analisis dimensional mampu menghilangkan variabel-variabel yang tidak diperlukan sehingga dapat dilakukan untuk mengoptimalkan energi yang digunakan dalam perancangan SMR. Variabel-variabel yang berpengaruh terhadap *pressure drop* (ΔP) di dalam SMR yang dapat diformulasikan ke dalam bentuk persamaan matematis sebagai:

$$\Delta P = 1.5747 \rho v^2 \left(\frac{Lp}{D} \right)^{0.624} (Ar)^{-1.089} \left(\frac{1}{Re} \right)^{-0.074}$$

Ketakmampubalikan total akibat penggunaan elemen berpengaduk statis yang diuji adalah 0,237 W.

Kata Kunci: *Static mixing reactor, analisis dimensional, analisis eksergi, pressure drop*

Diterima: 04 Februari 2016; Disetujui: 13 Mei 2016

Pendahuluan

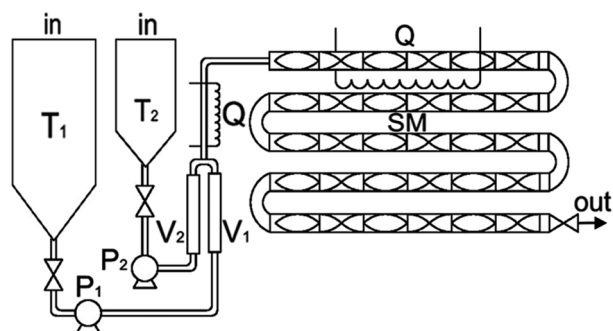
Biodiesel merupakan bahan bakar pengganti minyak diesel yang diperoleh dari minyak nabati ataupun hewani. Minyak jarak dan minyak kelapa sawit merupakan bahan pembuat biodiesel yang

paling banyak tersedia di Indonesia. Proses pembuatan biodiesel dikenal dengan proses transesterifikasi, yaitu merupakan reaksi kimia antara trigliserida dan alkohol rantai pendek ditambah dengan katalis untuk menghasilkan mono-ester dan gliserin (Moser 2009).

Pembuatan biodiesel dapat dilakukan dengan menggunakan reaktor berpengaduk statis atau *static mixing reactor* (SMR). Menurut Alamsyah et al. (2010) pembuatan biodiesel dengan menggunakan SMR membutuhkan energi yang lebih kecil (1,812.60 kJ/kg) dibandingkan dengan menggunakan *blade agitator* (2,212.32 kJ/kg). Selain itu laju reaksi transesterifikasi dengan menggunakan SMR lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan *blade agitator* pada awal proses. SMR mampu menurunkan penggunaan katalis KOH menjadi 0.5%. Untuk memperoleh hasil biodiesel dengan kadar metil ester yang sesuai dengan SNI dengan katalis KOH sebesar 0.5% diperlukan waktu reaksi selama 44 menit dengan suhu reaksi 60°C (Panggabean 2011). Dengan katalis yang sama, penggunaan SMR sistem semi kontinyu menghasilkan biodiesel berkadar metil ester sesuai dengan SNI jika dilewatkan 4 kali atau setara dengan menggunakan 8 reaktor dengan masing-masing reaktor terdiri atas 6 elemen pengaduk (Soolany et al. 2014).

Thakur et al. (2003) menyatakan bahwa faktor kunci yang mempengaruhi aliran dalam reaktor elemen berpengaduk adalah *pressure drop*. Menurut Song & Han (2005) penggunaan elemen pengaduk yang berbentuk *helix* dalam reaktor berpengaduk statik mampu menimbulkan *pressure drop* yang besar. Dengan mengestimasi besarnya *pressure drop* dapat digunakan untuk perencanaan desain yaitu untuk menghitung kebutuhan pompa yang akan digunakan.

Faktor-faktor lain yang berpengaruh terhadap aliran di dalam SMR dapat ditentukan dengan menggunakan analisis dimensional. Analisis dimensional merupakan metode yang digunakan untuk menyederhanakan gejala fisik. Bridgman (1922) menyatakan bahwa penggunaan utama dari analisis dimensional untuk menyimpulkan dari studi dimensi variabel dalam keterbatasan sistem fisik tertentu pada bentuk hubungan yang mungkin antara variabel. Inti dari analisis dimensi adalah konsep kesamaan. Analisis dimensional mampu menghilangkan variabel-variabel yang tidak diperlukan, dengan demikian dari analisis



Gambar 1. Skematik SMR kontinyu (T_1 : tangki minyak, T_2 : tangki metanol, P_1 : pompa minyak, P_2 : pompa metanol, V_1 : flowmeter minyak, V_2 : flowmeter metanol, Q : heater, SM : *Static Mixer*).

dimensional dapat diperoleh parameter yang benar-benar berpengaruh dalam SMR dan untuk mengoptimalkan energi yang digunakan dalam pembuatan biodiesel menggunakan SMR kontinyu.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis *pressure drop* akibat dari SMR kontinyu dalam proses pembuatan biodiesel dan juga mengkaji penghematan kerja yang dapat dilakukan dalam proses tersebut.

Bahan dan Metode

Alat dan bahan

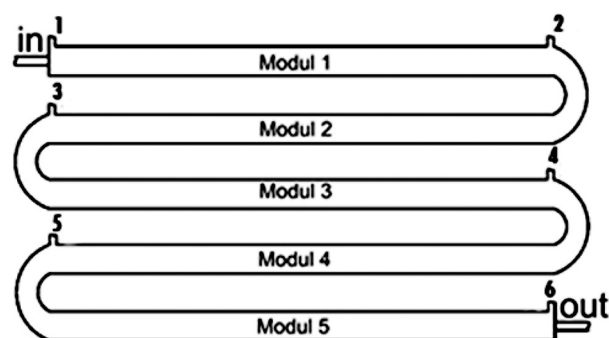
Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah prototipe SMR kontinyu dengan 5 modul yang masing-masing modulnya memiliki 12 elemen pengaduk berbentuk *helix* 180°. Skematik SMR yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.

Metode pengukuran tekanan

Peralatan penunjang yang digunakan dalam penelitian ini meliputi manometer air, viscometer ostwald, kamera digital, dan botol sampel. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak kelapa sawit (Refined Bleached Deodorized Palm Olein-RBDPO), metanol (MeOH), katalis kalium hidroksida (KOH), aquades, hexan dan alkohol teknis.

Pembuatan biodiesel dengan menggunakan SMR sistem kontinyu dilakukan dengan suhu operasi 65°C dan katalis KOH 0.5%. Rasio molar antara minyak dan metanol sebesar 1:6 yang merupakan rasio optimum dalam proses transesterifikasi (Freedman et al. 1986; Vicente et al. 2004; Darnoko dan Cheryan 2000; Knothe et al. 2005). Pengoperasian reaktor dilakukan dalam dua kondisi yaitu pada reaktor tanpa elemen pengaduk statis yang akan digunakan sebagai kontrol dan dengan menggunakan pengaduk statis sebagai bagian yang akan diuji. Perlakuan lain yang diberikan terhadap keduanya sama (Tabel 1). Tekanan yang diukur adalah tekanan yang berada pada awal dan akhir modul (Gambar 2) yang dilambangkan dengan data ke-1, 2, 3, 4, 5, dan data ke-6.

BManometer yang digunakan untuk mengambil



Gambar 2. Titik-titik pengambilan tekanan.

Tabel 1. Kondisi operasi.

Kondisi operasi	Nilai	Satuan
Debit minyak sawit	9	l/m
Debit metanol	2.5	l/m
Katalis KOH	0.5	%
Suhu operasi	65	°C

data tekanan adalah manometer air yang dibuat dari selang transparan berukuran ¼ in. Pengambilan data tekanan dilakukan dengan kamera untuk mengurangi terjadinya paralaks. Pada setiap titik pengambilan data tekanan juga diambil data suhu dan juga sampel minyak. Dari sampel minyak yang diambil nantinya diperoleh data berat jenis (ρ), viskositas dinamik (μ) dan viskositas kinematik (ν) campuran minyak.

Analisis dimensional

Menurut Song & Han (2005) faktor-faktor yang berpengaruh dalam SMR adalah *pressure drop* (ΔP), faktor gesekan (C_f), bilangan Reynold (Re) dan *aspect ratio* (Ar) sehingga dalam persamaan matematis dapat dituliskan sebagai

$$f(\Delta P, D, Lp, Le, \mu, \rho, \nu) = 0 \quad (1)$$

dengan Lp adalah panjang reaktor, Le adalah panjang elemen, D adalah diameter reaktor dan ν adalah kecepatan aliran di dalam pipa. Dari persamaan matematis tersebut maka ditentukan dimensi-dimensi dari parameter-parameter tersebut yang tersaji pada Tabel 2.

Pemodelan yang digunakan dalam analisis dimensional ini adalah dengan metode Buckingham (Phi-Theorema). Dari parameter-parameter pada Tabel 2 ditentukan jumlah grup tak berdimensi (π) dengan menggunakan persamaan

$$i = n - r \quad (2)$$

dengan i adalah jumlah grup tak berdimensi, n adalah jumlah variabel yang terlibat dan r adalah rank dari matriks dimensional. Dalam model ini terdapat 5 grup tak berdimensi sehingga akan terbentuk π_1 , π_2 , π_3 , π_4 dan π_5 . Persamaan masing-masing grup tak berdimensi tampak pada Persamaan 3 sampai dengan Persamaan 7.

$$\pi_1 = \Delta P \rho^{-1} \nu^{-2} \quad (3)$$

$$\pi_2 = Lp D^{-1} \quad (4)$$

$$\pi_3 = Le D^{-1} \quad (5)$$

$$\pi_4 = \mu \nu^{-1} \rho^{-1} D^{-1} \quad (5)$$

$$\pi_5 = 1 \quad (7)$$

Tabel 2. Lambang dan dimensi parameter yang berpengaruh dalam SMR.

Parameter	Lambang	Dimensi (MLT)
Pessure drop	ΔP	$M L^{-1} T^{-2}$
Diameter	D	L
Panjang pipa	Lp	L
Panjang elemen pengaduk	Le	L
Viskositas kinematik	μ	$M L^{-1} T^{-1}$
Berat jenis	ρ	$M L^{-3}$
Kecepatan aliran	ν	$L T^{-1}$
Sudut puntiran	θ	L/L

Dari grup-grup tak berdimensi tersebut jika disubstitusikan ke dalam Persamaan 1 maka dapat diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5) = 0 \quad (8)$$

$$f\left(\frac{\Delta P}{\rho^1 \nu^2}, \frac{Lp}{D}, \frac{Le}{D}, \frac{\mu}{\nu \rho D}, 1\right) = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho^1 \nu^2} = f\left(\frac{Lp}{D}, \frac{Le}{D}, \frac{\mu}{\nu \rho D}\right) \quad (10)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho \nu} = f\left(\frac{Lp}{D}, Ar, Re\right) \quad (11)$$

$$\Delta P = C \rho \nu^2 \left(\frac{Lp}{D}\right)^a (Ar)^b \left(\frac{1}{Re}\right)^c \quad (12)$$

Dengan nilai dari C , a , b , dan c didapat dari perhitungan menggunakan data yang diperoleh dalam penelitian ini.

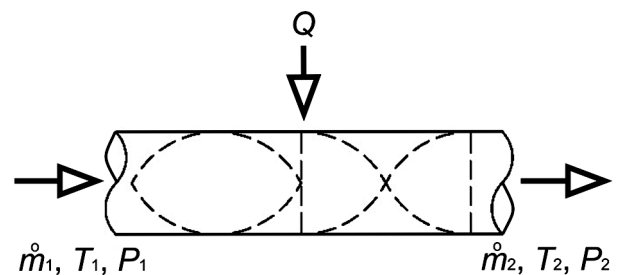
Analisis eksergi

Untuk menganalisis persamaan keseimbangan eksergi aliran di dalam reaktor perlu digambarkan diagram atau skema dari sistem (Gambar 3). Langkah pertama dalam menentukan perubahan eksergi adalah dengan menyusun persamaan kesetimbangan energi aliran minyak.

$$\dot{m}h_1 = \dot{m}h_2 + Q \quad (13)$$

Dengan $\dot{m}$ adalah laju massa aliran minyak dalam reaktor dan h adalah entalpi.

Pada kasus ini Q yang merupakan energi dari pemanas diabaikan karena analisis hanya dilakukan terhadap pengaruh ΔP saja. Selanjutnya disusun persamaan keseimbangan entropi yaitu:



Gambar 3. Skema sistem dalam SMR.

Tabel 3. Pengaruh SMR terhadap sifat fisik dan sifat mekanik campuran minyak dalam proses transesterifikasi.

Data ke-	P (Pa)	T °C	μ (N.s/m ²)	ρ (kg/m ³)	v (m/s)	Re
1	102,168.49	59	0.0267	865.00	0.187	218.8847
2	101,864.44	55	0.0065	852.00	0.190	899.3794
3	101,619.24	55	0.0048	795.33	0.204	3,320.4675
4	101,481.93	65	0.0041	854.00	0.190	1,421.7694
5	101,364.23	56	0.0037	869.33	0.186	1,560.6035
6	101,325.00	50	0.0027	842.67	0.192	2,138.5473

$$\dot{m}S_1 = \dot{m}S_2 + \sigma \quad (14)$$

S merupakan entropi dan σ adalah ketakmampubalikan (*irreversibility*) sistem.

Eksergi merupakan besaran dari kualitas energi sehingga eksergi adalah energi dikurangi dengan entropi yang dikalikan dengan suhu ruang. Dengan demikian persamaan kesetimbangan eksergi dari sistem dapat dituliskan sebagai:

$$\dot{m}h_1 - T_0 \dot{m}S_1 = \dot{m}h_2 - T_0 \dot{m}S_2 + T_0 \sigma \quad (15)$$

$$T_0 \sigma = \dot{m}(h_2 - h_1) - \dot{m}T_0(S_2 - S_1) \quad (16)$$

$$T_0 \sigma = \dot{m}dh - \dot{m}T_0 dS \quad (17)$$

Untuk analisis eksergi yang diakibatkan oleh ΔP maka dh dianggap nol karena diasumsikan tidak terjadi reaksi, sehingga Persamaan 17 berubah menjadi:

$$T_0 \sigma = -\dot{m}T_0(S_2 - S_1) \quad (18)$$

Selanjutnya digunakan persamaan $T dS$ agar perhitungan entropi dapat dilakukan dengan data yang lebih banyak dan lengkap.

$$T dS = dh - v dP \quad (19)$$

$$T dS = -v dP \quad (20)$$

$$S_2 - S_1 = \int_{P_1}^{P_2} \frac{v}{T} dP \quad (21)$$

Jika persamaan gas ideal dimasukkan ke dalam Persamaan 21 maka akan diperoleh persamaan

$$S_2 - S_1 = R \int \frac{1}{P} dP \quad (22)$$

Sehingga persamaan eksergi untuk sistem ini adalah:

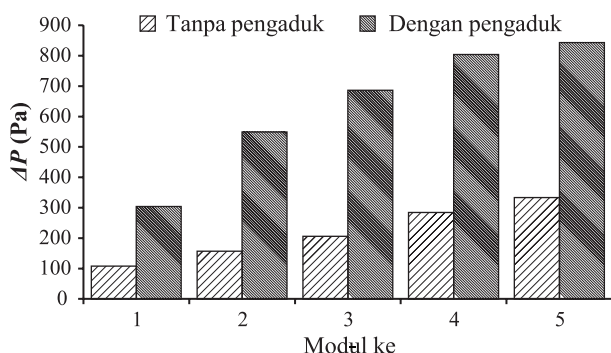
$$T_0 \sigma = \dot{m}T_0 R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (23)$$

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh pengaduk statis terhadap *pressure drop* (ΔP)

Dari hasil pengukuran terhadap pipa tanpa pengaduk dan dengan pengaduk statis menunjukkan bahwa *pressure drop* yang terjadi pada pipa berpengaduk statis lebih besar dibandingkan dengan pipa tanpa pengaduk. Dari hasil pengukuran tekanan ini tampak bahwa dengan adanya elemen pengaduk statis di dalam pipa maka akan meningkatkan *pressure drop* aliran. Bakker et al. (2000) menyatakan bahwa tekanan terbesar yang terjadi pada elemen berpengaduk statis terdapat pada bagian ujung elemen dan daerah dengan tekanan yang rendah terjadi ketika fluida meninggalkan elemen. *Pressure drop* paling besar terjadi pada modul pertama dan yang terkecil pada modul kelima.

Pada Gambar 4 tampak bahwa perubahan *pressure drop* pipa tanpa pengaduk lebih kecil dibandingkan *pressure drop* pipa dengan SMR. Selain itu *pressure drop* pada pipa dengan SMR juga mengalami penurunan yang lebih besar pada setiap modulnya. Hal ini terjadi karena pada pipa dengan SMR mengalami perubahan viskositas dan densitas yang lebih besar sehingga perubahan *pressure drop* yang terjadi lebih besar. Hal ini menunjukkan dengan adanya elemen pengaduk di dalam SMR maka reaksi yang terjadi di dalamnya lebih cepat.



Gambar 4. *Pressure drop* yang terjadi pada setiap modul pada pipa tanpa pengaduk dan dengan pengaduk statis (SMR).

Tabel 4. Validasi persamaan.

Modul	ΔP_{aktual} (Pa)	ΔP_{hitung} (Pa)	Error (%)
1	304.048	309.358	1.72
2	549.248	544.785	0.82
3	686.56	664.360	3.34
4	804.256	791.168	1.65
5	843.488	878.017	3.93

Table 5. Ketakmampubalikan akibat perubahan tekanan.

Modul	σ_{mixer} W	$\sigma_{\text{tanpa mixer}}$ W	$\Delta\sigma$ %
1	0.141	0.050	180.73
2	0.255	0.073	248.99
3	0.319	0.096	232.52
4	0.374	0.133	182.12
5	0.392	0.156	152.36

Analisis dimensional

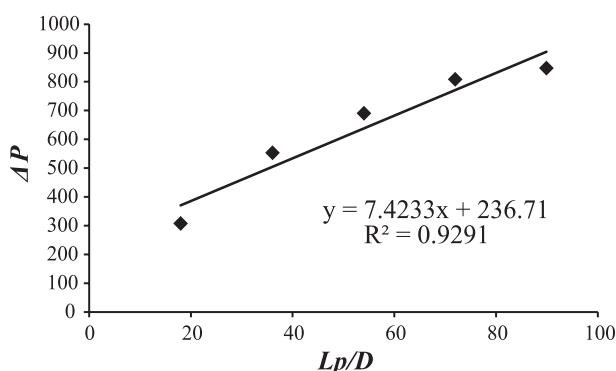
Dari hasil pengoperasian SMR diperoleh data sifat fisik dan mekanik dari campuran minyak (Tabel 3). Data sifat fisik dan sifat mekanik yang telah diperoleh disubstitusikan ke dalam bentuk π (Persamaan 12) dan diubah menjadi bentuk $\ln \pi$.

Dengan menggunakan pendugaan regresi linear terhadap $\ln \pi$ maka didapatkan nilai $C = 1.5747$, $a = 0.624$, $b = -1.089$, dan $c = -0.074$. Dari nilai konstanta dan koefisien tersebut diperoleh persamaan matematis hubungan antara *pressure drop* dengan parameter lainnya sebagai berikut:

$$\Delta P = 1.5747 \rho v^2 \left(\frac{Lp}{D} \right)^{0.624} (Ar)^{-1.089} \left(\frac{1}{Re} \right)^{-0.074} \quad (24)$$

Validasi model dilakukan dengan mensubstitusikan kembali data-data yang ada ke dalam persamaan yang telah diperoleh. Dari hasil validasi tersebut diperoleh nilai error seperti pada Tabel 4. Nilai error yang terjadi masih di bawah 10% sehingga persamaan dapat diterima.

Hubungan antara ΔP dengan Lp/D berupa

Gambar 5. Hubungan antara ΔP dengan Lp/D .

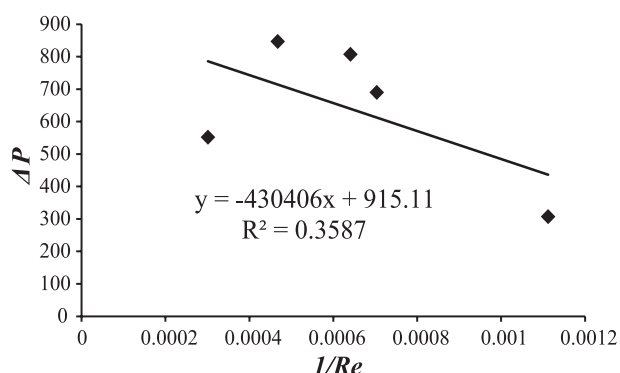
garis linier dengan gradien positif, dengan demikian dengan meningkatnya Lp/D maka akan meningkatkan ΔP . Apabila Lp/D berubah sebesar 100% maka ΔP berubah sebesar 38.54%. Hubungan ini tampak seperti pada Gambar 5. Dari Persamaan 24 tampak bahwa hubungan ΔP dengan Lp/D berbentuk polinomial, namun demikian pada segmen yang terukur dalam penelitian ini hubungan ΔP dengan Lp/D dapat dilinierkan seperti pada Gambar 5. Pada Lp/D sama dengan nol nilai ΔP mendekati nol, hal ini dikarenakan pada saat Lp/D sama dengan nol tekanan fluida yang terukur berada pada satu titik sehingga perubahan tekanan yang terjadi sama dengan nol. Peningkatan 100% $1/Re$ menurunkan ΔP sebesar 100.21%. Hubungan antara ΔP dengan $1/Re$ berupa garis linear dengan gradien negatif (Gambar 6).

Analisis eksergi

Analisis eksergi yang dilakukan merupakan analisis eksergi akibat perubahan tekanan di dalam pipa. Pada analisis ini penambahan panas oleh pemanas dan juga eksergi yang diakibatkan oleh reaksi dianggap nol. Dengan mensubstitusikan hasil pengukuran tekanan ke dalam Persamaan 23 maka diperoleh nilai ketakmampubalikan pada Tabel 5.

Tabel 5 menunjukkan besarnya ketakmampubalikan akibat perubahan tekanan yang terjadi di dalam pipa kosong dan pipa berpengaduk statis. Semakin besar perubahan tekanan yang terjadi di dalam pipa mengakibatkan peningkatan nilai ketakmampubalikan, hal ini mengakibatkan ketakmampubalikan SMR lebih besar dibandingkan dengan pipa tanpa pengaduk.

Selisih ketakmampubalikan antara SMR dengan pipa tanpa pengaduk merupakan ketakmampubalikan akibat penggunaan elemen pengaduk statis. Total ketakmampubalikan akibat elemen pengaduk statis adalah 0.237 W, dan dianggap sebagai nilai ketakmampubalikan yang dapat diminimalkan melalui rancangan elemen pengaduk statik yang lebih baik. Berdasarkan pada hubungan antara ΔP dengan Lp/D dan $1/Re$, untuk menurunkan nilai ΔP dapat dilakukan dengan mengubah parameter yang berhubungan

Gambar 6. Hubungan antara ΔP dengan $1/Re$.

dengan Lp/D dan juga $1/Re$. Lp/D merupakan parameter yang berasal dari spesifikasi mesin sehingga untuk merubah parameter tersebut harus dilakukan dengan mengubah desain mesin. Untuk menurunkan ΔP tanpa mengubah desain mesin adalah dengan mengubah $1/Re$ yaitu dengan mengubah kecepatan aliran di dalam pipa. $1/Re$ berbanding terbalik dengan v sehingga dengan ρ , μ dan D yang sama jika v diturunkan sebesar 50% maka ΔP akan meningkat sebesar 50.105%.

Simpulan

Variabel-variabel yang berpengaruh terhadap *pressure drpo* (ΔP) di dalam SMR meliputi diameter pipa (D), panjang pipa (Lp), panjang elemen pengaduk (Le), viskositas kinematik campuran minyak (μ), berat jenis campuran minyak (ρ) dan juga kecepatan aliran di dalam pipa (v) yang dapat diformulasikan ke dalam bentuk persamaan matematis sebagai:

$$\Delta P = 1.5747 \rho v^2 \left(\frac{Lp}{D} \right)^{0.624} (Ar)^{-1.089} \left(\frac{1}{Re} \right)^{-0.074}$$

Total ketakmampubalikan akibat penggunaan elemen pengaduk statis adalah 0.237 W.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang sudah mendukung penelitian ini dalam Penelitian Hibah Kompetensi tahun ketiga sesuai kontrak nomor: 157/SP2H/PL/DI.LITABMAS/2/2015 Tanggal 5 Februari 2015.

Daftar Pustaka

- Alamsyah, R., A.H. Tambunan, Y.A. Purwanto, D. Kusdiana. 2010. Comparison of static-mixer and blade agitator reactor in biodiesel production. CIGR Journal. 12(1):99106.
- Bakker, A., R.D. Laroche, E.M. Marshall. 2000. Laminar flow in static mixers with helical elements. The Online CFM Book [Internet]. [diunduh 2013 Nov 28]. Tersedia pada: <http://www.bakker.org/cfm>.
- Bridgman, P.W. 1922. *Dymensional Analysis*. Yale (US): Yale Univ Pr.
- Darnoko, D., M. Cheryan. 2000. Kinetics of palm oil transesterification in a batch reactor. JAOCS. 77(12):1263-1267.
- Freedman, B., W.F. Kwolek, E.H. Pryde. 1986. Quantitation in the analysis of transesterified soybean oil by capillary gas chromatography. JAOCS. 63:1370-1375.
- Knothe, G., J.V. Gerpen, J. Krah. 2005. *The Biodiesel Handbook*. Champaign, Illinois (US). AOCS Pr.
- Moser, B.R. 2009. Biodiesel production, properties, and feedstocks. In *Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 45:229-266.
- Panggabean, S. 2011. Analisis kinetika reaksi transesterifikasi pada produksi biodiesel secara katalitik dengan *static mixing reactor* [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Song, H.S., S.P. Han. 2005. A general correlation for pressure drop in a Kenics static mixer. Chem Eng Science. 60:5696-5704. doi:10.1016/j.ces.2005.04.084.
- Soolany, C., A.H. Tambunan, R. Sudrajat. 2015. Kajian penggunaan static mixing reactor pada proses produksi biodiesel secara katalitik dengan sistem continue. J Penelitian Hasil Hutan. 33(3):261-272.
- Thakur, R.K., Ch. Vial, K.D.P. Nigam, E.B. Nauman, G. Djelveh. 2003. Static mixers in the process industries - a review. IChemE. 81:787-826.
- Vicente, G., M. Martinez, J. Araci. 2004. Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems. *Bioresource Technology*. 92:297–305.

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). JTEP terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi *online*. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energy alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makassar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), Dr.Ir. Lady Corrie Ch Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si. (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Karakterisasi Arang dan Gas-gas Hasil Pirolisis Limbah Kelapa Sawit

Characterization of Pyrolysis Char and Gases of Palm Oil Waste

Muhammad Raju, Mahasiswa Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Email: muhammadraju.raju3@gmail.com

Armansyah Halomoan Tambunan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Email: ahtambun@yahoo.com

Radite Praeko Agus Setiawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem,

Institut Pertanian Bogor. Email: iwan_radit@yahoo.com

Abstract

Empty fruit bunch (EFB) and shell of oil palm are potential sources of bioenergy because they contain lignocellulose (cellulose, hemicellulose and lignin) which can be converted to bio-oil (liquid), char, or combustible gases by pyrolysis process. Operating temperature of the pyrolysis process will influence the composition of the liquid, char and gases, as well as its characteristics. The objective of this study is to characterize the pyrolysis product of both empty fruit bunch and shell as affected by the pyrolysis temperature. The experiment was conducted by using a lab scale pyrolysis reactor, specially designed with controllable temperature. The temperature of the pyrolysis process was controlled at 300°C, 400°C, 500°C, and 600°C level, and the product was measured and analysed. The result showed that pyrolysis of shell produced char, liquid and gases at the range of 34.99 - 63.78%, 22.76 - 43.28% and 13.47 - 21.73%, in mass fraction respectively. While pyrolysis of empty fruit bunch produced char, liquid and gases at the range of 30.66 - 64.7%, 16.25 - 29.16% and 18.98 - 44.49%, in mass fraction respectively. Increasing temperature resulted in increasing calorific value of the pyrolysis char from shell and empty fruit bunch in range of 25.64 – 29.60 kJ/g and 24.50 – 27.86 kJ/g, respectively. However, the calorific value of pyrolysis gases was decreasing with the increasing temperature in range of 12.18 kJ/g – 20.05 kJ/g and 11.98 kJ/g – 15.94 kJ/g, respectively. The gas calorific value did not account H₂ gas, which might be the cause of the phenomenon. Shell pyrolysis temperature increasing caused the increasing of CO concentration in range 2.86% - 18.42% while the CH₄ concentration increased at 400°C level afterwards decreased at higher temperature level in range of 0.89% - 2.84%. The increasing of EFB pyrolysis temperature increased CO dan CH₄ concentration in range 3.8% - 15.74% and 0.29% - 0.76%, respectively.

Keywords: *pyrolysis, oil palm shell, empty fruit bunch, char, combustible gas*

Abstrak

Cangkang dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan sumber bioenergi yang potensial karena mengandung lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa dan lignin) sehingga dapat dikonversi menjadi cairan, arang atau gas mampu bakar melalui proses pirolisis. Suhu pengoperasian pada proses pirolisis akan mempengaruhi komposisi cairan, arang dan gas serta karakteristik hasil pirolisis tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkarakterisasi produk pirolisis cangkang dan tandan kelapa sawit yang dipengaruhi oleh suhu pirolisis. Penelitian dilakukan dengan menggunakan reaktor pirolisis skala lab, yang didesain khusus agar suhunya dapat dikendalikan. Suhu pirolisis dikendalikan pada level 300°C, 400°C, 500°C dan 600°C, kemudian hasil pirolisis diukur dan dianalisa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pirolisis cangkang menghasilkan fraksi massa arang, cairan dan gas dalam rentang 34.99 - 63.78%, 22.76 - 43.28% dan 13.47 - 21.73% secara berturut-turut. Sedangkan pirolisis TKKS menghasilkan fraksi massa arang, cairan dan gas dalam rentang 30.66 – 64.76%, 16.25 – 29.16% dan 18.98 – 44.49% secara berturut-turut. Peningkatan suhu menghasilkan peningkatan nilai kalor arang hasil pirolisis cangkang dan TKKS dengan rentang antara 25.64 – 29.60 kJ/g dan 24.50 – 27.86 kJ/g. Tetapi, nilai kalor gas pirolisis menurun seiring dengan peningkatan suhu pirolisis dengan rentang 12.18 kJ/g – 20.05 kJ/g dan 11.98 kJ/g – 15.94 kJ/g untuk pirolisis cangkang dan TKKS. Nilai kalor gas tidak menghitung gas H₂ yang mungkin menyebabkan fenomena tersebut. Peningkatan suhu pirolisis cangkang kelapa sawit mengakibatkan peningkatan konsentrasi gas CO pada rentang 2.8% - 18.42% sementara konsentrasi gas CH₄ meningkat pada suhu 400°C namun menurun kembali dengan rentang 0.89% - 2.84%. Peningkatan suhu pirolisis TKKS meningkatkan konsentrasi gas CO dan CH₄ pada rentang 3.81% - 15.74% dan 0.29% - 0.76%.

Kata Kunci: pirolisis, cangkang kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit, arang, gas mampu bakar

Diterima: 19 November 2015; Disetujui: 13 Mei 2016

Pendahuluan

Biomassa menjadi sumber energi terbarukan untuk mensubstitusi bahan bakar fosil serta mengatasi kerusakan lingkungan. Limbah kelapa sawit merupakan biomassa yang melimpah di Indonesia. Menurut Badan Pusat Statistik produksi kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2014 mencapai 29.34 juta ton. Pengolahan tandan buah segar menghasilkan limbah berupa cangkang (6.7%) dan TKKS (22.5 %).

Cangkang dan TKKS mengandung lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa dan lignin) yang dapat dikonversi menjadi bahan bakar sebagai sumber energi (Omar *et al.* 2011). Konversi lignoselulosa dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu pembakaran langsung, gasifikasi, liquefaksi, torefaksi dan pirolisis. Pada penelitian ini proses konversi akan dilakukan secara pirolisis karena menghasilkan produk dalam bentuk arang, cairan dan gas yang memiliki fungsi tersendiri. Komposisi produk-produk tersebut dapat dikendalikan dengan menggunakan kendali proses.

Pirolisis adalah penguraian kandungan kimia biomassa dengan pemanfaatan panas tanpa adanya campuran oksigen pada suhu sekitar 200°C – 600°C. Produk yang dihasilkan berupa arang, cairan dan gas (Silva *et al.* 2012). Menurut Klass (1998) umumnya gas yang dihasilkan terdiri dari H₂, CO₂, CO, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, gas organik dan uap air. Proses pirolisis lignoselulosa biomassa terdiri dari empat tahapan yaitu pelepasan uap air, dekomposisi hemiselulosa, dekomposisi selulosa dan dekomposisi lignin. Dekomposisi hemiselulosa biasanya terjadi pada suhu 220°C – 315°C. Selulosa terdekomposisi pada suhu 315°C – 400°C dan lignin biasanya terdekomposisi pada suhu 150°C sampai suhu 900°C (Yang *et al.* 2006).

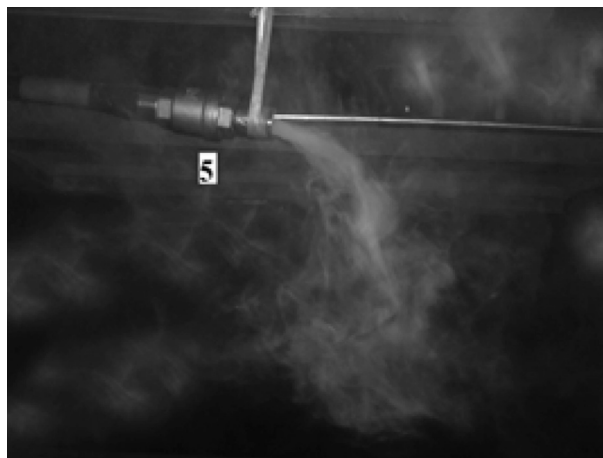
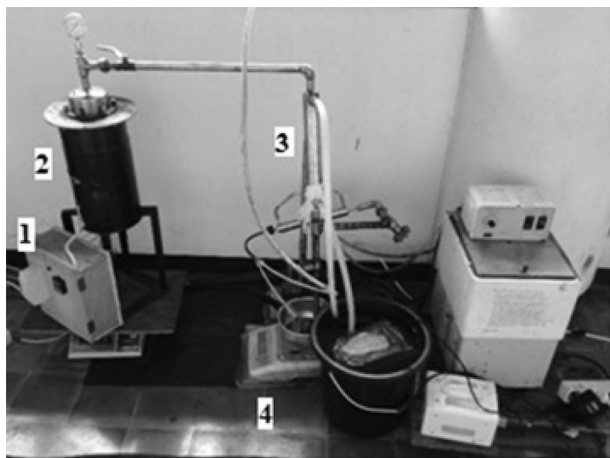
Penelitian yang dilakukan Razuan *et al.* (2010) menunjukkan bahwa proses pirolisis dengan suhu 500°C dan 700°C yang diaplikasikan pada *oil palm stone* dan *palm kernel cake* meningkatkan nilai kalor pada arang seiring dengan peningkatan suhu pirolisis. Konsentrasi gas H₂ meningkat, CH₄ mengalami peningkatan sampai suhu 600°C setelah itu mengalami penurunan sedang gas CO dan CO₂ mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya suhu pirolisis. Penelitian dengan bahan sekam padi dilakukan oleh Park *et al.* (2014). Peningkatan suhu pirolisis meningkatkan jumlah gas namun menurunkan jumlah dan nilai kalor arang yang dihasilkan. Konsentrasi CO dan CO₂ yang terbentuk mengalami penurunan sedangkan H₂ dan CH₄ mengalami peningkatan seiring meningkatnya suhu. Ginting (2014) menggunakan bahan TKKS. Pirolisis dilakukan dengan suhu 200°C – 450°C. Hasil yang diperoleh adalah nilai kalor gas mampu bakar yang terbentuk berupa H₂, CO dan CH₄ meningkat dengan meningkatnya suhu pirolisis.

Hasil pirolisis biomassa dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain jenis bahan (meliputi komposisi komponen serta lignoselulosa), ukuran, suhu, laju pemanasan dan sebagainya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik produk yang dihasilkan khususnya arang dan gas mampu bakar dari pirolisis limbah kelapa sawit pada berbagai perlakuan suhu.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2014 hingga April 2015 di laboratorium Pindah Panas dan Massa, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor. Analisis laboratorium dilakukan di Laboratorium Pengujian



Gambar 1. Rangkaian peralatan eksperimen.

Keterangan :

1. Panel listrik yang terdiri dari termostat digital (Omron E5CZ), MCB dan solid state relay
2. Reaktor dilengkapi dengan heater
3. Kondensor
4. Timbangan digital dengan sensitivitas 0.01 g
5. Selang pengukuran gas yang dihubungkan dengan alat gas analyzer Merk Lancom 4

Hasil Hutan Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan Bogor dan Laboratorium Ilmu dan Teknologi Pakan, Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Institut Pertanian Bogor.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang dan TKKS yang diperoleh dari hasil pengolahan tandan buah segar dari pabrik kelapa sawit Kebun Cikasungka PTPN VIII, Cigudeg, Bogor. Proses pengecilan ukuran dilakukan secara manual untuk bahan TKKS agar diperoleh ukuran bahan sebesar 3-4 cm.

Proses pirolisis dilakukan dengan alat pirolisis skala lab berukuran Ø 10 cm dan tinggi 40 cm dengan rangkaian seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Peralatan pengujian dilengkapi dengan peralatan ukur menggunakan termokopel tipe K dan termostat digital (Omron E5CZ) sebagai pengendali suhu elemen pemanas (*heater*) pada reaktor dan alat gas analyzer Merk Lancom 4 untuk mengukur komposisi gas yang dihasilkan. Peralatan pengujian juga dilengkapi dengan kondensor dengan fluida berupa air dingin 18°C.

Metode

Pirolisis pada biomassa diharapkan dapat meningkatkan densitas energi yang terkandung pada hasilnya karena akan menghasilkan kerja yang lebih baik dibandingkan dengan pembakaran langsung biomassa tersebut. Perbedaan perlakuan suhu pada pirolisis dilakukan untuk mengetahui perlakuan yang lebih baik dalam menghasilkan produk pirolisis yang ingin diprioritaskan untuk dihasilkan.

Pirolisis dilakukan dengan sistem batch. Bahan dimasukkan ke dalam reaktor dan dipanaskan dengan heater pada suhu 300°C, 400°C, 500°C dan 600°C. Bahan yang digunakan pada tiap perlakuan adalah 1000g cangkang sawit dan 300g TKKS. Arus listrik *heater* dikendalikan dengan termostat digital.

Titik pengukuran suhu di dalam reaktor ditunjukkan oleh Gambar 2. Titik T1, T2, T3 dan T4 adalah titik-titik pengukuran suhu di dalam reaktor yang dicatat tiap menit selama proses pirolisis. Titik T1 berada tepat di tengah reaktor (pusat reaktor), titik T2 berada di tengah jari-jari reaktor (0.5R), titik T3 berada 1 cm dari dinding dalam reaktor dan T4 ditempelkan pada dinding dalam reaktor dan merupakan titik dimana suhu pirolisis dikontrol. Dari hasil pencatatan akan diperoleh laju pemanasan tiap titik. Laju pemanasan dan suhu perlakuan akan dikorelasikan dengan hasil pirolisis yang diperoleh.

Reaktor kemudian didiamkan sampai mencapai suhu lingkungan. Produk pirolisis berupa padatan dan cairan ditimbang sedangkan gas dihitung dengan prinsip kesetimbangan massa. Fraksi massa produk dihitung sesuai dengan persamaan (1), (2) dan (3).

$$\% \text{ padatan} = \frac{\text{massa akhir padatan}}{\text{massa total bahan}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\% \text{ cairan} = \frac{\text{massa cairan}}{\text{massa total bahan}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\% \text{ gas} = 100\% - (\% \text{ padatan} + \% \text{ cairan}) \quad (3)$$

Gas pirolisis yang terbentuk diukur dan dicatat secara otomatis pada komputer kemudian dihitung dengan menggunakan rumus integrasi simpson dengan menerapkan prinsip luas kurva yang terbentuk oleh diagram persentase gas, dengan rumus seperti pada persamaan (4).

$$\text{luas kurva} = \frac{h}{3} \left\{ f_0 + 4 \sum_{i=1}^{n-1} f_{\text{ganjil}} + 4 \sum_{i=1}^{n-1} f_{\text{genap}} + f_n \right\} \quad (4)$$

h = interval tiap data

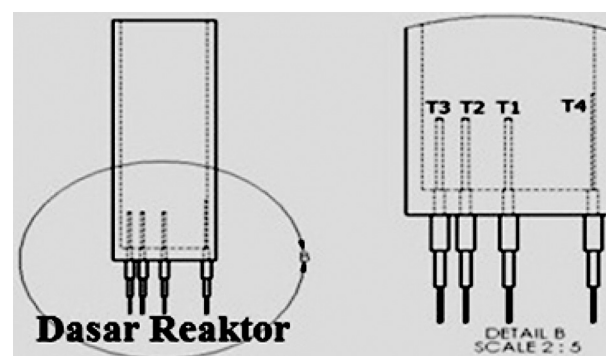
f_0 = data pertama

f_{ganjil} = data ganjil (f_1, f_3, f_5 dst)

f_{genap} = data genap (f_2, f_4, f_6 dst)

f_n = data terakhir

Analisis ultimat untuk mengetahui besarnya persentase karbon, hidrogen, nitrogen, dan oksigen yang terkandung pada cangkang dan TKKS dilakukan menggunakan alat GCMS Pirolisis Shimadzu tipe GCMS-QP2010. Analisis Proksimat untuk mengetahui kadar air, zat terbang (*volatile matter*), karbon tetap dan abu dilakukan dengan menggunakan *termogravimetri analyzer*. Analisis lignoselulosa TKKS dilakukan untuk mengetahui persentase kandungan selulosa menggunakan metode Norman Jenkins, lignin dengan standar TAPPI, T 6 m – 59 (ASTM), hemiselulosa menggunakan standar ASTM 1104-56 dan ASTM 1103-60. Analisis ultimat, proximat dan lignoselulosa dilakukan di Laboratorium Pengujian Hasil Hutan Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan Bogor. Analisis nilai kalor arang dilakukan di Laboratorium Ilmu dan Teknologi Pakan, Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Institut Pertanian Bogor dengan menggunakan alat *bomb calorimeter* Parr 6200.



Gambar 2. Titik pengukuran suhu di dalam reaktor.

Tabel 1. Analisis ultimat dan proksimat cangkang kelapa sawit dan beberapa literatur pembandingan.

Kandungan	Hasil Penelitian	Literatur Pembandingan			
		A	B	C	D
Analisa Ultimat					
C (%)	68.45	53.78	48.68	49.74	55.82
H (%)	9.52	7.20	4.77	5.32	5.62
N (%)	0.20	0.00	1.17	0.08	0.84
S (%)	0.74	0.51	0.20	0.16	-
O (%)	20.99	36.30	45.27	44.86	37.73
Analisa Proksimat					
Kadar air (%)	3.87	5.73	-	11.00	11.90
Volatile matter (%)	72.34	73.74	73.77	67.20	66.80
Karbon tetap (%)	20.61	18.37	15.15	19.70	17.90
Abu (%)	7.06	2.21	11.08	2.10	3.40
Nilai Kalor (MJ/kg)	19.15	22.14	16.30	-	15.89

^A Sukiran (2008), ^B Idris *et al* (2012), ^C Abnisa *et al* (2011), ^D Lee *et al* (2013).

Tabel 2. Analisis ultimat dan proksimat TKKS dan beberapa literatur pembandingan.

Kandungan	Hasil Penelitian	Literatur Pembandingan			
		E	F	G	H
Analisa Ultimat					
C (%)	66.17	46.62	48.78	49.07	53.78
H (%)	9.54	6.45	7.33	6.48	4.37
N (%)	1.51	1.21	0.00	0.70	0.35
S (%)	0.06	0.035	0.08	0.10	0.00
O (%)	22.72	45.66	40.18	38.29	41.50
Analisa Proksimat					
Kadar air (%)	2.75	5.18	8.75	7.95	-
Volatile matter (%)	76.09	82.58	79.67	83.86	81.90
Karbon tetap (%)	18.15	8.97	8.68	10.78	12.60
Abu (%)	5.80	3.45	3.02	5.36	3.11
Nilai Kalor (MJ/kg)	18.72	17.02	18.96	17.08	-

^E Mohammed *et al* (2011), ^F Ma and Yousuf (2005), ^G Yang *et al* (2006), ^H Abdulah and Gerhauser (2008).

Tabel 3. Analisis linognoselulosa cangkang dan TKKS.

Komponen	Hasil Penelitian		Literatur Pembandingan			
	Cangkang	Tandan	A	B	C	D
Selulosa (%)	37.76	38.94	22.24	23.70	38.10 - 63.00	56.05
Hemiselulosa (%)	21.23	28.21	20.58	21.60	20.10 - 35.30	17.63
Lignin (%)	35.60	22.14	30.45	29.20	10.50 - 36.60	5.97

^A Mohammed *et al* (2011) (tandan), ^B Law *et al* (2007) (tandan), ^C Yang *et al* (2006) (tandan), ^D Ginting (2014) (tandan).

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Cangkang dan Tandan Kosong Kelapa Sawit

Perbandingan hasil analisis ultimat, proksimat dan nilai kalor cangkang dan TKKS yang digunakan dalam penelitian ini dengan beberapa penelitian lainnya ditunjukkan oleh Tabel 1 dan 2. Rasio atom O/C dan H/C yang diperoleh dari analisis ultimat dapat digunakan untuk menunjukkan besarnya nilai kalor yang dapat dimanfaatkan dari bahan bakar tertentu. Semakin kecil nilai rasio O/C dan H/C maka nilai kalor yang terkandung di dalam suatu bahan bakar tertentu akan semakin besar,

dan sebaliknya. Dari hasil terlihat bahwa nilai kalor cangkang dan TKKS relatif lebih besar dibandingkan dengan literatur pembandingan dikarenakan tingginya persentase atom C yang terkandung di dalamnya.

Kandungan karbon tetap (*fixed carbon*) dan zat terbang (*volatile matter*) dari analisis proksimat akan berpengaruh pada kandungan energi biomassa. Semakin besar perbandingan antara karbon tetap dan zat terbang, semakin besar pula energi kimia yang dapat dilepaskannya. Sementara itu, kadar air dan kadar abu adalah komponen-komponen yang dapat mempengaruhi kualitas bahan bakar (Silva *et al.* 2012).

Tabel 4. Persamaan regresi linear dan laju pemanasan pirolisis cangkang kelapa sawit.

Suhu pirolisis (°C)	Titik pengukuran	Regresi linear	Laju pemanasan (°C/me
300	T1	$y = 3.923x - 227.0$	$dy = 3.92$
	T2	$y = 1.410x + 106.3$	$dy = 1.41$
	T3	$y = 0.964x + 173.0$	$dy = 0.96$
	T4	$y = 40.43x + 23.27$	$dy = 40.43$
400	T1	$y = 9.988x - 503.8$	$dy = 9.99$
	T2	$y = 3.425x + 59.68$	$dy = 3.43$
	T3	$y = 1.937x + 211.0$	$dy = 1.94$
	T4	$y = 45.18x + 6.897$	$dy = 45.18$
500	T1	$y = 19.32x - 793.3$	$dy = 19.32$
	T2	$y = 6.444x + 54.11$	$dy = 6.44$
	T3	$y = 2.898x + 280.8$	$dy = 2.90$
	T4	$y = 45.60x - 8.885$	$dy = 45.60$
600	T1	$y = 17.30x - 529.2$	$dy = 17.30$
	T2	$y = 11.52x - 0.966$	$dy = 11.52$
	T3	$y = 6.190x + 225.0$	$dy = 6.19$
	T4	$y = 44.60x + 13.80$	$dy = 44.60$

Tabel 5. Persamaan regresi linear dan laju pemanasan pirolisis TKKS.

Suhu pirolisis (°C)	Titik pengukuran	Regresi linear	Laju pemanasan (°C/menit)
300	T1	$y = 9.004x - 16.34$	$dy = 9.00$
	T2	$y = 3.319x + 169.7$	$dy = 3.32$
	T3	$y = 1.790x + 238.6$	$dy = 1.79$
	T4	$y = 48.53x + 25.97$	$dy = 48.53$
400	T1	$y = 25.74x - 160.7$	$dy = 25.74$
	T2	$y = 27.58x - 62.99$	$dy = 27.58$
	T3	$y = 42.90x - 106.6$	$dy = 42.90$
	T4	$y = 55.58x - 2.218$	$dy = 55.58$
500	T1	$y = 38.41x - 142.9$	$dy = 38.41$
	T2	$y = 28.72x - 24.34$	$dy = 28.72$
	T3	$y = 40.04x - 69.89$	$dy = 40.04$
	T4	$y = 52.78x + 20.69$	$dy = 52.78$
600	T1	$y = 42.09x - 247.4$	$dy = 42.09$
	T2	$y = 49.33x - 238.1$	$dy = 49.33$
	T3	$y = 38.01x - 56.30$	$dy = 38.01$
	T4	$y = 48.91x + 23.44$	$dy = 48.91$

Pirolisis Cangkang dan Tandan Kosong Kelapa Sawit

Proses pirolisis telah dilakukan dan berlangsung pada suhu 300°C, 400°C, 500°C dan 600°C dengan menggunakan bahan cangkang dan TKKS. Sumber panas yang digunakan dalam proses pirolisis berasal dari *heater*. Panas dari *heater* listrik mengalir secara konduksi dengan arah horizontal melalui dinding reaktor yang kemudian dialirkan ke biomassa berupa cangkang dan TKKS.

Persamaan regresi linear dan laju pemanasan pirolisis cangkang dan tandan kelapa sawit ditunjukkan oleh Tabel 4 dan 5 pada titik T1, T2 dan T3. Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa pirolisis

yang terjadi pada cangkang kelapa sawit secara umum lebih lambat dibandingkan pirolisis TKKS. Hal ini dapat terlihat dari laju pemanasan yang kurang dari 10°C/menit, sementara pada pirolisis TKKS, laju pemanasan yang terjadi diatas 10°C/menit. Perbedaan laju pemanasan yang terjadi bergantung pada karakteristik bahan dan suhu yang diaplikasikan pada bahan.

Laju pemanasan pada pirolisis dan suhu perlakuan dapat mempengaruhi hasil pirolisis. Laju pirolisis yang lebih cepat dan suhu perlakuan yang tinggi akan meningkatkan jumlah cairan dan gas pada hasil pirolisis, sementara laju pirolisis yang lebih lambat dan suhu perlakuan yang rendah akan

Tabel 6. Karakteristik arang hasil pirolisis cangkang kelapa sawit.

Suhu (°C)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Nilai Kalor (kJ/g)
300	4.32	6.07	25.64
400	3.20	7.45	27.96
500	3.66	4.81	29.60
600	1.63	33.86	29.19

meningkatkan jumlah arang.

Terdapat dua fase dalam laju pemanasan yaitu fase pengeringan bahan dan laju pirolisis itu sendiri. Laju pemanasan pada Tabel 4 dan 5 adalah laju pemanasan pada fase pirolisis. Dikarenakan posisi T3 paling dekat dengan sumber panas maka selama fase pengeringan, bahan yang berada di titik T3 mengalami peningkatan suhu lebih tinggi yang berdampak pada penguapan *volatile matter* lebih banyak dibandingkan bahan pada titik T1 dan T2 sehingga pada saat fase pirolisis, laju pemanasan titik T3 lebih rendah dibandingkan yang lain. Sementara pada pirolisis tandan kelapa sawit dengan suhu yang lebih tinggi, laju pemanasan cenderung lebih merata bahkan semakin rata pada suhu yang semakin tinggi. Hal ini dikarenakan karakteristik tandan yang lebih lunak ditandai dengan lebih rendahnya kadar lignin yang terkandung serta porositas yang lebih tinggi sehingga perambatan kalor dari heater semakin mudah.

Karakteristik Hasil Pirolisis Limbah Kelapa Sawit

Fraksi massa dari proses pirolisis cangkang dan TKKS pada kondisi pemanasan yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 3. Fraksi massa arang, cairan dan gas hasil pirolisis cangkang kelapa sawit secara berturut-turut adalah 34.99 - 63.78%, 22.76 - 43.28% dan 13.47 - 21.73%. Fraksi massa arang, cairan dan gas hasil pirolisis TKKS secara berturut-turut adalah 30.66 - 64.76%, 16.25 - 29.16% dan 18.98 - 44.49%.

Penggunaan bahan baku yang berbeda serta jenis pirolisis dapat mempengaruhi persentase

Tabel 7. Karakteristik arang hasil pirolisis tandan kelapa sawit.

Suhu (°C)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Nilai Kalor (kJ/g)
300	7.22	6.40	25.63
400	5.45	11.60	26.92
500	5.24	5.25	27.86
600	5.30	13.15	24.50

produksi arang, cairan dan gas pada proses pirolisis tersebut. Gambar 3 menunjukkan bahwa persentase produksi cairan pada pirolisis cangkang lebih banyak daripada persentase produksi cairan pada pirolisis TKKS namun kebalikannya pada persentase produksi gas. Pada persentase produksi arang, pirolisis cangkang menghasilkan arang yang lebih sedikit dibandingkan pirolisis tandan kosong pada suhu 300°C dan 400°C sedangkan pada suhu 500°C dan 600°C terjadi sebaliknya.

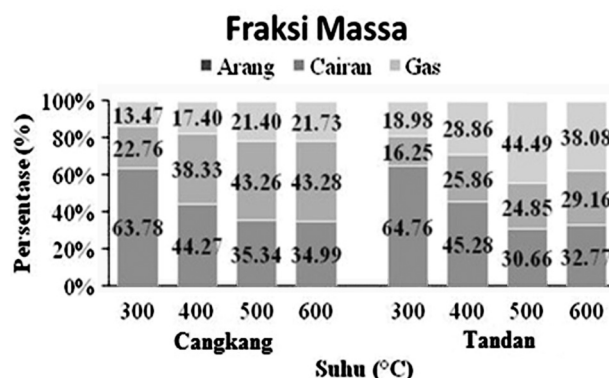
Laju pemanasan yang lebih lambat pada pirolisis cangkang kelapa sawit berdampak pada lebih tingginya persentase arang yang diperoleh dari hasil pirolisis dibandingkan dengan pirolisis TKKS, sementara itu persentase gas TKKS lebih besar dibandingkan persentase gas yang diperoleh pada pirolisis cangkang kelapa sawit.

Peningkatan suhu pirolisis menurunkan persentase produksi arang yang diakibatkan oleh devolatilisasi lanjutan dari volatile matter yang tersisa pada arang. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan Sukiran *et al.* (2009) dan Abnisa *et al.* (2011). Sebaliknya, peningkatan suhu pirolisis meningkatkan produksi cairan dan gas karena adanya penambahan devolatilisasi zat terbang dari arang.

Karakteristik Arang dan Gas-Gas Hasil Pirolisis

Tabel 6 dan 7 menunjukkan karakteristik arang hasil pirolisis cangkang dan TKKS pada kisaran suhu 300°C - 600°C. Peningkatan suhu pirolisis pada cangkang kelapa sawit berdampak pada meningkatnya nilai kalor arang. Hal ini juga berlangsung pada pirolisis tandan kelapa sawit kecuali pada suhu 600°C dimana nilai kalor arang lebih rendah dibandingkan dengan nilai kalor arang pada suhu perlakuan yang lain. Peningkatan nilai kalor arang yang beriringan dengan peningkatan suhu pirolisis dapat diakibatkan karena peningkatan suhu pirolisis meningkatkan penguapan volatile matter sehingga mengakibatkan penurunan kadar air dan menyisakan karbon pada arang sehingga berakibat pada peningkatan nilai kalor arang tersebut. Penurunan nilai kalor arang pada pirolisis TKKS suhu 600°C terjadi karena *volatile matter* yang terkandung mengalami devolatilisasi lanjutan dan lebih banyaknya lignin yang terdekomposisi.

Hasil perhitungan nilai kalor spesifik gas hasil pirolisis cangkang dan tandan kelapa sawit



Gambar 3. Grafik fraksi massa hasil pirolisis cangkang dan TKKS.

Tabel 8. Nilai kalor spesifik gas hasil pirolisis cangkang kelapa sawit.

Suhu (°C)	CO (g)	CH ₄ (g)	CO (kJ)	CH ₄ (kJ)	Total nilai kalor (kJ)	Nilai kalor Cangkang (kJ/g)	Nilai Kalor Gas (kJ/g gas)*
300	3.85	1.28	39.17	63.76	102.92	19.15	20.05
400	24.62	4.94	250.12	246.51	496.63		16.80
500	39.41	3.15	400.43	157.04	557.48		13.10
600	36.07	1.93	366.43	96.26	462.69		12.18

Tabel 9. Nilai kalor spesifik gas hasil pirolisis TKKS.

Suhu (°C)	CO (g)	CH ₄ (g)	CO (kJ)	CH ₄ (kJ)	Total nilai kalor (kJ)	Nilai kalor Cangkang (kJ/g)	Nilai Kalor Gas (kJ/g gas)*
300	2.17	0.37	22.07	18.44	40.50	18.71	15.94
400	3.59	0.25	36.49	12.59	49.08		12.77
500	8.14	0.87	82.68	43.53	126.21		14.01
600	17.98	0.87	182.69	43.15	225.84		11.98

ditunjukkan oleh Tabel 8 dan 9. Dari nilai kalor spesifik gas yang diperoleh, hanya pirolisis cangkang kelapa sawit pada suhu 300°C yang melebihi nilai kalor biomassa yang digunakan, sedangkan pada perlakuan lainnya tidak ada nilai kalor spesifik gas yang melebihi nilai kalor biomassa. Hal ini disebabkan karena gas H₂ yang tidak terukur sehingga nilai kalor spesifik gas yang dihitung bukan nilai kalor spesifik gas yang sebenarnya. Hasil penelitian Ginting (2014) menunjukkan bahwa peningkatan suhu pirolisis TKKS meningkatkan konsentrasi gas H₂ dengan rentang 0.5% - 21.46% sehingga diasumsikan bahwa nilai kalor spesifik gas akan lebih tinggi dibandingkan nilai kalor biomassa yang digunakan. Pelepasan gas H₂ sendiri disebabkan oleh terurainya komponen selulosa dan lignin yang terjadi pada suhu yang lebih tinggi. Selulosa terurai pada suhu 315°C – 400°C dan lignin pada suhu 150°C – 900°C (Basu, 2010). Peningkatan suhu pirolisis cangkang kelapa sawit mengakibatkan peningkatan konsentrasi gas CO pada rentang 2.86% - 18.42% sementara konsentrasi gas CH₄ meningkat pada suhu 400°C namun menurun kembali dengan rentang 0.89% - 2.84%. Peningkatan suhu pirolisis TKKS meningkatkan konsentrasi gas CO dan CH₄ pada rentang 3.81% - 15.74% dan 0.29% - 0.76%.

Simpulan

Pirolisis cangkang menghasilkan fraksi massa arang, cairan dan gas pada rentang 34.99 - 63.78%, 22.76 - 43.28% dan 13.47 - 21.73%. Pirolisis TKKS menghasilkan fraksi massa arang, cairan dan gas pada rentang 30.66 - 64.76%, 16.25 - 29.16% dan 18.98 - 44.49%. Peningkatan suhu pirolisis pada cangkang dan TKKS mengakibatkan peningkatan nilai kalor arang yang dihasilkan kecuali pada pirolisis TKKS pada suhu 600°C yaitu dengan kisaran antara 25.64 – 29.60 kJ/g untuk cangkang

kelapa sawit dan 24.50 – 27.86 kJ/g untuk TKKS. Sementara itu nilai kalor spesifik gas mengalami penurunan seiring peningkatan suhu pirolisis yang diakibatkan tidak terukurnya gas H₂ yang dihasilkan proses pirolisis cangkang dan TKKS dengan rentang 12.18 – 20.05 kJ/ g gas dan 11.98 – 15.94 kJ/ g gas untuk pirolisis cangkang dan TKKS secara berturut-turut. Berdasarkan nilai kalor spesifik hasil pirolisis untuk menghasilkan arang maka suhu pirolisis terbaik untuk cangkang dan TKKS adalah 500°C, sedangkan untuk menghasilkan gas suhu pirolisis terbaik untuk cangkang dan tandan kelapa sawit adalah 300°C.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan tinggi Republik Indonesia yang sudah mendukung penelitian ini dalam program penelitian Hibah Kompetensi : 074/ IT3.11/LT/2014 tanggal 2 Juni 2014.

Daftar Pustaka

- Abdullah, N. dan H. Gerhauser. 2008. Bio-oil derived from empty fruit bunches. *Fuel* Vol. 87:2606–2613.
- Abnisa, F., W.M.A.W. Daud, W.N.W. Husin dan J.N. Sahu. 2011. Utilization possibilities of palm shell as a source of biomass energy in Malaysia by producing bio-oil in pyrolysis process. *Biomass and Bioenergy* Vol. 35(5):1863–1872.
- Basu, P. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design*. Elsevier. Oxford
- Ginting, A.S. 2014. Rancang bangun dan analisis termodinamis kompor gasifikasi dengan bahan bakar tandan kosong kelapa sawit. (Tesis). Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB. Bogor.

- Idris, S.S., N.A. Rahman dan K. Ismail. 2012. Bioresource technology combustion characteristics of malaysian oil palm biomass, sub-bituminous coal and their respective blends via thermogravimetric analysis (TGA). Bioresource Technology Vol. 123:581–591.
- Klass, D.L. 1998. Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals. Elsevier. California.
- Law, K.N., W.R.W. Daud dan A. Ghazali. 2007. Morphological and chemical nature of fiber strands of oil palm empty-fruit-bunch (OPEFB). Bioresources Vol. 2(3):351-362.
- Lee, Y., J. Park, C. Ryu, K.S. Gang, W. Yang, Y. Park dan S. Hyun. 2013. Bioresource technology comparison of biochar properties from biomass residues produced by slow pyrolysis at 500°C. Bioresource Technology Vol. 148:196–201.
- Ma, A.N. dan B. Yousuf. 2005. Biomass energy from palm oil industry in malaysia. Ingenieur Vol. 27:18-25.
- Mohammed, M.A.A., A. Salmiaton, W.A.K.G.W. Azlina dan M.S.M. Amran. 2012. Bioresource technology gasification of oil palm empty fruit bunches : A characterization and kinetic study. Bioresource Technology Vol. 110:628–636.
- Omar, R., A. Idris, R. Yunus, K. Khalid dan M.I.A. Isma. 2011. Characterization of empty fruit bunch for microwave-assisted pyrolysis. Fuel Vol. 90(4):1536–1544.
- Razuan, R., Q. Chen, X. Zhang, V. Sharifib dan J. Swithenbank. 2010. Pyrolysis and combustion of oil palm stone and palm kernel cake in fixed-bed reactors. Bioresource Technology Vol. 101(12):4622–4629.
- Silva, L.S., D.S. Gonzales, P. Villasenor, J. Sanchez, L. Valverde. 2012. Thermogravimetric-mass spectrometric analysis of lignocellulosic and marine biomass pyrolysis. Bioresource Technology Vol. 109:163-172.
- Sukiran, M.A. 2008. Pyrolysis of empty oil palm fruit bunch using the quartz fluidized-fixed bed reactor. (Tesis). University of Malaya. Kuala Lumpur.
- Sukiran, M.A., C.M. Chin dan N.K.A. Bakar. 2009. Bio-oils from pyrolysis of oil palm empty fruit bunches. American Journal of Applied Sciences Vol. 6(6):869–875.
- Yang, H., R. Yan, H. Chen, D.H. Lee, D.T. Liang dan C. Zheng. 2006. Pyrolysis of palm oil wastes for enhanced production of hydrogen rich gases. Fuel Processing Technology Vol. 87:935–942.

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). JTEP terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi *online*. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energy alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makassar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), Dr.Ir. Lady Corrie Ch Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si. (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Simulasi Pengeringan Gabah pada Pengering *Spouted Bed* Dua Dimensi

Simulation of Paddy Drying on Two Dimensional Spouted Bed Dryer

Yusnita Oni Napitu, Departemen Teknik Mesin dan Bisosistem, Institut Pertanian Bogor .
Email: yusnita.napitu@gmail.com

Leopold Oscar Nelwan, Departemen Teknik Mesin dan Bisosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: lonelwan@yahoo.com

Dyah Wulandani, Departemen Teknik Mesin dan Bisosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: dwulandani@yahoo.com

Abstract

A mathematical model developed by Nellist et al. (1987) was adopted in this continuous two dimensional spouted bed dryer (2DSB) configuration. The objective of this research was to predict air temperature, grain temperature, absolute humidity and moisture content during the drying process in 2DSB. In simulation, spouted bed was divided into two regions which were spout and downcomer regions. Air and grains in spout and downcomer were assumed to be moving with co- and counterflow principles. During experiments, drying air temperature at 80°C and different paddy initial moisture contents (at 41% db, 36% db and 30% db) were used. Based on data, the air temperature profiles in spout region showed that air temperature dropped significantly with the axial positions while downcomer regions resulted fluctuated value. The average deviation of the air temperature in the spout was less than 4.5% and within downcomer was less than 4.2%. Grain temperature and absolute humidity in spout region increased slowly whilst decreasing in steps in downcomer regions with axial position. The moisture content decreased both in spouted and downcomer regions. Moisture reduction in spout region was higher than downcomer regions because of the high air flow rate in spout region.

Keywords: *Mathematical model, moisture content, paddy, two dimensional spouted bed dryer*

Abstrak

Penelitian ini menggunakan model matematika yang dikembangkan oleh Nellist *et al.* (1987) untuk pengering *spouted bed* dua dimensi tipe kontinyu. Tujuan dari penelitian ini adalah menduga sebaran suhu udara, suhu gabah, kelembaban mutlak udara dan kadar air selama proses pengeringan. Pada proses simulasi, ruang pengering dibagi menjadi dua daerah yaitu daerah *spout* dan daerah *downcomer*. Udara dan bahan di daerah *spout* dan *downcomer* diasumsikan bergerak dengan prinsip aliran *co-* dan *counterflow*. Suhu udara yang digunakan selama pengujian adalah suhu 80°C dengan kadar air awal bahan yang berbeda-beda yaitu 41% bk, 36% bk dan 30% bk. Dari data pengujian menunjukkan bahwa suhu udara di daerah *spout* akan menurun secara signifikan terhadap posisi aksial ruang pengering tetapi pada daerah *downcomer* suhu udara bernilai fluktuatif. Nilai rata-rata deviasi pada pendugaan suhu udara daerah *spout* bernilai kurang dari 4.5% dan pada daerah *downcomer* deviasi bernilai kurang dari 4.2%. Suhu gabah dan kelembaban mutlak udara pada daerah *spout* menunjukkan bahwa nilai akan naik secara bertahap sementara untuk daerah *downcomer* nilai menurun secara bertahap terhadap posisi aksial. Penurunan kadar air menunjukkan bahwa untuk daerah *spout* dan daerah *downcomer* mengalami penurunan nilai. Penurunan kadar air daerah *spout* lebih besar dibandingkan daerah *downcomer* karena pada daerah *spout* laju aliran udara lebih besar.

Kata Kunci: Kadar air, model matematika, gabah, pengering *spouted bed* dua dimensi

Diterima: 07 Maret 2015; Disetujui: 13 Mei 2016

Latar Belakang

Pengering *spouted bed* awalnya dikembangkan untuk pengeringan gandum dengan kondisi *well-stirred* pada tahun 1954, sebagai metode pengeringan alternatif tumpukan terfluidisasi yang mengalami kondisi *bubbling* dan *slugging* selama pengeringan (Gisler 1983). Mathur dan Epstein (1974) mempelajari pengeringan biji-bijian pada pengering *spouted bed* tipe *conical-cylindrical* dengan saluran *inlet* udara yang kecil. Saluran *inlet* udara yang kecil dapat meningkatkan distribusi bahan dan udara di dalam pengering yang berimbas tingginya pindah massa dan panas yang terjadi selama proses pengeringan. Namun, tipe ini memiliki kekurangan yaitu tingginya penurunan tekanan jika dibandingkan dengan pengering tipe *fluidized bed* dan keterbatasan kapasitas pengeringan. Untuk meningkatkan kapasitas pengeringan, Mujumdar (1984) mengembangkan pengering *spouted bed* dua dimensi dan penambahan unit *draft plates* di bagian tengah ruang pengering sebagai solusi penurunan tekanan yang terlalu tinggi (Viswanathan et al. 1986).

Pengering *spouted bed* merupakan pengering dengan suhu tinggi. Keuntungan pengeringan ini adalah kapasitas pengeringan yang lebih besar karena rasio laju udara dengan massa dari produk dan besarnya laju kontak suhu dengan bahan dibandingkan pengeringan suhu rendah. Selain itu, pengering dengan *spouted bed* biasanya digunakan

sebagai pengering *two stage* yaitu pengering yang sebaiknya digunakan pada kadar air awal bahan 18 – 31% bb (basis basah) (Wiset et al. 2001). Pengering *two stage* memiliki keuntungan yaitu mengurangi kebutuhan energi karena peningkatan efisiensi udara dibandingkan dengan pengeringan kontinyu konvensional, kapasitas pengeringan semakin tinggi dan mutu produk pengeringan juga semakin tinggi (Wiset et al. 2001). Kondisi pada pengering *spouted bed* diasumsikan berupa kombinasi dari dua bentuk hidrodinamika yaitu transfer pneumatik pada daerah *spout* dan perpindahan bahan pada daerah *downcomer* (Madhiyanon et al. 2007).

Gabah baru panen umumnya memiliki kadar air berkisar 21 – 26% bb sehingga proses pengeringan dibutuhkan untuk menjaga kualitas gabah. Gabah yang berkualitas baik dapat dihasilkan jika alat pengering dikontrol untuk menjaga kadar air keluaran dalam batas yang dapat diterima. Simulasi dapat digunakan untuk menduga kondisi udara dan bahan di dalam ruang pengering selama proses pengeringan. Kualitas gabah dapat diketahui setelah dilakukan penggilingan dan dianalisis lebih lanjut yang dilaporkan dalam *paper* terpisah.

Tujuan penelitian ini adalah mengadopsi model pengeringan yang telah dikembangkan oleh Nellist et al. (1987) untuk menduga sebaran suhu udara, suhu bahan, kelembaban *absolute* udara dan kadar air bahan selama proses pengeringan. Menurut Nellist et al. (1987), model ini dapat digunakan untuk pengering tipe *co-* dan *counter flow* yang prinsip pengeringan sama dengan pengering *spouted bed*.

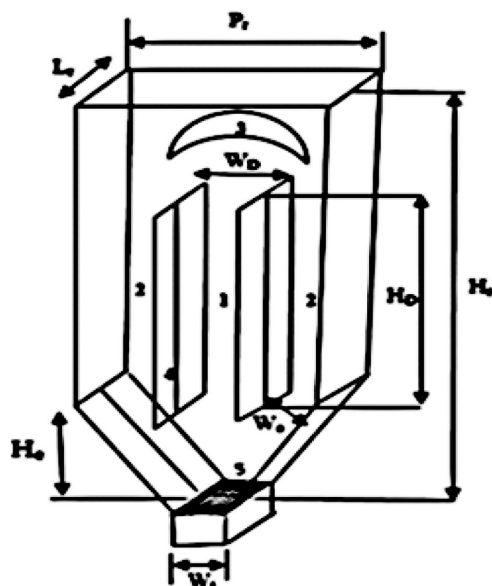
Bahan dan Metode

Bahan dan Alat

Bahan uji yang digunakan pada penelitian ini adalah gabah dengan kadar air awal 41%, 3 % dan 30% bk (basis kering). Instrumentasi pengujian alat adalah termokopel tipe T, sensor suhu LM35DZ, termometer bola basah dan bola kering untuk suhu lingkungan. Untuk pencatatan suhu digunakan *hybrid recorder* tipe dot dengan ketelitian alat $\pm 0.05^\circ\text{C}$ dan *data logger*. Anemometer tipe Kanomax model 3011 dengan ketelitian ± 0.05 m/s digunakan untuk pengukuran kecepatan udara. Kadar air diukur dengan metode gravimetri (oven).

Spesifikasi Alat Pengering

Skema dan dimensi ruang pengering pada penelitian ini disajikan pada Gambar 1. Ruang pengering yang digunakan pada penelitian ini adalah *spouted bed* dua dimensi yang dilengkapi dengan *draft plates*. *Draft plates* (4) diharapkan dapat meningkatkan stabilitas udara yang disebarkan dan sirkulasi bahan di dalam ruang pengering. Di bagian dasar ruang pengering juga ditambahkan plat distributor (5) agar bahan tidak jatuh dan masuk ke daerah plenum. Ruang



Keterangan :

1. Daerah *spout*
2. Daerah *downcomer*
3. Reflektor
4. *Draft plates* (dp)
5. Plat distributor

Dimensi :

- Hr = Tinggi ruang pengering : 0.5 m
- Lr = Lebar ruang pengering : 0.15 m
- Pr = Panjang ruang pengering : 0.2 m
- Hd = Tinggi draft plates : 0.2 m
- He = Jarak antara dp dan plat : 0.05 m
- Wi = Saluran inlet udara : 0.02 m
- Wd = Jarak draft plates : 0.03 m
- Wo = Jarak normal : 0.01 m

Gambar 1. Skema ruang pengering.

pengering dibagi menjadi dua daerah yaitu daerah *spout* (1) dan daerah *downcomer* (2). Daerah *spout* merupakan daerah yang berada diantara *draft plates* sedangkan daerah *downcomer* merupakan daerah di samping *draft plates*. Ruang pengering juga dilengkapi dengan reflektor (3) yang berfungsi mengembalikan bahan agar kembali ke daerah *downcomer*.

Percobaan

Percobaan dilakukan untuk melihat kinerja pengering dengan kadar air awal gabah yang berbeda. Bahan diletakkan di dalam hoper di atas ruang pengering dan dialirkan ke dalam ruang pengering dengan *screw feeder*. Skema alat pengering disajikan pada Gambar 2.

Massa *hold-up* gabah pada kondisi awal adalah 0.1 kg untuk setiap percobaan. Pengukuran kadar air gabah, suhu udara, suhu gabah dan kelembaban udara diukur setiap 10 menit. Titik pengukuran untuk validasi model berada pada ketinggian 8 cm, 12 cm, 18 cm dan 30 cm dari saluran *inlet* udara untuk daerah *spout* maupun *downcomer*. Kelembaban *outlet* ruang pengering diukur dengan termometer bola basah dan bola kering pada ketinggian 40 cm dari saluran *inlet* udara. Kelembaban udara masuk ruang pengering diukur di daerah plenum dengan termometer bola basah dan bola kering. Suhu *inlet* udara diatur pada suhu 80°C.

Model Pengeringan Spouted Bed Dua Dimensi

Model yang dikembangkan oleh Nellist *et al.* (1987) untuk pengeringan biji-bijian merupakan persamaan perpindahan panas dan massa. Tahap awal untuk mengembangkan persamaan adalah dengan menurunkan persamaan untuk mendeskripsikan perpindahan panas dan massa pada lapisan tipis pada waktu yang relatif kecil. Tumpukan bahan dibagi menjadi lapisan yang tipis dengan ketebalan (dz) dengan nilai kadar air tertentu (M) bergerak pada sumbu z dengan laju aliran udara (G) dan suhu udara (T_a) dan kelembaban mutlak (H) (Gambar 3). Dengan asumsi bahwa kehilangan panas hanya terjadi pada aliran udara, maka persamaan diferensial perubahan suhu udara selama waktu tertentu (t) dapat ditulis dengan persamaan :

$$\Delta T_a = \left(\frac{\partial T_a}{\partial t} \right) dt + \left(\frac{\partial T_a}{\partial z} \right) dz \quad (1)$$

Namun, dalam waktu yang relatif singkat maka perubahan suhu udara dan kelembaban mutlak udara akan lebih berpengaruh terhadap ketebalan tumpukan, sehingga dapat ditulis dengan notasi masing-masing $\left(\frac{\partial T_a}{\partial z} \right) dz$ dan $\left(\frac{\partial H}{\partial z} \right) dz$.

Sedangkan perubahan suhu gabah dan kadar air bahan akan berpengaruh lebih besar jika dihubungkan terhadap waktu, sehingga dapat ditulis dengan notasi masing-masing $\left(\frac{\partial T_g}{\partial t} \right) dt$ dan $\left(\frac{\partial M}{\partial t} \right) dt$. Hubungan antara suhu udara, suhu gabah,

kelembaban udara dan kadar air akan dinyatakan dalam empat persamaan.

1. Kesetimbangan kadar air (Nellist *et al.* 1987)
Perubahan massa air pada bahan sama dengan perubahan massa air di udara sehingga persamaan dapat ditulis :

$$\rho dz \left(-\frac{\partial M}{\partial t} \right) dt = G dt \left(\frac{\partial H}{\partial z} \right) dz \quad (2)$$

$$\rho \frac{dz}{G} \left(-\frac{\partial M}{\partial t} \right) = - \left(\frac{\partial H}{\partial z} \right) dz \quad (3)$$

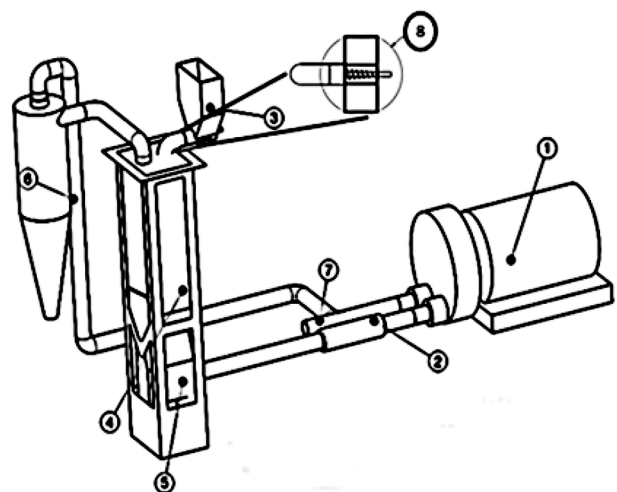
Persamaan (3) dapat ditulis dalam notasi numerik menjadi :

$$\rho \frac{dz}{G} \left(-\frac{\partial M}{\partial t} \right) = - \left(\frac{\partial H}{\partial z} \right) dz \quad (4)$$

Dalam hal ini ρ adalah *bulk density* bahan (kg/m^3), H adalah kelembaban mutlak udara (desimal), z adalah ketebalan (m), G adalah laju aliran per luas ($\text{kg/m}^2\text{s}$), M adalah kadar air (desimal bk) dan t adalah waktu (s).

2. Persamaan pindah panas (Nellist *et al.* 1987)
Pindah panas merupakan penjumlahan dari perubahan panas bahan dan entalpi penguapan kelembaban dikurangi dengan entalpi kelembaban sebelum penguapan. Secara matematis dapat ditulis dengan persamaan :

$$hS \Delta z \left[\left(T_a + \frac{1}{2} \Delta T_a - \left(T_g + \frac{1}{2} \Delta T_g \right) \right) \right] \Delta t = \rho \Delta z \cdot \Delta T_g (C_{pg} + C_{pl} M) + \rho \Delta z (-\Delta M) (L_g + C_{pw} T_a - C_{pl} T_g) \quad (5)$$



Keterangan :

- | | |
|--------------------|--|
| 1. Blower | 6. Siklon |
| 2. Heater | 7. Saluran pencampur udara lingkungan dengan udara dari siklon |
| 3. Hoper | 8. <i>Screw feeder</i> |
| 4. Ruang pengering | |
| 5. Plenum | |

Gambar 2. Skema sistem pengering.

$$2(T_a - T_g) + \Delta T_a - \Delta T_g = \rho \frac{2}{hS} \frac{\Delta T_g}{\Delta t} (C_{pg} + C_{pl}M) - \quad (6)$$

$$\rho \frac{2}{hS} \frac{\Delta M}{\Delta t} (L_g + C_{pw}T_a - C_{pl}T_g)$$

Persamaan (6) dapat disederhanakan menjadi :

$$A = 2(T_a - T_g); B = (C_{pg} + C_{pl}M); Y = (L_g + C_{pw}T_a - C_{pl}T_g)$$

Sehingga persamaan (5) dapat ditulis menjadi :

$$\Delta T_a = -A + \Delta T_g \left(1 + \rho \frac{2}{hS} \frac{B}{\Delta t} \right) - \rho \frac{2}{hS} \frac{\Delta M}{\Delta t} Y \quad (7)$$

Dalam hal ini, hS adalah koefisien volumetrik pindah panas ($\text{kJ/m}^3\text{sK}$), T_a adalah suhu udara ($^{\circ}\text{C}$), T_g adalah suhu bahan ($^{\circ}\text{C}$), t adalah waktu (s), C_{pg} adalah panas spesifik bahan (kJ/kgK), C_{pl} adalah panas spesifik air cair (kJ/kgK), C_{pw} adalah panas spesifik uap air (kJ/kgK), L_g adalah panas laten penguapan air di dalam bahan (kJ/kg).

3. Persamaan kesetimbangan panas (Nellist et al. 1987)

Persamaan kesetimbangan panas diturunkan untuk memperoleh suhu gabah selama proses pengeringan. Persamaan dapat ditulis menjadi :

$$E = C_{pa} + C_{pw} \left[H - \rho \frac{\Delta z}{G} \frac{\Delta M}{\Delta t} \right] \quad (8)$$

$$F = (C_{pw}T_a + L_a - C_{pl}T_g) \quad (9)$$

$$\Delta T_g = \frac{A + \rho \frac{\Delta M}{\Delta t} \left[\frac{2Y}{hS} + \frac{\Delta z F}{GE} \right]}{\left\{ 1 + \frac{\rho}{\Delta t} \left[\frac{2B}{hS} + \frac{\Delta z}{GE} (B + C_{pl}\Delta M) \right] \right\}} \quad (10)$$

Dalam hal ini, ρ adalah *bulk density* bahan (kg/m^3), M adalah kadar air bahan (desimal bk), t adalah waktu (s), C_{pa} adalah panas spesifik udara (kJ/kgK), C_{pw} adalah panas spesifik uap air (kJ/kgK), H adalah kelembaban mutlak udara (desimal), z adalah ketebalan tumpukan (m), T_a adalah suhu udara ($^{\circ}\text{C}$), T_g adalah suhu gabah ($^{\circ}\text{C}$), L_a adalah panas laten penguapan air (kJ/

kg) dan G adalah laju aliran per satuan luas ($\text{kg/m}^2\text{s}$).

4. Laju pengeringan (Nellist et al. 1987)

Persamaan diferensial kadar air yang hilang ΔM sebagai fungsi dari tiga faktor yaitu T_a , T_g dan H . Persamaan laju penurunan kadar air dapat dituliskan sebagai :

$$\Delta M = \frac{-k(M - M_e)\Delta t}{(1 + \frac{1}{2}k\Delta t)} \quad (11)$$

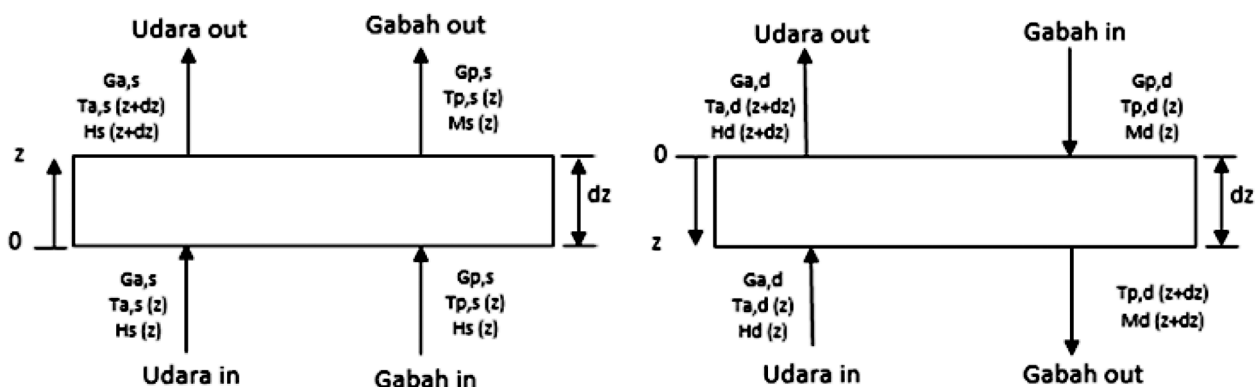
Dalam hal ini, k adalah konstanta pengeringan ($1/\text{s}$), M adalah kadar air gabah (desimal bk), M_e adalah kadar air kesetimbangan (desimal bk) dan t adalah waktu (s).

Pengering *spouted bed* diasumsikan bergerak dengan dua tipe aliran yaitu *co-flow* untuk daerah *spout* (Gambar 3a) dan *counter-flow* untuk daerah *downcomer* (Gambar 3b) (Madhiyanon et al. 2007). Untuk simulasi kondisi pengeringan di daerah *spout*, posisi *inlet* gabah dan *inlet* udara berada pada posisi yang sama sehingga persamaan (4), (7), (10) dan (11) dapat langsung digunakan.

Untuk simulasi daerah *downcomer*, kondisi awal diasumsikan dengan posisi udara masuk dan gabah masuk berada pada posisi yang sama sehingga kondisi pengeringan dari lapisan 0 (udara masuk) sampai lapisan n diketahui (bahan masuk). Kondisi pada lapisan n (pada bagian udara keluar) ditulis kembali sebagai lapisan $(n-1)$. Proses ini dilakukan diulangi kembali sampai ke daerah udara masuk sehingga diperoleh kondisi pada daerah *downcomer*. Tabel 1 menyajikan konstanta dan persamaan yang digunakan pada simulasi dan Tabel 2 menyajikan kondisi yang digunakan selama proses simulasi.

Pendugaan Kadar Air Pengering Tipe Kontinyu

Pendugaan kadar air pengering tipe kontinyu dapat menggunakan model yang telah dikembangkan oleh Zahed dan Epstein (1992). Kesetimbangan massa yang terjadi pada tumpukan untuk pengumpanan secara kontinyu dengan kadar air awal yang sama (M_o), laju aliran massa bahan



Gambar 3. Skema aliran bahan dan udara di dalam ruang pengering pada satu lapisan.

Tabel 1. Persamaan dan parameter yang digunakan pada simulasi.

Variabel	Nilai	Satuan	Sumber
C_{pa}	1,005	J/kgK	O'Collaghan <i>et al.</i> (1971)
C_{pv}	1,883	J/kgK	O'Collaghan <i>et al.</i> (1971)
C_{pg}	1,300	J/kgK	O'Collaghan <i>et al.</i> (1971)
C_{pl}	4,187	J/kgK	O'Collaghan <i>et al.</i> (1971)
ρ	552 + 282 M	kg/m ³	Laithong (1987)
k	139.3 exp (-4426/(Ta+273.2))	1/s	O'Collaghan <i>et al.</i> (1971)
L_t	2,500,000	J/kg	O'Collaghan <i>et al.</i> (1971)
L_g	Lt (1+23 exp (-40))	J/kg	Gallaghan (1951)
Me	$[\ln(1-RH)/(c_1 T_{abs})^{1/c_2}]/10$ $c_1 = -3,146 \times 10^{-6}$; $c_2 = 2,464$	kg/kg	Laithong (1987)
h	$7.144 \times 10^4 (G_a(T_a+273.2)/P)^{0.601}$	W/m ³ K	Boyce (1965)

Tabel 2. Kondisi yang digunakan saat simulasi.

Variabel	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
G_{gs} (kg/sm ²)	0.0758	0.0758	0.0758
G_{as} (kg/sm ²)	5.99	5.99	5.99
G_{gd} (kg/sm ²)	0.0744	0.0744	0.0744
G_{ad} (kg/sm ²)	2	2	2
M_o (%bk)	41	36	30
T_a (°C)	80	80	80
T_{go} (°C)	26	29	32
$\dot{m}_{in}$ (kg/jam)	3	3	3
H (kg/kg)	0.022	0.022	0.022

kering $\dot{m}_B$ dan komposisi kadar air produk $\bar{M}$ dapat ditulis dengan persamaan :

$$\dot{m}_A(Y - Y_i) = \dot{m}_B(M_o - \bar{M}) \quad (12)$$

Dalam hal ini $\dot{m}_A$ adalah laju aliran massa udara kering (g/menit), Y adalah kelembaban udara *outlet* (g uap air/g udara kering), Y_i adalah kelembaban udara *inlet* (g uap air/g udara kering) dan M_o adalah kadar air gabah yang diumpankan (g/g).

Jika aliran bahan di dalam ruang pengering diasumsikan berpindah dengan prinsip *plug flow*, maka nilai kadar air rata-rata bahan ($\bar{M}$) pada proses *batch* selama waktu tinggal ($\bar{t} = m_B/\dot{m}_B$) akan bernilai sama dengan kadar air rata-rata bahan ($\bar{M}$) pada proses kontinyu. Namun, jika bahan tidak diasumsikan bergerak mengikuti prinsip pengeringan *plug flow* maka nilai komposisi akhir produk dapat dihitung dengan persamaan :

$$\bar{M} = \int_0^\infty \bar{M}(\theta) E(\theta) d\theta \quad (13)$$

Dimana : $\theta = t/\bar{t}$. Dalam hal ini t adalah waktu (menit) dan $\bar{t}$ adalah waktu tinggal rata-rata bahan yaitu $m_B/\dot{m}_B$, m_B adalah massa *hold-up* bahan kering (g), $\dot{m}$ adalah laju aliran massa bahan (g/menit), $\bar{M}$ adalah volume rata-rata kadar air masing-masing

gabah (g/g), $E(\theta)$ adalah fungsi distribusi bahan keluar dan $\bar{M}$ adalah volume rata-rata kadar air (g/g).

Fungsi distribusi keluaran bahan ($E(\theta)$) memiliki relasi terhadap distribusi waktu selama proses pengeringan ($I(\theta)$) yang dapat ditulis dengan persamaan :

$$E(\theta) = - dI(\theta) / d\theta \quad (14)$$

Jika diasumsikan bahwa pencampuran bahan di dalam *spouted bed* terjadi secara sempurna, maka persamaan (14) dapat ditulis menjadi :

$$E(\theta) = I(\theta) = \exp(-\theta) \quad (15)$$

Jika diasumsikan pencampuran bahan terjadi secara baik namun tidak sempurna di dalam *spouted bed*, maka distribusi waktu selama proses pengeringan ($I(\theta)$) dapat ditulis menjadi :

$$I(\theta) = \exp [- (\theta - 0.1)/0.92] \quad (18)$$

Sehingga persamaan (14) dapat ditulis menjadi :

$$E(\theta) = (1/0.92) \exp [- (\theta - 0.1)/0.92] \quad (17)$$

Persamaan (15) atau (17) dapat digunakan sebagai nilai $E(\theta)$ dalam persamaan (13) dimana sisi sebelah kanan persamaan dapat diintegrasikan secara numerik. Ketika persamaan (17) digunakan, maka konstanta waktu penundaan 0.1 akan dieliminasi untuk nilai θ yang lebih kecil dari 0.1 sehingga persamaan (11) dapat dituliskan dengan persamaan :

$$\bar{M} = (1/0.92) \left\{ \int_0^{0.1} \bar{M}(\theta) \exp(-\theta/0.92) d\theta + \int_{0.1}^\infty \bar{M}(\theta) \exp[-(\theta - 0.10)/0.92] d\theta \right\} \quad (18)$$

Hasil dan Pembahasan

Hasil Simulasi Sebaran Suhu Udara Daerah Spout dan Downcomer

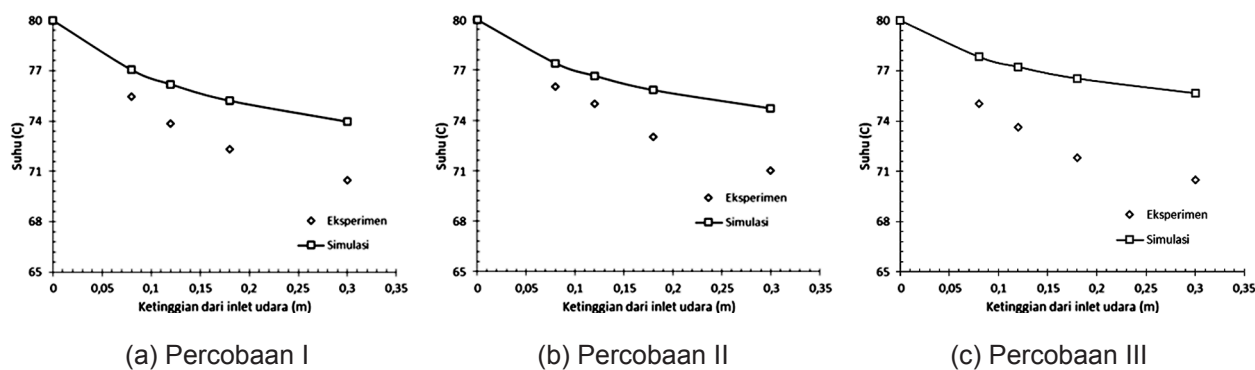
Gambar 4 (a), (b) dan (c) menyajikan data sebaran suhu udara rata-rata eksperimen dan simulasi pada daerah *spout* selama proses pengeringan. Penurunan suhu udara dari ketinggian 0.08 m ke 0.3 m mempresentasikan jumlah panas yang dikonsumsi untuk mengurangi kadar air bahan selama proses pengeringan. Dari grafik dapat dilihat bahwa suhu udara menurun terhadap ketinggian ruang pengering. Penurunan suhu yang paling besar terjadi pada ketinggian 0 m – 0.08 m dari bawah yaitu daerah sirkulasi bahan dari *downcomer* ke daerah *spout*. Menurut Freitas dan Freire (1997), laju sirkulasi pada bagian ini dapat bernilai 10 kali lebih cepat dibandingkan laju bahan yang masuk ruang pengering. Laju sirkulasi yang cepat akan meningkatkan laju udara sehingga laju penguapan kadar air bahan akan meningkat sehingga penurunan suhu pada daerah tersebut akan lebih besar dibandingkan wilayah yang lain. Penurunan suhu pada ketinggian selanjutnya tidak terlalu signifikan karena perbedaan suhu gabah dengan udara pengering tidak terlalu tinggi sehingga mengurangi laju pindah panas konvektif.

Dari grafik dapat dilihat bahwa data hasil simulasi belum mempresentasikan data eksperimen dengan baik. Hal ini terjadi karena pada simulasi, kadar air yang digunakan merupakan kadar air awal gabah

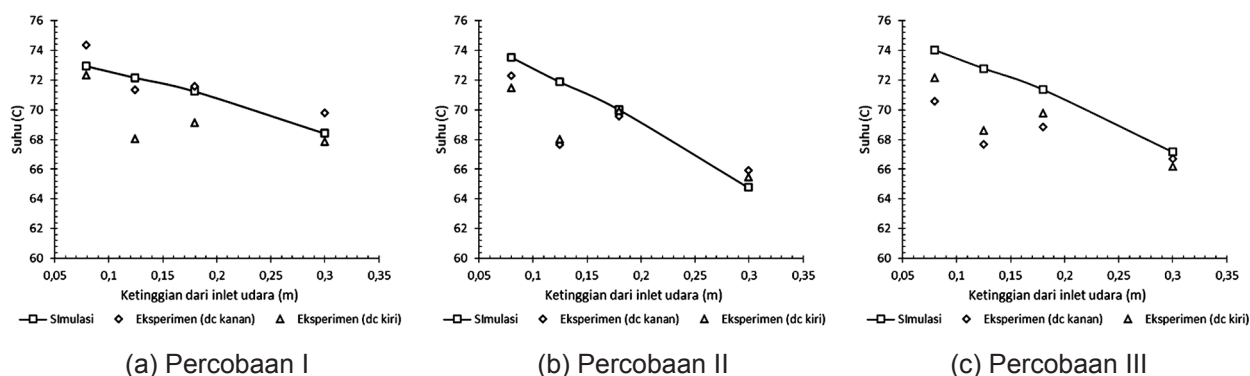
yang masuk ke dalam ruang pengering yang seharusnya kadar air yang digunakan merupakan kadar air yang keluar dari daerah *downcomer* yang belum dimodelkan secara matematika. Persentase *error* pada daerah *spout* pada masing-masing percobaan adalah 2.84% untuk percobaan pertama, 2.62% untuk percobaan kedua dan 4.45% untuk percobaan ketiga.

Pada Gambar 5 (a), (b) dan (c) disajikan suhu udara rata-rata simulasi dan eksperimen pada daerah *downcomer*. Sebaran suhu udara di daerah *downcomer* bernilai fluktuatif. Suhu udara pada ketinggian 0 – 0.08 m memiliki suhu yang paling tinggi karena posisi ini masih dekat dengan *inlet* udara. Selanjutnya pada ketinggian 0.08 – 0.12 m suhu udara mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh penumpukan bahan ketika proses pengujian. Penumpukan gabah mengakibatkan udara akan terperangkap di dalam tumpukan gabah sehingga proses pindah panas antara bahan dan udara terjadi lebih cepat dan suhu udara akan menurun dari ketinggian 0 – 0.08 m.

Setelah posisi 0.08 – 0.12 m, suhu udara akan naik kembali. Hal ini dapat disebabkan oleh dua faktor yaitu pada ketinggian 0.12 – 0.18 m tidak terdapat tumpukan gabah dan juga suhu udara dari daerah *spout* akan tersebar dan memasuki daerah *downcomer*. Suhu udara akan menurun kembali pada posisi 0.18 – 0.3 m karena pada daerah ini udara telah mengandung uap air yang diperoleh dari pengeringan gabah.



Gambar 4. Validasi suhu udara pengering daerah *spout*.



Gambar 5. Validasi suhu udara pengering daerah *downcomer*.

Tabel 3. Persentasi error suhu udara data hasil simulasi dan eksperimen.

Percobaan	Rataan persentasi <i>error</i> suhu udara (%)		
	<i>Spout</i>	<i>Downcomer</i> kanan	<i>Downcomer</i> kiri
I	2.84	1.39	2.71
II	2.62	2.59	2.44
III	4.45	4.18	3.12

Tabel 4. Data kadar air keluar dari ruang pengering simulasi dan eksperimen

Percobaan	Simulasi (% bk)	Eksperimen (% bk)
I	28.7	23.0
II	25.2	24.8
III	21.5	21.3

Data hasil simulasi juga belum mempresentasikan dengan baik data yang sama dengan data eksperimen. Hal ini terjadi karena pada model belum diperhitungkan pindah panas pada dinding *draft plates*. Persentasi *error* data hasil simulasi dan eksperimen suhu udara disajikan pada Tabel 3.

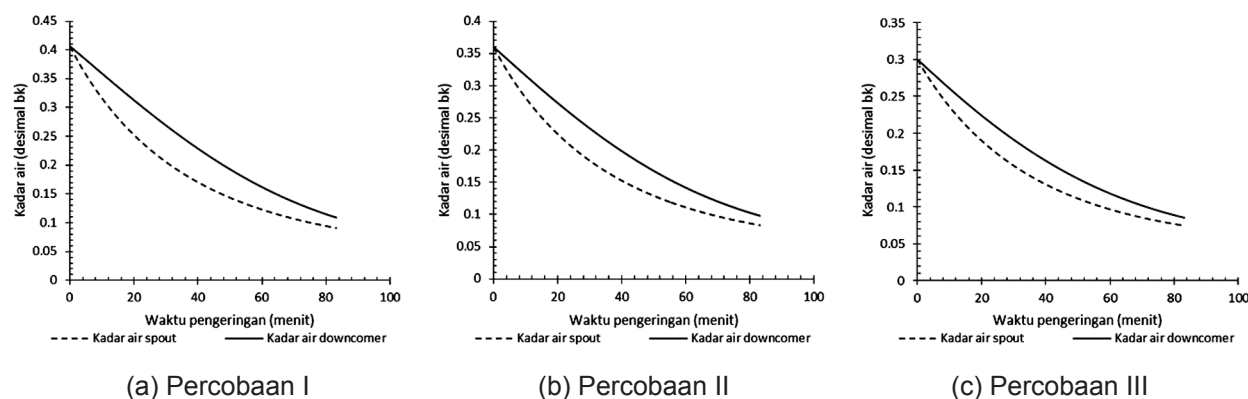
Hasil Simulasi Penurunan Kadar Air Gabah

Gambar 6 menyajikan hasil simulasi kadar air selama proses pengeringan. Dari grafik dapat

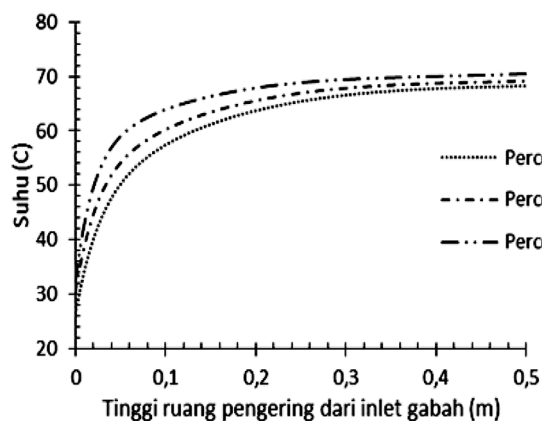
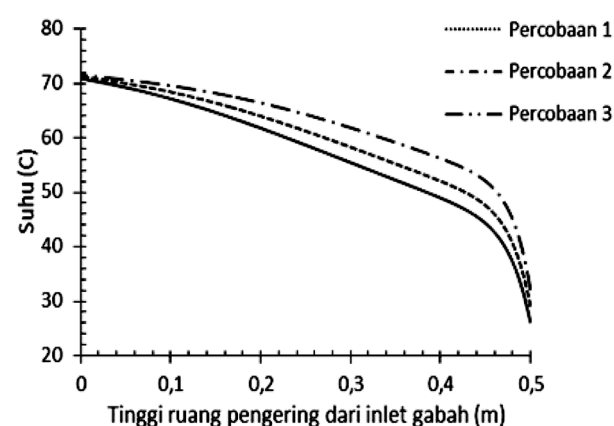
dilihat bahwa penurunan kadar air untuk daerah *spout* lebih cepat dibanding daerah *downcomer*. Hal ini terjadi karena laju aliran massa udara daerah *downcomer* lebih rendah dibandingkan di daerah *spout* sehingga energi yang tersedia untuk proses pengeringan bahan lebih kecil dibandingkan pada daerah *spout*. Sedangkan penurunan kadar air di daerah *downcomer* diakibatkan oleh panas yang terakumulasi di dalam gabah yang dijadikan sebagai sumber panas internal untuk menguapkan air pada permukaan gabah, kemudian air permukaan akan diangkut oleh udara pengering yang berada di wilayah *downcomer* sehingga gabah akan lebih dingin ketika bersirkulasi pada daerah *downcomer*. Validasi kadar air tidak dilakukan karena model yang digunakan dalam simulasi menggunakan hubungan antara kadar air terhadap waktu yang biasa digunakan untuk pengeringan *batch*. Pada pengering tipe kontinyu, model pendugaan kadar air hanya diuji pada satu waktu saja karena kadar air yang keluar dari ruang pengering umumnya bernilai sama. Model yang digunakan adalah model Zahed dan Epstein (1992) dan akan dibahas pada sub-bab selanjutnya.

Hasil Simulasi Sebaran Suhu Gabah

Pada penelitian ini, suhu gabah tidak diukur selama proses pengeringan. Namun, suhu gabah dapat diprediksi dengan simulasi secara numerik



Gambar 6. Simulasi kadar air selama proses pengeringan.

Gambar 7. Suhu gabah daerah *spout*.Gambar 8. Suhu gabah daerah *downcomer*.

dengan persamaan yang dikembangkan oleh Nellist *et al.* (1987). Suhu gabah pada daerah *spout* disajikan pada Gambar 7. Dari grafik dapat dilihat bahwa suhu gabah akan naik secara perlahan dan kemudian suhu konstan. Kenaikan suhu gabah disebabkan oleh besarnya nilai pindah panas akibat perbedaan suhu yang besar antara udara dan gabah. Suhu gabah keluaran dari daerah *spout*, dijadikan kondisi *inlet* bagi daerah *downcomer*.

Suhu gabah daerah *downcomer* disajikan pada Gambar 8. Dari grafik dapat dilihat bahwa suhu gabah mengalami penurunan ketika menjauhi saluran *inlet* ruang pengering. Hal ini sejalan dengan penurunan suhu udara yang semakin menurun terhadap ketinggian aksial ruang pengering. Pada posisi 0.4 – 0.5 m merupakan posisi dimana gabah masuk sehingga pada posisi tersebut suhu gabah masih rendah. Namun pada posisi selanjutnya yaitu dari posisi 0 – 0.4 m suhu gabah dan suhu udara secara perlahan akan mengalami kondisi kesetimbangan dan selanjutnya akan bernilai konstan seperti pola pada daerah *spout*.

Hasil Simulasi Sebaran Kelembaban Mutlak Udara

Pada penelitian ini, kelembaban mutlak udara tidak diukur selama proses pengeringan. Namun, kelembaban mutlak dapat diprediksi dengan simulasi secara numerik dengan persamaan yang dikembangkan oleh Nellist *et al.* (1987). Pada Gambar 9 disajikan perubahan kelembaban mutlak udara pada setiap pengujian di daerah *spout*. Kelembaban mutlak dipengaruhi oleh perubahan suhu udara atau perubahan tekanan selama proses pengeringan. Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai kelembaban mutlak akan semakin tinggi terhadap ketinggian aksial ruang pengering dimana *inlet* udara sebagai titik awal. Hal ini disebabkan oleh suhu udara yang semakin rendah dan kandungan jumlah air di dalam udara semakin tinggi karena laju pengeringan bahan yang terjadi selama proses

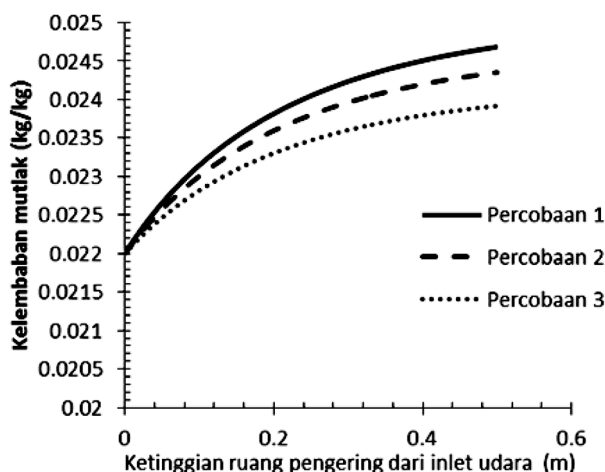
pengeringan. Pada Gambar 10 disajikan perubahan kelembaban mutlak udara pada setiap percobaan di daerah *downcomer*. Kelembaban mutlak udara pada daerah *downcomer* akan menurun terhadap *inlet* udara. Hal ini disebabkan semakin mendekati *inlet* udara, maka kelembaban udara akan semakin rendah.

Pendugaan Kadar Air Gabah pada Pengering Tipe Kontinyu

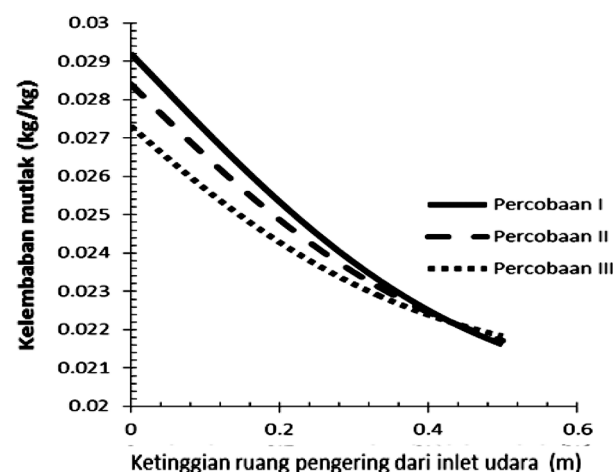
Data hasil pendugaan kadar air yang keluar dari pengering *spouted bed* tipe kontinyu disajikan pada Tabel 4. Nilai hasil simulasi percobaan pertama tidak mendekati nilai yang sebenarnya namun pada percobaan kedua dan ketiga nilai pendugaan kadar air hampir senilai dengan eksperimen. Nilai pendugaan pada percobaan pertama tidak sama dengan nilai aktual dapat disebabkan oleh penentuan parameter waktu tinggal gabah selama proses pengeringan. Pada penelitian ini, penentuan waktu tinggal bahan di dalam ruang pengering dengan membagi laju pengumpanan dengan massa bahan awal di dalam ruang pengering. Sementara penentuan waktu tinggal bahan dapat menggunakan beberapa persamaan seperti persamaan Levenspiel.

Simpulan

Model matematika yang dikembangkan oleh Nellist *et al.* (1987) telah digunakan untuk memprediksi sebaran suhu udara, suhu gabah dan kadar air selama proses pengeringan. Dari nilai persentasi *error* suhu udara, nilai *error* yang paling besar terjadi di daerah *spout* pada perlakuan ketiga yaitu sebesar 4.45% dan nilai persentasi *error* yang kecil berada pada wilayah *downcomer* kanan yaitu sebesar 1.39%. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu aliran bahan di dalam *spouted bed* dua dimensi tidak bersirkulasi sama



Gambar 9. Kelembaban mutlak udara daerah *spout*.



Gambar 10. Kelembaban mutlak udara daerah *downcomer*.

dengan tipe pengering *co-* ataupun *counter flow* pada umumnya dan parameter yang digunakan belum mempresentasikan kondisi sebenarnya dalam proses pengeringan.

Saran

Pada penelitian selanjutnya perlu dikembangkan model matematika yang menduga kadar air yang keluar dari daerah *downcomer* dan masuk ke daerah *spout* sehingga model yang dihasilkan lebih valid.

Daftar Pustaka

- Boyce, D.S. 1965. Grain moisture and temperature changes with position and time during through drying. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 10:333-341.
- Freitas, L.A.P., J.T. Freire. 1997. Experimental study on the dynamics of a draft tube spouted bed with continuous solids feeding. *Brazilian Journal Chemical Engineering*. 4(3):269-280.
- Gallaghan, G.L. 1951. A method of determining the latent heat of agricultural crops. *Journal Agricultural Engineering*. 32(1):34-38.
- Gisler, P.E. 1983. The spouted bed technique – discovery and early study at NRC. *Canadian Journal Chemical Engineering*. 267-268.
- Laithong, C. 1987. Study of thermo-physical properties of rough rice. M. Sc. Thesis. King Mongkut's Institute of Technology Thonburi. Thailand.
- Madhiyanon, T., S. Somchart, T. Warunee. 2007. A Mathematical model for continuous drying of grains in a spouted bed dryer. *Drying Technology: An International Journal*. 587-614.
- Nellist, M.E., R.D. Whitfield, J.A. Marchant. 1987. Computer simulation and control of grain drying, in J.A., Clark., K. Gregson dan R.A. Saffell. *Computer applications in Agricultural Environments*. UK. p 127-142.
- O'Collaghan, J.R., D.J. Menzies dan P.H. Bailey. 1971. Digital simulation of agricultural drier performance. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 16:223-244.
- Viswanathan, K., M.S. Lyall, Raychaudhuri. 1986. Agricultural grains spouted bed drying. *Canadian Journal Chemical Engineering*. 64:223-232.
- Wiset, L., G. Srzednicki, R. Driscoll, C. Nimmuntavin dan P. Siwapornrak. 2001. Effects of High Temperature Drying on Rice Quality. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Manuscript FP 01 003.
- Zahed, A.H., N. Epstein. 1992. Batch and continuous spouted bed drying of cereal grains : the thermal equilibrium model. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 70(5):945-953.

Halaman ini sengaja dikosongkan

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). JTEP terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi *online*. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energy alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makassar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), Dr.Ir. Lady Corrie Ch Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si. (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

**Pengaruh Perlakuan Air Panas terhadap Mutu Buah Jambu Biji
(*Psidium guajava* L.) Selama Penyimpanan**

Effect of Hot Water Treatment on Quality of Guava Fruit During Storage

Lista Eka Yulianti, Program Studi Teknologi Pascapanen Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

Email: listaeka@yahoo.co.id

Rokhani Hasbullah, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Email: rohasb@yahoo.com

Nanik Purwanti, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Email: nanik_purwanti@yahoo.com

Abstract

Guava (*Psidium guajava* L.) is one of the potential tropical fruits in Indonesia. Guava productivity can decrease because of pest attacks. Fruit fly (*Bactrocera carambolae*) is one of guava major pests. It's needed a treatment that can annihilate fruit fly without affecting the fruit quality. Hot water treatment (HWT) is known as one of popular method for fruit fly disinfestation. HWT at 46°C for a minimum of 15 min is known as a method for *B. carambolae* disinfestation. This research aimed to observe temperature development during HWT and to study the effects of HWT and storage temperature on guava quality. Red guava was treated by hot water at 46°C for 10, 20, 30 min and then stored at two temperatures, 10°C and 28 ± 2°C. Respiration rate and fruit quality were observed during storage. Respiration rate, weight losses, hardness, moisture content, total soluble solid, and color of guava aren't affected by HWT at 46°C for 10 - 30 min. Low temperature significantly decreased the respiration rate and weight losses during storage. It's also maintained moisture content and color of guava.

Keywords: Guava, fruit fly, hot water treatment, storage, fruit quality

Abstrak

Buah jambu biji (*Psidium guajava* L.) merupakan salah satu buah tropis berpotensi di Indonesia. Produktifitas jambu biji dapat mengalami penurunan karena adanya serangan hama. Salah satu hama utama jambu biji adalah lalat buah dengan spesies *Bactrocera carambolae*. Diperlukan suatu perlakuan yang dapat membunuh lalat buah tersebut dengan tidak mempengaruhi mutu buah. Perlakuan air panas diketahui sebagai salah satu metode yang banyak digunakan untuk disinfestasi lalat buah. Perlakuan air panas pada suhu 46°C selama minimal 15 menit diketahui dapat membunuh *B. Carambolae*. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati perkembangan suhu selama proses perlakuan air panas dan mempelajari pengaruh suhu dan lama perlakuan air panas terhadap mutu buah jambu biji selama penyimpanan. Buah jambu biji merah diberi perlakuan air panas dengan suhu pusat 46°C selama 10, 20, 30 menit dan kontrol kemudian disimpan pada dua taraf suhu berbeda, yaitu suhu 10°C dan 28 ± 2°C. Selama penyimpanan dilakukan pengamatan laju respirasi dan perubahan mutu buah. Perlakuan air panas pada suhu pusat buah 46°C selama 10 - 30 menit tidak berpengaruh terhadap laju respirasi, susut bobot, kekerasan, kadar air, total padatan terlarut, dan warna buah jambu biji. Suhu rendah dapat menekan laju respirasi dan susut bobot buah selama penyimpanan. Selain itu, suhu rendah juga dapat mempertahankan kadar air dan warna buah jambu biji.

Kata kunci: Jambu biji, lalat buah, perlakuan air panas, penyimpanan, mutu buah

Diterima: 7 Maret 2016; Disetujui: 13 Mei 2016

Pendahuluan

Jambu biji (*Psidium guajava* L.) merupakan buah yang berpotensi tinggi untuk dikembangkan di Indonesia berdasarkan keragaman manfaatnya dan kesesuaian iklim. Produktifitas jambu biji dapat mengalami penurunan bila pemeliharannya tidak dilakukan dengan benar dan adanya serangan hama. Dalam usaha tani secara komersial, hama merupakan salah satu faktor pembatas yang dapat menyebabkan kerugian secara ekonomi karena dapat menyebabkan kehilangan hasil dan menghambat kegiatan ekspor. Salah satu kendala dalam upaya peningkatan kualitas buah dan peningkatan daya saing buah-buahan menuju ekspor di Indonesia adalah kerusakan yang diakibatkan oleh lalat buah sehingga mengakibatkan banyak buah tidak lolos dalam proses karantina yang ketat.

Lalat buah merupakan hama yang sangat merusak komoditas hortikultura, khususnya buah-buahan dan sayuran. Jenis tanaman buah dan sayur yang sangat rentan terserang lalat buah adalah jambu biji, belimbing, mangga, melon, apel, cabai merah dan tomat (Sunarno dan Popoko 2013). Lalat buah dengan spesies *Bactrocera carambolae* merupakan Organisme Pengganggu Tanaman yang dilaporkan di berbagai tempat sebagai salah satu hama tanaman jambu biji yang sangat merugikan (Syahfari dan Mujiyanto 2013; Candra 2013; Astriyani 2014).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan lalat buah adalah dengan menggunakan perlakuan panas (*heat treatment*). Metode perlakuan air panas atau *hot water treatment* (HWT) merupakan metode yang sering digunakan karena metode HWT lebih efisien jika dibandingkan dengan udara panas atau semprotan air panas karena dapat menghantarkan panas dari air bersuhu tinggi ke seluruh bahan secara total bukan hanya permukaan saja (Lurie 1998).

Metode HWT diketahui dapat digunakan untuk disinfestasi hama pada berbagai jenis buah dan tidak menimbulkan kerusakan terhadap buah. Gould (1994) melaporkan bahwa pencelupan buah jambu varietas 'Ruby' yang telah diinfestasi oleh larva *Caribbean fruit fly* pada suhu air 46.1°C selama 31 menit membuktikan keamanan karantina probit 9 dan tidak mengurangi kualitas dari buah tersebut. Smith dan Lay-Yee (2000) mengaplikasikan metode HWT pada buah apel 'Royal Gala'. Hasil yang diperoleh adalah metode HWT dengan suhu 44°C selama 35 menit dan diikuti dengan penyimpanan suhu rendah pada 0.5°C selama 7 - 10 minggu tidak menimbulkan kerusakan pada mutu buah dan efektif dalam mengontrol hama karantina.

Perlakuan air panas merupakan salah satu metode perlakuan panas yang sudah banyak diterapkan untuk menekan hama dan penyakit pada berbagai macam buah-buahan. Metode perlakuan

air panas untuk disinfestasi lalat buah pada buah jambu biji memerlukan kajian tersendiri agar dengan perlakuan tersebut tidak menyebabkan kerusakan dan dapat mempertahankan kandungan mutu pada buah selama penyimpanan. Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perkembangan suhu selama proses perlakuan air panas dan mengkaji pengaruh suhu dan lama perlakuan air panas terhadap pola respirasi dan mutu buah jambu biji selama penyimpanan.

Bahan dan Metode

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah buah jambu biji merah varietas getas, dengan umur petik ± 100 hari setelah berbunga (HSB) dan berat 200 - 250 g yang diperoleh dari perkebunan di Kecamatan Tanah Sareal, Bogor. Peralatan yang digunakan dalam penelitian antara lain: *water bath* untuk perlakuan HWT, termokopel untuk mendeteksi suhu buah selama perlakuan HWT, *hybrid recorder* (Yokogawa, MV-1000, Jepang) untuk merekam perkembangan suhu buah, *refrigerator* (Mitsubishi, Jepang) untuk penyimpanan buah, *continuous gas analyzer* (Shimadzu, IRA-107, Jepang) untuk mengukur laju produksi CO₂, *portable oxygen tester* (Shimadzu, POT-101, Jepang) untuk mengukur laju konsumsi O₂, *rheometer* (Sun Scientific, CR-300, Jepang) untuk mengukur kekerasan buah, *chromameter* (Konica Minolta Sensing, CR-400, Jepang) untuk mendeteksi warna buah, *refractometer* (Atago, Jepang) untuk mengukur total padatan terlarut buah, oven (Isuzu, 2-2120, Jepang) untuk mengukur kadar air buah, neraca analitik (AE Adam, PW 184) untuk mengukur berat sampel kadar air, neraca (Mettler, PM-4800) untuk mengukur berat buah, *chamber* (toples), cawan aluminium, desikator, pisau *stainless steel*.

Metode

Buah jambu biji merah hasil panen disortasi untuk menyeragamkan ukuran dan kualitas buah. Selanjutnya buah dibagi menjadi beberapa kelompok sesuai dengan taraf perlakuan waktu HWT, yaitu 10, 20, 30 menit dan tanpa perlakuan (kontrol). Perlakuan air panas dilakukan pada suhu pusat 46°C yang diketahui sebagai suhu terbaik untuk disinfestasi lalat buah *Bactrocera carambolae* (Nusantara 2012; Rohaeti et al. 2010). Buah jambu biji kemudian dimasukkan ke dalam *waterbath* berisi air yang suhunya sudah mencapai 47°C. Pada setiap kelompok proses perlakuan air panas terdapat dua buah jambu yang terhubung dengan *hybrid recorder* menggunakan termokopel untuk mengamati perkembangan suhu di dalam buah. Termokopel terpasang pada tiga titik, yaitu permukaan buah, setengah pusat, dan pusat buah.

Suhu pusat buah dipertahankan pada 46°C selama 10, 20, dan 30 menit. Setelah mencapai waktu yang ditentukan, buah jambu biji kemudian diangkat dari *waterbath* dan dikeringanginkan. Termokopel pada buah tetap terpasang selama proses pendinginan hingga dapat dipastikan bahwa suhu buah sudah kembali normal. Buah jambu biji untuk kelompok kontrol direndam dalam air bersuhu ruang (28°C) selama 30 menit kemudian dikeringanginkan.

Buah jambu biji setelah perlakuan air panas kemudian dibagi kedalam dua kelompok untuk disimpan pada dua suhu penyimpanan, yaitu 10°C dan 28 ± 2°C. Pengamatan dilakukan selama 14 hari penyimpanan. Pola respirasi diamati setiap hari, sedangkan perubahan mutu diamati setiap dua hari. Proses uji mutu buah jambu biji tersaji pada Gambar 1.

Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan 2 faktor. Faktor pertama adalah lama HWT yang terdiri dari 4 taraf yaitu 10 menit, 20 menit, 30 menit dan tanpa perlakuan (kontrol). Faktor kedua yaitu suhu penyimpanan yang terdiri dari 2 taraf yaitu 10°C dan 28 ± 2°C. Penelitian dilakukan dengan 4 ulangan, sehingga diperoleh 32 satuan percobaan. Data yang diperoleh dianalisis dengan analisis sidik ragam pada tingkat kepercayaan 95%. Jika terdapat pengaruh perlakuan, dilakukan pengujian lanjut dengan menggunakan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT).

Hasil dan Pembahasan

Perkembangan Suhu Buah Selama Proses Perlakuan Air Panas

Proses perlakuan air panas dilakukan pada suhu media 47°C untuk mencapai suhu pusat buah 46°C. Suhu 46°C diketahui dapat mematikan larva dan telur lalat buah jenis *Bactrocera carambolae* selama 15 menit perlakuan (Nusantara 2012; Rohaeti *et al.* 2010). Pada saat proses perlakuan air panas perlu diketahui waktu kondisioning yang tepat bagi

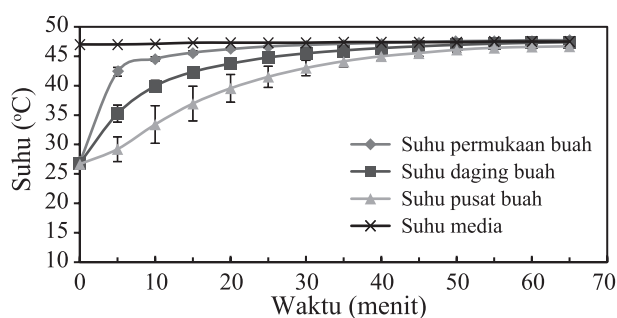
buah jambu biji. Waktu kondisioning adalah lama waktu yang dibutuhkan hingga suhu pusat buah mencapai suhu yang diinginkan. Termokopel yang terhubung dengan *hybrid recorder* dipasang pada tiga titik bagian buah, yaitu permukaan buah, setengah pusat, dan pusat buah untuk memantau perkembangan suhu selama proses HWT. Data perkembangan suhu selama proses HWT ditampilkan pada Gambar 2.

Berdasarkan hasil pengamatan perkembangan suhu dapat diketahui bahwa waktu kondisioning perlakuan air panas untuk mencapai suhu pusat 46°C pada buah jambu biji merah berukuran 200-250 gram adalah selama 48.5 menit.

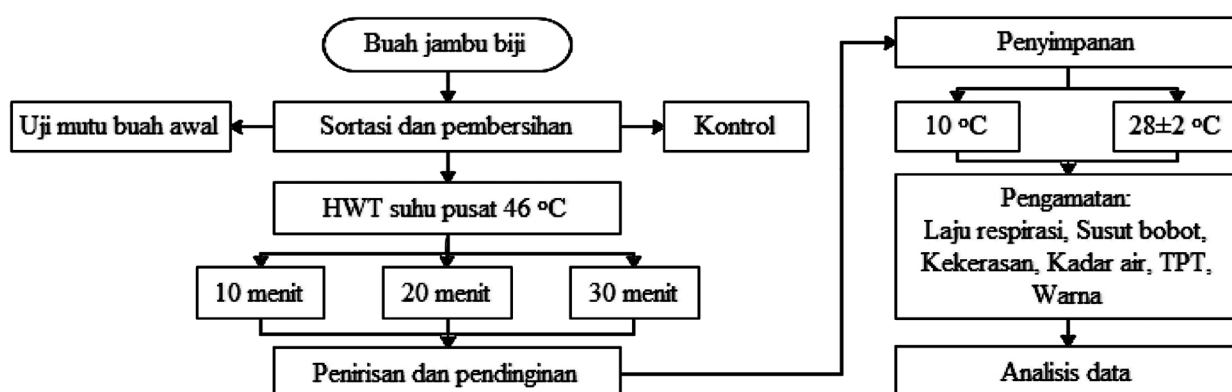
Pengaruh Perlakuan Air Panas dan Suhu Penyimpanan terhadap Pola Respirasi Buah Jambu Biji

Laju respirasi dapat digunakan sebagai ukuran aktifitas fisiologis buah dan merupakan indikator penting masa simpan suatu produk setelah panen karena berhubungan erat dengan perubahan mutu dan tingkat kesegaran. Pola respirasi buah jambu biji pada masing-masing perlakuan selama penyimpanan dapat dilihat pada Gambar 3.

Buah jambu biji merah yang diberi perlakuan air panas dan tanpa perlakuan mencapai fase klimakterik pada waktu yang bersamaan yaitu pada hari ke-3 untuk suhu penyimpanan 28 ± 2°C. Laju respirasi jambu biji pada saat puncak klimakterik yang tertinggi mencapai 65.47 ml/kg-jam untuk



Gambar 2. Perkembangan suhu buah jambu biji selama proses HWT.



Gambar 1. Alur proses uji mutu buah.

produksi CO_2 dan 63.61 ml/kg-jam untuk konsumsi O_2 , dimana kedua nilai tertinggi tersebut dihasilkan oleh buah jambu biji yang diberi perlakuan air panas selama 30 menit. Setelah mengalami fase klimakterik, laju produksi CO_2 dan laju konsumsi O_2 mengalami penurunan. Hal ini dapat ditandai sebagai fase *senescence* sampai pada penyimpanan hari ke-5. Pada suhu penyimpanan 10°C buah jambu biji tidak mengalami kenaikan konsentrasi CO_2 dan O_2 yang berarti. Kondisi ini berlangsung hingga hari penyimpanan ke-14.

Lama waktu perlakuan air panas tidak berpengaruh terhadap laju respirasi jambu biji selama penyimpanan. Hal ini sejalan dengan yang Jacobi *et al.* (1995) ungkapkan bahwa perlakuan panas tidak mempengaruhi waktu klimakterik buah mangga Kensington. Paull dan Chen (2000) juga menyatakan bahwa setelah perlakuan panas, laju respirasi buah akan menurun mendekati tingkat laju respirasi buah yang tanpa perlakuan panas.

Laju respirasi jambu biji dipengaruhi oleh suhu penyimpanan. Laju produksi CO_2 dan laju konsumsi O_2 buah yang disimpan pada suhu $28 \pm 2^\circ\text{C}$ memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding buah jambu biji yang disimpan pada suhu 10°C . Menurut Bron *et al.* (2005) suhu sangat berpengaruh terhadap aktifitas metabolik jaringan dan organ tumbuhan, seperti buah. Reaksi metabolik seperti respirasi sangat penting bagi proses pematangan buah yang pada umumnya meningkat seiring dengan meningkatnya suhu. Winarno (2002) menyatakan bahwa laju respirasi dikendalikan oleh suhu, dimana setiap kenaikan suhu 10°C proses enzimatik dan fisiologis meningkat hingga dua atau tiga kali mengikut hukum Van't Hoff.

Pengaruh Perlakuan Air Panas dan Suhu Penyimpanan terhadap Mutu Buah Jambu Biji

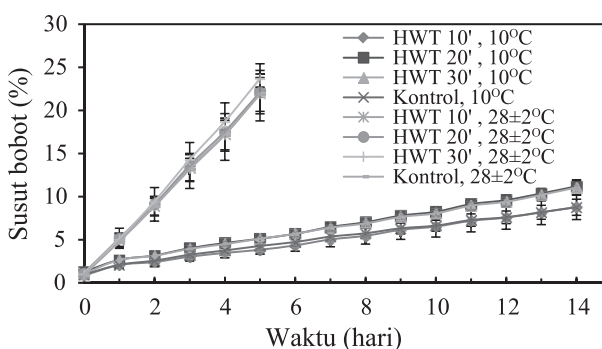
Pengamatan perubahan mutu buah juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan air panas dan suhu penyimpanan terhadap buah jambu biji. Parameter mutu yang diamati antara lain susut bobot, kekerasan, kadar air, total padatan terlarut, dan perubahan warna.

Susut Bobot

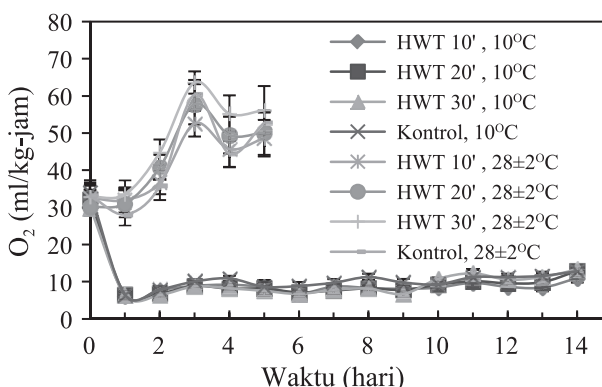
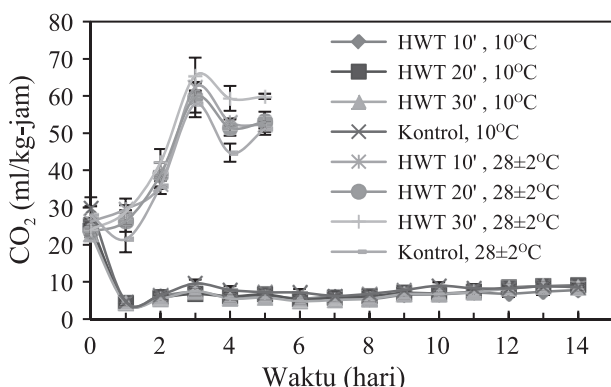
Salah satu parameter mutu yang mencerminkan kesegaran buah adalah bobotnya. Selama penyimpanan setelah diberi perlakuan air panas, buah jambu biji mengalami susut bobot yang bersifat gradual seperti yang tersaji dalam Gambar 4.

Berdasarkan hasil pengamatan dapat diketahui bahwa perlakuan lama HWT tidak memberikan pengaruh terhadap susut bobot buah jambu biji selama penyimpanan. Hasil yang sama dilaporkan oleh Hasbullah (2002) bahwa perlakuan panas tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap susut bobot mangga irwin selama masa simpan.

Buah jambu biji yang diberi perlakuan air panas dan tanpa perlakuan mengalami susut bobot yang terus meningkat selama penyimpanan. Penurunan bobot buah jambu biji disebabkan oleh berkurangnya kandungan air dalam buah dan proses respirasi yang mengubah substrat menjadi CO_2 dan H_2O . Muchtadi *et al.* (2010) menyatakan bahwa selama penyimpanan buah mengalami susut bobot sebagai akibat dari hilangnya air dalam buah oleh proses transpirasi dan respirasi sehingga menimbulkan kerusakan dan menurunkan mutu buah. Kondisi ini terjadi pada buah yang disimpan pada suhu 10°C maupun $28 \pm 2^\circ\text{C}$. Suhu penyimpanan berpengaruh terhadap susut bobot buah. Suhu penyimpanan 10°C dapat menekan susut bobot buah jambu biji lebih baik dibanding suhu penyimpanan $28 \pm 2^\circ\text{C}$. Menurut Muchtadi *et al.* (2010), susut bobot



Gambar 4. Susut bobot jambu biji selama penyimpanan.



Gambar 3. Laju produksi CO_2 dan konsumsi O_2 jambu biji selama penyimpanan.

buah akibat respirasi dan transpirasi dapat ditekan dengan cara menurunkan suhu, menaikkan kelembaban nisbi udara (RH), mengurangi gerakan udara dan penggunaan kemasan.

Kadar Air

Buah jambu biji setelah diberi perlakuan HWT dan disimpan mengalami perubahan kadar air yang bersifat fluktuatif. Namun secara umum kadar air buah jambu biji selama penyimpanan mengalami penurunan seperti yang tersaji pada Gambar 5.

Buah jambu biji yang diberi perlakuan air panas maupun kontrol mengalami perubahan kadar air dengan nilai rata-rata yang hampir sama pada masing-masing suhu penyimpanan. Lama perlakuan air panas tidak berpengaruh terhadap kadar air. Hasil ini sejalan dengan yang dilaporkan oleh Hasbullah (2002) bahwa tidak terdapat pengaruh yang berbeda nyata pada perubahan kadar air mangga irwin setelah mendapat perlakuan panas.

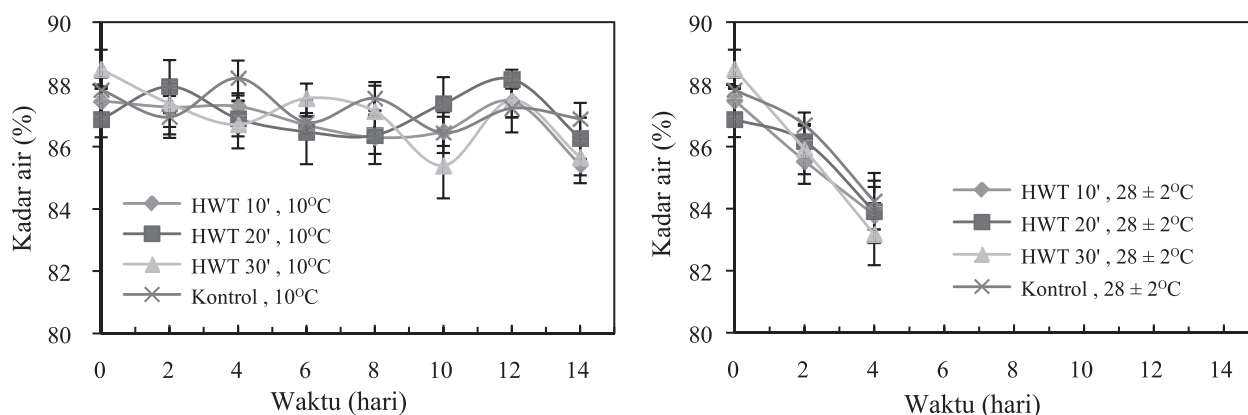
Penurunan kadar air yang terjadi pada buah jambu biji selama penyimpanan merupakan hal yang umum terjadi karena buah akan kehilangan kandungan air setelah proses pematikan hingga pematangan. Hal ini disebabkan oleh laju respirasi yang meningkat selama proses pematangan, suhu penyimpanan yang tinggi dan kelembaban yang rendah. Suhu penyimpanan yang tinggi dapat memicu peningkatan laju respirasi dan transpirasi

sehingga buah dapat dengan mudah kehilangan kandungan air. Suhu penyimpanan 10°C dapat mempertahankan kandungan air buah jambu biji lebih baik dibanding suhu penyimpanan $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Hal ini karena pada suhu 10°C aktifitas respirasi dan transpirasi berjalan lebih lambat sehingga buah tidak banyak kehilangan kandungan air.

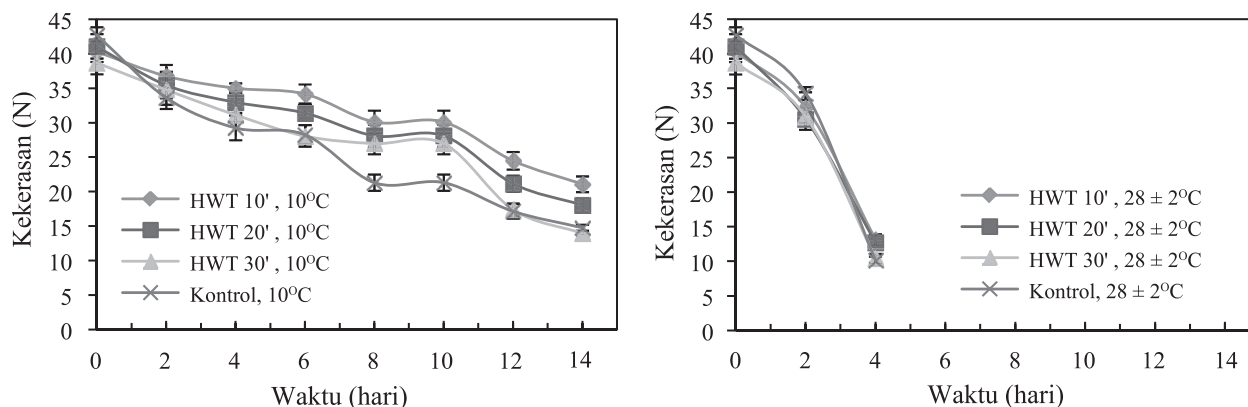
Kekerasan

Kekerasan merupakan salah satu parameter yang biasa digunakan untuk mengetahui perubahan mutu pada produk hortikultura. Buah jambu biji mengalami penurunan nilai kekerasan selama penyimpanan seperti yang tersaji pada Gambar 6.

Faktor yang berpengaruh penting terhadap perubahan kekerasan antara lain adalah proses pematangan, suhu, dan RH. Perubahan tekstur buah yang semula keras menjadi lunak dikarenakan selama proses pematangan terjadi perubahan komposisi dinding sel sehingga menyebabkan turunnya tekanan turgor sel dan kekerasan buah menurun (Winarno 2002). Pelunakan buah pada saat pematangan merupakan hasil dari proses degradasi dinding sel secara enzimatis. Abugoukh dan Bashir (2003) melaporkan bahwa proses degradasi dinding sel pada buah jambu melibatkan beberapa enzim seperti pektinesterase, poligalakturonase, dan selulase. Kekerasan jambu biji berbanding terbalik dengan aktifitas enzim poligalakturonase dan selulase, dimana semakin



Gambar 5. Perubahan kadar air jambu biji selama penyimpanan.



Gambar 6. Perubahan nilai kekerasan jambu biji selama penyimpanan.

tinggi aktifitas kedua enzim tersebut maka tingkat kekerasan buah akan semakin rendah. Jain *et al.* (2003) juga menyatakan bahwa penurunan ketegaran dinding sel buah jambu biji merupakan tanda bahwa aktifitas enzim penghidrolisis dinding sel sedang meningkat.

Total Padatan Terlarut (TPT)

Total padatan terlarut mencakup semua padatan yang terlarut dalam buah, termasuk gula, vitamin, dan komponen lainnya. Komponen terlarut yang paling banyak dalam buah adalah kandungan gula, sehingga banyaknya TPT yang terukur merupakan gambaran banyaknya kandungan gula total pada buah yang diukur. Kandungan total padatan terlarut buah jambu biji setelah mendapat perlakuan air panas mengalami perubahan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7.

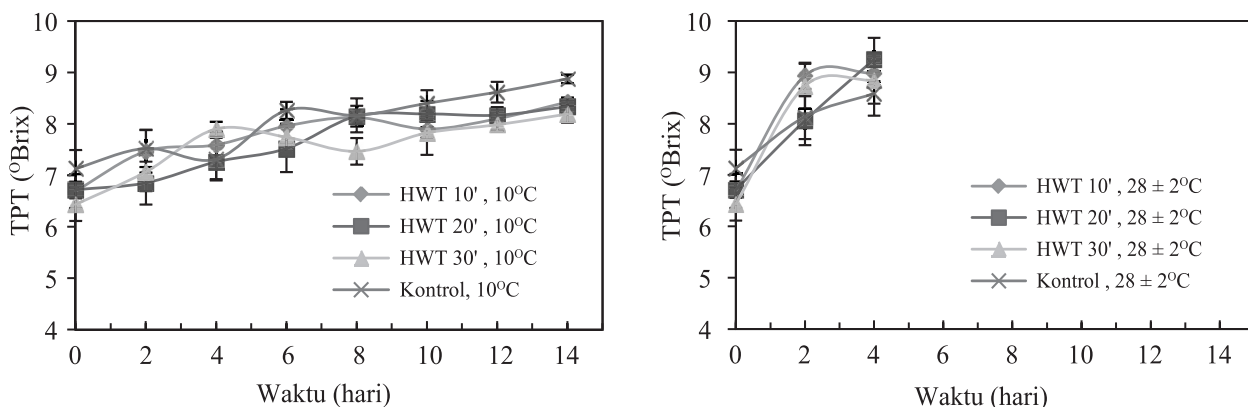
Kandungan TPT buah jambu biji tidak terpengaruh oleh perlakuan panas yang diberikan. Hasil ini sejalan dengan yang Hasbullah (2002) laporkan bahwa perlakuan panas tidak berpengaruh nyata pada perubahan TPT mangga irwin hingga 14 hari penyimpanan. Jacobi *et al.* (1995) juga mengemukakan bahwa perlakuan panas metode VHT dengan suhu 47°C selama 30 menit tidak

memberikan pengaruh nyata terhadap perubahan TPT buah mangga.

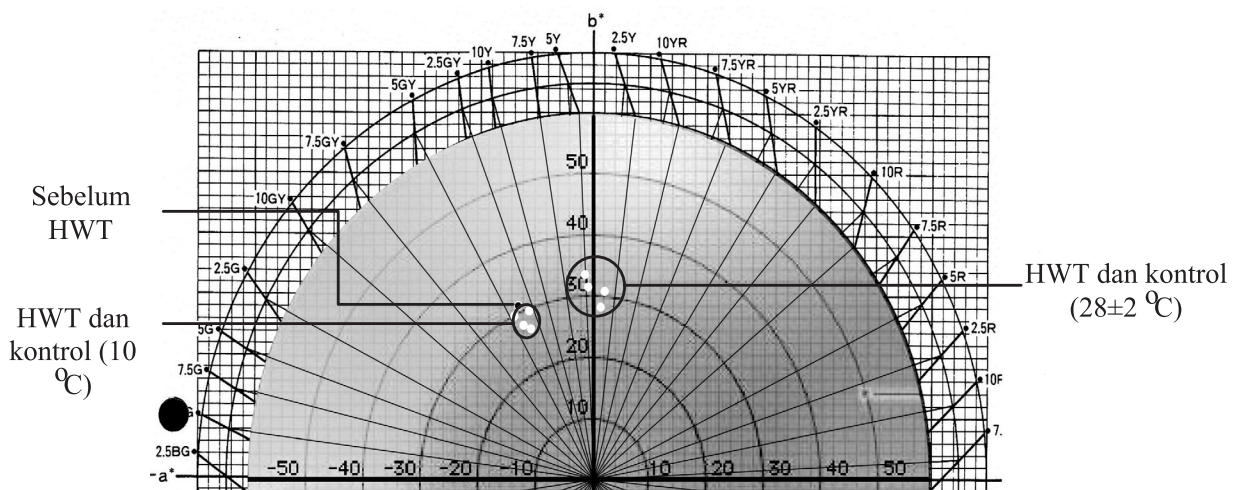
Peningkatan kandungan TPT buah jambu biji disebabkan oleh proses pematangan yang masih berlangsung selama penyimpanan. Hal ini sesuai dengan yang dilaporkan oleh Abu-Goukh dan Bashir (2003) bahwa TPT dan total gula pada buah jambu biji meningkat selama pematangan seiring dengan penurunan tingkat kekerasan. Jain *et al.* (2003) juga melaporkan bahwa kandungan pati pada buah jambu biji menurun signifikan pada saat peralihan dari tingkat kematangan *mature green* ke tingkat kematangan *overripe*. Seiring dengan menurunnya kandungan pati karena proses degradasi, total gula pada buah jambu biji mengalami peningkatan yang signifikan.

Perubahan Warna

Perubahan warna umumnya terjadi seiring dengan proses pemasakan buah. Buah jambu biji muda memiliki warna hijau tua, kemudian akan berubah menjadi warna hijau terang saat mulai matang dan berubah menjadi hijau kekuningan atau kuning pada saat matang. Buah jambu biji selama penyimpanan mengalami perubahan kecerahan (nilai L) yang berbeda berdasarkan suhu



Gambar 7. Kandungan TPT jambu biji selama penyimpanan.



Gambar 8. Perubahan warna buah jambu biji setelah empat hari penyimpanan.

Tabel 1. Pengaruh lama HWT dan suhu penyimpanan terhadap mutu buah jambu biji setelah empat hari penyimpanan.

Perlakuan		Parameter Mutu			
HWT (menit)	Suhu Penyimpanan	Susut Bobot (%)	Kekerasan (N)	Kadar Air (%)	TPT (°Brix)
10	10 °C	3.48±1.10b	35.00±0.91a	87.29±1.09a	7.59±0.92b
	28±2 °C	17.21±3.83a	13.17±0.74b	83.79±2.73b	8.98±0.58a
20	10 °C	4.62±0.54b	32.97±5.54a	86.89±1.53a	7.26±1.12b
	28±2 °C	17.57±6.67a	12.69±1.11b	83.91±3.01b	9.25±1.56a
30	10 °C	4.50±0.47b	31.14±3.74a	86.71±2.26a	7.90±0.49b
	28±2 °C	18.70±1.89a	10.44±1.34c	83.17±2.88b	8.85±1.64a
Kontrol	10 °C	3.76±0.68b	29.24±6.01a	88.20±1.69a	7.32±1.50b
	28±2 °C	17.16±3.43a	10.10±2.22c	84.24±2.65b	8.58±1.49a

Perlakuan		Parameter Mutu		
HWT (menit)	Suhu Penyimpanan	Warna (L)	Nilai Kromatis (C*)	Derajat Hue (°hue)
10	10 °C	61.34±1.87b	27.67±1.24b	65.32±1.90b
	28±2 °C	65.74±2.62a	31.32±1.29a	85.84±1.16a
20	10 °C	60.21±1.65b	26.15±2.02b	67.28±1.47b
	28±2 °C	69.28±1.83a	33.42±0.71a	86.10±0.91a
30	10 °C	62.50±2.45b	28.87±1.58b	67.48±0.80b
	28±2 °C	63.82±3.82ab	27.55±1.55b	85.73±1.39a
Kontrol	10 °C	62.18±2.80b	30.39±1.99a	65.76±1.18b
	28±2 °C	66.28±2.46a	30.46±1.06a	85.32±2.09a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada $\alpha = 0.05$

penyimpanannya. Suhu penyimpanan berpengaruh terhadap perubahan kecerahan (nilai L) buah jambu biji. Penentuan derajat warna dapat diketahui melalui nilai kromatis (C*) dan nilai derajat hue (°hue). Nilai kromatis didefinisikan sebagai intensitas warna atau kemurnian dari rona. Derajat hue didefinisikan sebagai warna dominan dari campuran beberapa warna. Perlakuan lama HWT dan suhu penyimpanan memberikan pengaruh terhadap nilai kromatis buah jambu biji, sedangkan nilai °hue hanya dipengaruhi oleh suhu penyimpanan.

Setelah diperoleh nilai kromatis dan °hue selanjutnya dilakukan pemetaan warna seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8. Berdasarkan hasil pemetaan warna buah jambu biji sebelum diberi perlakuan dan setelah empat hari penyimpanan, dapat diketahui bahwa warna buah yang sebelumnya berada pada kategori *green yellow* berubah menjadi kategori *yellow* pada suhu penyimpanan $28 \pm 2^\circ\text{C}$. Sedangkan pada suhu penyimpanan 10°C warna buah tidak berubah yakni masih dalam kategori *green yellow*.

Perubahan warna dari hijau kekuningan menjadi kuning terjadi akibat adanya degradasi klorofil sebagai pembawa pigmen warna hijau dan sintesis

karotenoid sebagai pembawa pigmen warna merah dan kuning. Jain *et al.* (2003) melaporkan bahwa kandungan total klorofil, klorofil a, dan klorofil b pada buah jambu biji menurun seiring adanya peningkatan kandungan karotenoid selama proses pematangan. Penurunan kandungan klorofil terjadi sebagai akibat dari peningkatan aktifitas enzim pendegradasi klorofil, seperti klorofilase, klorofil oksidase, dan peroksidase selama proses pematangan (Tucker 1993).

Buah jambu biji yang diberi perlakuan air panas cenderung berwarna lebih hijau dibanding buah kontrol selama penyimpanan. Pada buah yang diberi perlakuan air panas, pembentukan senyawa karotenoid dapat dihambat. Hal ini sejalan dengan yang diungkapkan oleh Lurie *et al.* (1996) bahwa suhu diatas 30°C diketahui dapat menghambat sintesis karotenoid. Penurunan kandungan klorofil dan peningkatan kandungan karotenoid merupakan fenomena normal yang terjadi selama proses pematangan buah. Suhu rendah diketahui dapat menekan proses pematangan dengan menghambat aktifitas metabolisme yang terjadi pada buah. Pada kondisi penyimpanan dengan suhu rendah, kerja enzim pendegradasi klorofil dan sintesis karotenoid

akan terhambat sehingga warna buah tidak akan mengalami banyak perubahan.

Berdasarkan pengamatan, secara umum perlakuan lama HWT tidak mempengaruhi mutu buah jambu biji selama penyimpanan. Sedangkan suhu penyimpanan memberikan pengaruh terhadap laju respirasi, susut bobot, kadar air, dan warna buah. Pengaruh perlakuan air panas dan suhu penyimpanan terhadap perubahan mutu buah jambu biji dapat dilihat pada Tabel 1.

Simpulan

Waktu kondisioning perlakuan air panas untuk mencapai suhu pusat 46°C pada buah jambu biji merah dengan berat 200 - 250 gram dan diameter 6.5 - 7.5 cm adalah selama 48.5 menit. Perlakuan air panas pada suhu pusat 46°C selama 10 - 30 menit tidak berpengaruh terhadap laju respirasi, susut bobot, kekerasan, kadar air, total padatan terlarut, dan warna buah jambu biji. Suhu penyimpanan 10°C dapat menekan laju respirasi dan susut bobot serta dapat mempertahankan kadar air dan warna buah jambu biji.

Daftar Pustaka

- Abu-Goukh A.A., H.A. Bashir. 2003. Changes in pectic enzymes and cellulose activity during guava fruit ripening. *Food Chemistry* 83: 213-218.
- Astriyani N.K.N.K. 2014. Keragaman dan dinamika populasi lalat buah (Diptera: Tephritidae) yang menyerang tanaman buah-buahan di Bali [tesis]. Denpasar (ID): Universitas Udayana.
- Bron I.U., R.V. Ribeiro, F.C. Cavallini, Ap. Jacomino, M.J. Trevisan. 2005. Temperature related changes in respiration and Q10 coefficient of guava. *Sci. Agric* 62(5): 458-463.
- Candra D. 2013. Uji daya tahan beberapa bahan pembungkus dalam mengendalikan lalat buah (*Bactrocera* spp.) pada tanaman jambu biji (*Psidium guajava* L.) di sentra pengembangan pertanian Universitas Riau. *Pest Tropical Journal* 1(2).
- Gould W.P. 1994. Heat quarantine treatments for guavas infested with the caribbean fruit fly. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 107:240-242.
- Hasbullah R. 2002. Studies on postharvest treatments for export preparation of tropical fruits: mango [disertasi]. Kagoshima University.
- Jacobi K.K., J. Giles, E. MacRae, T. Wegrzyn. 1995. Conditioning 'Kensington' mango with hot air disinfestation injuries. *HortScience* 30:562-565.
- Jain N., K. Dhawan, S. Malhotra, R. Singh. 2003. Biochemistry of fruit ripening of guava (*Psidium guajava* L.): compositional and enzymatic changes. *Plant Food for Human Nutrition* 58:309-315.
- Lurie S. 1998. Postharvest heat treatments. *J. Postharvest Biology and Technology*. 14:257-269.
- Lurie S., A. Handros, E. Fallek, R. Shapira. 1996. Reversible inhibition of tomato fruit gene expression at high temperature. *Plant Physiology* 110:1207-1214.
- Muchtadi T.R., Sugiyono, F. Ayustaningwarno. 2010. *Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan*. Bandung (ID): Alfabeta.
- Nusantara A. 2012. Disinfestasi telur dan larva lalat buah pada buah mangga gedong gincu (*Mangifera indica*) dengan teknik perlakuan uap panas [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Paull R.E., N.J. Chen. 2000. Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 21:21-37.
- Rohaeti E., R. Syarif, R. Hasbullah. 2010. Perlakuan Uap Panas (*Vapor Heat Treatment*) untuk Disinfestasi Lalat Buah dan Mempertahankan Mutu Buah Belimbing (*Averrhoa carambola* L.). *Jurnal Keteknikan Pertanian* 24(1):45-50.
- Smith K.J., M. Lay-Yee. 2000. Response of 'Royal Gala' apples to hot water treatment for insect control. *Postharvest Biology and Technology* 19:111-122.
- Sunarno, S. Popoko. 2013. Keragaman jenis lalat buah (*Bactrocera* spp.) di Tobelo Kabupaten Halmahera Utara. *Jurnal Agroforestri* 7(4):269-275.
- Syahfari H., Mujiyanto. 2013. Identifikasi hama lalat buah (Diptera: Tephritidae) pada berbagai macam buah-buahan. *Ziraa'ah* 36(1):32-40.
- Tucker G.A. 1993. *Biochemistry of Fruit Ripening*. London: Chapman and Hall.
- Winarno F.G. 2002. *Fisiologi Lepas Panen Produk Hortikultura*. Bogor (ID): M-BRIO Press.

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). JTEP terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi *online*. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energy alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makassar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), Dr.Ir. Lady Corrie Ch Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si. (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Prediksi Kandungan Kafein Biji Kopi Arabika Gayo dengan Near Infrared Spectroscopy

Prediction of Caffein Content of Arabica Coffee Bean by Near Infrared Spectroscopy

Rini Rosita, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Email: rini.rosita90@gmail.com

I Wayan Budiastara, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Email: wbudiastara@yahoo.com

Sutrisno, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Email: kensutrisno@yahoo.com

Abstract

Caffein is one of the important quality indicator of coffee. Caffein content usually determined by chemical method. Alternative method such Near Infrared Spectroscopy (NIRS) is needed to determine caffein content of coffee rapidly and nondestructively. Applications of NIRS to predict caffein content of coffee were carried out in coffee powders and liquid not in coffee beans. The objective of this study was to assess NIRS method to predict caffein content of arabica coffee bean. Coffee bean samples were placed in petri dish with 2 and 3 layers. The reflectances are measured BY FT-NIR Spectrometer in wavelengths of 1000 – 2500 nm, followed by determination of caffein content by chemical method. Some pre-processing NIRS data such as normalization between 0 and 1 (n01), first derivative of Savitzky-Golay 5 points (dg1), second derivative of Savitzky-Golay 5 points (dg2), combination n01 and dg1, combination n01 and dg2, and PLS calibration to increase accuracy of NIRS prediction. The best prediction is obtained by second derivative and 5 factors PLS with 3 layers of coffee beans with the high $R = 0.97$ and RPD (5.93), low of SEP and CV (0.007%, 1.76%). This study demonstrated that NIR spectroscopy had excellent potential analysis to determine caffein content of coffee beans.

Keywords: Coffee bean, caffein, second derivative Savitzky-Golay 5 points, NIRS, PLS

Abstrak

Kafein merupakan salah satu indikator mutu terpenting dari kopi. Biasanya kandungan kafein kopi ditentukan dengan metoda kimia. Metoda alternatif seperti *Near Infrared Spectroscopy* (NIRS) diperlukan untuk penentuan kandungan kafein biji kopi secara cepat dan nondestruktif. Hingga saat ini, aplikasi NIRS untuk penentuan kandungan kafein dilakukan pada kopi bubuk atau kopi cair dan bukan pada biji kopi. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji metoda NIRS untuk memprediksi kandungan kafein biji kopi arabika gayo. Biji kopi diletakkan dalam cawan petri dengan 2 dan 3 tumpukan. Reflektan biji kopi diukur menggunakan *FT-NIR Spectrometer* pada panjang gelombang 1000 – 2500 nm. Dilanjutkan dengan penentuan kandungan kafein kopi dengan metode kimia. Beberapa pra-pengolahan data NIRS seperti normalisasi antara 0 – 1 (n01), derivatif pertama *Savitzky-Golay 5 point* (dg1), derivatif kedua *Savitzky-Golay 5 point* (dg2), kombinasi n01 dan dg1, dan kombinasi n02 dan dg2 serta kalibrasi dengan PLS dilakukan untuk meningkatkan akurasi metoda NIRS. Prediksi NIRS terbaik diperoleh dengan pra-PLS dengan 3 tumpukan dengan koefisien korelasi ($R = 0.97$) dan RPD (5.93) yang tinggi, SEP dan CV yang rendah (0.007%, 1.76%). Penelitian ini membuktikan metode NIRS berpotensi untuk analisis kandungan kafein biji kopi.

Kata Kunci: Biji kopi, kafein, derivatif kedua *Savitzky-Golay 5 point*, NIRS, PLS

Diterima: 18 Maret 2016; Disetujui: 27 April 2016

Latar Belakang

Kopi merupakan salah satu komoditas ekspor andalan Indonesia yang mendatangkan devisa bagi negara. Ekspor biji kopi Indonesia mengalami peningkatan sebesar 15.99% pada tahun 2013 dengan nilai devisa mencapai 1,166,179 ribu US\$ (BPS 2014). Konsultan *International Coffee Organization* (ICO) yaitu *P & A Marketing International* memperkirakan bahwa pertumbuhan konsumsi kopi global dalam periode 2005 – 2015 meningkat 35.5%. Salah satu andalan ekspor kopi Indonesia adalah kopi gayo yang merupakan varietas hasil seleksi yang dikembangkan petani yang produksinya terus mengalami peningkatan (Hifnalisa dan Karim 2008). Faktor penting untuk peningkatan ekspor kopi arabika gayo adalah mutu biji yang tinggi. Kandungan kopi yang dianggap paling penting adalah kafein yang memiliki efek farmakologis memberi manfaat secara klinis (Maramis et al. 2013). Penentuan kandungan kafein yang akurat biasanya dilakukan melalui analisis laboratorium kimia. Metode ini menghabiskan waktu yang lama dan mahal, sehingga kurang tepat untuk penentuan mutu kopi biji ekspor. Oleh karena itu diperlukan metode penentuan mutu biji kopi secara nondestruktif.

Metode *Near infrared spectroscopy* (NIRS) dapat menganalisis dengan kecepatan tinggi, tidak menimbulkan polusi, penggunaan preparat contoh yang sederhana, tidak menggunakan bahan kimia dan dapat menganalisis bahan dengan tidak merusak (nondestruktif). Metode NIRS telah berhasil untuk penentuan mutu kopi, antara lain penentuan karakterisasi organoleptik kopi *roasting* (Pizarro et al. 2004), perbedaan antara varietas Arabika dan Robusta (Downey et al. 2005), kadar air (Reh et al. 2006) dan *roasting control* (Alessandrini et al. 2008). Huck et al. (2005), menganalisis kandungan kafein bubuk kopi. Hasil penelitian menunjukkan kandungan alkaloid kopi 6% lebih tinggi jika dibandingkan dengan deteksi UV. Metode LC-UV dipilih sebagai metode referensi untuk kalibrasi dari sistem NIRS. Analisis pada 83 sampel ekstrak kopi menghasilkan SEE (*standard error estimation*) dari 0.34/100 g sedangkan untuk SEP (*standard error prediction*) sebesar 0.07/100 g dengan koefisien keseragaman (CV) 0.86. Penelitian NIRS yang dilakukan umumnya dalam bentuk kopi bubuk dan kopi cair, dan belum ada yang melakukan dalam bentuk biji. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji metode NIRS untuk penentuan kandungan kafein biji kopi secara cepat, efisien, dan nondestruktif.

Bahan dan Metode

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah kopi arabika gayo yang diperoleh dari Kabupaten Aceh Tengah.

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 40 – 60 gram biji kopi (kadar air 11 – 14% bb) untuk pengukuran reflektan NIRS dan 3 gram kopi arabika gayo atau kopi hijau untuk analisis kafein. Bahan kimia berupa Pb Asetat, natrium oksalat, dan aquades. Alat yang digunakan satu unit NIR Spektrometer tipe NIRFlex N-500 yang diproduksi oleh BUCHI Labortechnik AG. Switzerland dilengkapi *software unscrambler*, blender, *water bath* dan HPLC.

Pengukuran NIRS

Biji kopi dibagi 65% untuk kalibrasi (33 sampel) dan 35% (17 sampel) untuk validasi, sehingga total sampel adalah 50 buah. Sampel ditempatkan dalam *sampleholder* (*petri dish*) berdiameter 5 cm dan tinggi 1.5 cm yang disusun dalam 2 jenis tumpukan yaitu 2 *layer* dan 3 *layer*. Reflektan kopi pada panjang gelombang 1,000 – 2,500 nm diukur dan direkam dengan NIRFlex N-500 *solids petri* dengan *set up* alat sebagai berikut: kecepatan pengambilan data 3 scan/s, suhu pengoperasian alat 22 – 25°C dengan kebutuhan tenaga listrik 100 – 230VAC ± 10%, 50/60 Hz, 350 Watt.

Penentuan Kandungan Kafein

Penentuan kandungan kafein dilakukan setelah pengukuran NIRS. Biji kopi digiling menggunakan blender dan disaring menggunakan saringan teh. Sampel yang berupa *powder* ditambahkan dengan aquades sebanyak 50 mL dan selanjutnya dipanaskan selama 30 menit dalam *water bath* dengan suhu 80 – 100°C. Kemudian ditambahkan 2 tetes Pb asetat jenuh kedalam larutan setelah proses pendinginan, selanjutnya dilakukan penyaringan dalam labu 100 mL dan ditambahkan aquades dan 5 gram natrium oksalat. Kemudian 20 mL sampel dimasukkan ke dalam HPLC pada suhu 28 – 30°C untuk mendapatkan konsentrasi kafein. Konsentrasi kafein dalam sampel (C_{caf}) dihitung dengan menggunakan persamaan regresi yang diperoleh dan membandingkan dengan larutan standar. Persentase kafein dihitung dengan formula:

$$kafein (\%) = \frac{C_{caf} \times V_{solution}}{M_{sampel}} \quad (1)$$

Pengolahan Data NIRS

Untuk menghasilkan model prediksi terbaik dilakukan tiga pra-pengolahan data spektra NIRS yaitu: normalisasi antara 0 – 1 (n01), turunan pertama (dg1) dan kedua *Savitzky-Golay* (dg2) dan kombinasi keduanya. Lengkey et al. (2013) menjelaskan normalisasi berfungsi untuk memperbesar nilai reflektan ke dalam rentang 0 – 1 sehingga akan tampak lebih jelas perbedaannya dan menghilangkan pengaruh perbedaan ukuran partikel sampel uji. Sementara itu, turunan pertama dan kedua *Savitzky-Golay* berfungsi untuk menguraikan komponen kafein yang tumpang

Tabel 1. Sebaran kandungan kafein biji kopi.

Proses	N	Mean	SD	Min	Max
Kalibrasi	33	0.279	0.029	0.194	0.328
Validasi	17	0.283	0.022	0.228	0.310

tindih dan komponen-komponen yang bersatu serta menekan komponen yang tidak diinginkan sehingga memunculkan komponen yang diinginkan.

Kalibrasi dan Validasi

Dalam penelitian ini digunakan metode *Partial Least Squares* (PLS) untuk membangun model kalibrasi. PLS merupakan metode kalibrasi multivariat untuk pendugaan kandungan kafein menggunakan kombinasi linier untuk menduga variabel bebas dari variabel asli. Kinerja model regresi dievaluasi dengan *Root mean square error prediction* (RMSEP). Setelah didapatkan model persamaan regresi kalibrasi, dilakukan tahap validasi dengan menggunakan sisa data yang lain. Validasi bertujuan menguji ketepatan pendugaan kandungan kafein dengan persamaan regresi kalibrasi yang telah dibangun. Parameter untuk menentukan kecocokan model kalibrasi adalah koefisien determinasi (R^2), *standard error* (SE), *coefficient of variation* (CV). Kisaran nilai R^2 mulai dari 0% sampai 100% (Mattjik *et al.* 2006).

$$R = \frac{\sum(Y - \hat{Y})(Y_{NIRS} - \hat{Y}_{NIRS})}{\sqrt{\sum(Y - \hat{Y})^2 \sum(Y_{NIRS} - \hat{Y}_{NIRS})^2}} \quad (2)$$

Data kandungan kafein dugaan NIRS divalidasi dengan data hasil pengujian secara kimiawi di laboratorium kimia dan dibuat hubungan antara keduanya, setelah itu dihitung *standard error* (SE). Nilai SE yang baik adalah semakin mendekati nol sehingga dipastikan model dapat memprediksi

dengan baik kandungan dugaan. Setelah diperoleh nilai SE, dihitung pula koefisien keragaman atau *coefficient of variability* (CV). Walpole (1995) menyatakan bahwa simpangan baku (standar deviasi) tidak dapat menyatakan keragaman data. Menurut Mattjik *et al.* (2006) nilai ideal CV sangat tergantung pada bidang studi yang digeluti. Misalnya untuk bidang pertanian nilai CV yang dianggap wajar adalah 20 – 25%. Namun percobaan yang dilakukan di laboratorium diharapkan menghasilkan nilai CV jauh lebih rendah mengingat sebagian kondisi lingkungan dalam keadaan terkontrol. Selanjutnya keabsahan model dilihat dari parameter statistik yakni antara lain nilai R, RMSEP dan RPD (rasio antara standar deviasi dengan RMSEP). Model yang baik apabila mempunyai nilai R tinggi, nilai RMSEP yang lebih rendah dari standar deviasi prediksi (SD_p) dan nilai RPD yang tinggi.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum(Y_{NIRS} - \hat{Y})^2}{n}} \quad (3)$$

$$CV = \left(\frac{SE}{\hat{Y}} \right) \times 100 \% \quad (4)$$

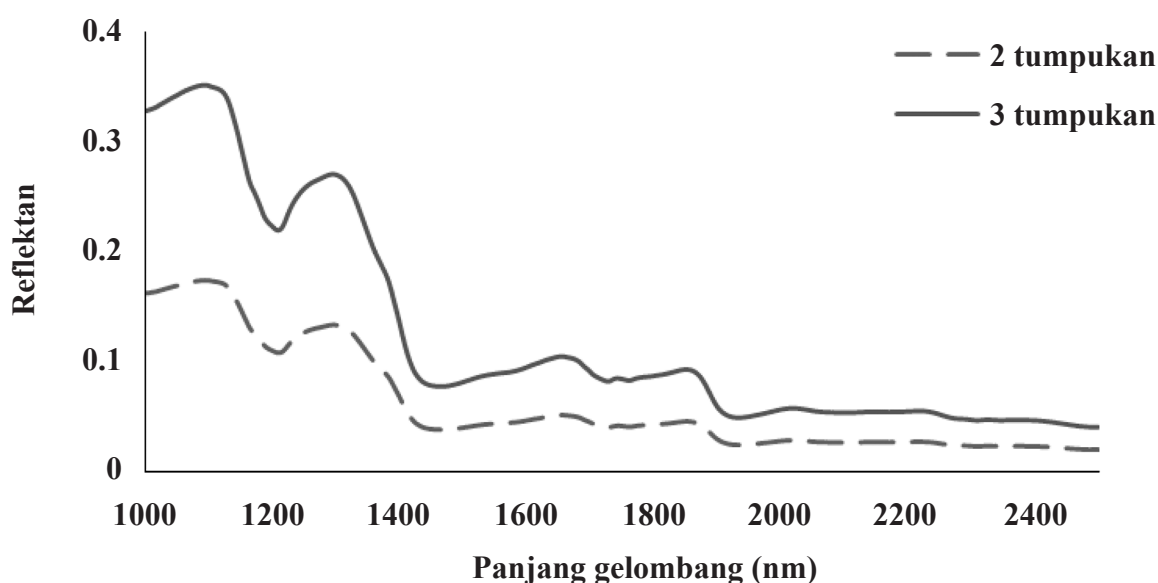
$$RMSEP = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (5)$$

$$RPD = SD_p / RMSEP \quad (6)$$

Hasil dan Pembahasan

Kandungan Kafein

Kandungan kafein biji kopi gayo hasil analisis HPLC dapat dilihat pada Tabel 1. Kandungan kafein berkisar antara 0.194 – 0.328% dengan standar deviasi kalibrasi 0.279 dan validasi 0.283. Nilai ini lebih rendah dari kandungan kafein biji kopi



Gambar 1. Rata-rata reflektan 2 dan 3 tumpukan.

Tabel 2. Hasil kalibrasi dan validasi dengan metode tumpukan, pengolahan data NIRS dan faktor PLS yang berbeda.

Pra-pengolahan data	Faktor PLS/ point	2 Tumpukan					3 Tumpukan				
		R	SEC (%)	SEP (%)	RPD	CV (%)	R	SEC (%)	SEP (%)	RPD	CV (%)
original	7	0.03	0.028	0.029	1.04	10	0.02	0.03	0.022	1.002	10.43
n01	5	0.03	0.028	0.029	1.01	10.3	0.007	0.008	0.022	1.003	10.41
dg1	5/5	0.96	0.0056	0.0084	5.16	2.03	0.92	0.008	0.012	3.435	3.04
n01 + dg1	5/5	0.96	0.0058	0.0098	5.00	2.09	0.93	0.007	0.009	3.841	2.72
dg2	5/5	0.98	0.0036	0.0069	8.03	1.30	0.97	0.005	0.007	5.933	1.76
n01 + dg2	5/5	0.96	0.0058	0.0098	5.00	2.09	0.93	0.007	0.009	3.841	2.72
n01 + dg2	4/5	0.89	0.0095	0.0098	3.07	3.40	0.89	0.0095	0.009	3.06	3.41

madagaskar 0.7 (Jacques *et al.* 1992), atau kopi minas 0.66% (Hecimovic *et al.* 2011).

Perbedaan tempat tumbuh dan varietas akan mempengaruhi kandungan kafein biji kopi. Terdapat 59 jenis kopi dengan karakteristik alkaloid rendah, misalnya beberapa jenis kopi di Brazil seperti Gojjam, Eritrea, Geisha, Harar, and Shoa (Burdan 2015). Dalam hal ini kopi gayo diduga termasuk dalam golongan alkaloid rendah. Selain itu perbedaan kandungan kafein dapat dipacu oleh reaksi yang kompleks yang terjadi selama proses pengolahan, serta hilangnya air dalam bahan akan mempengaruhi persentase dari kandungan kafein (Zhang *et al.* 2013).

Spektrum Reflektan 2 dan 3 Tumpukan Biji Kopi

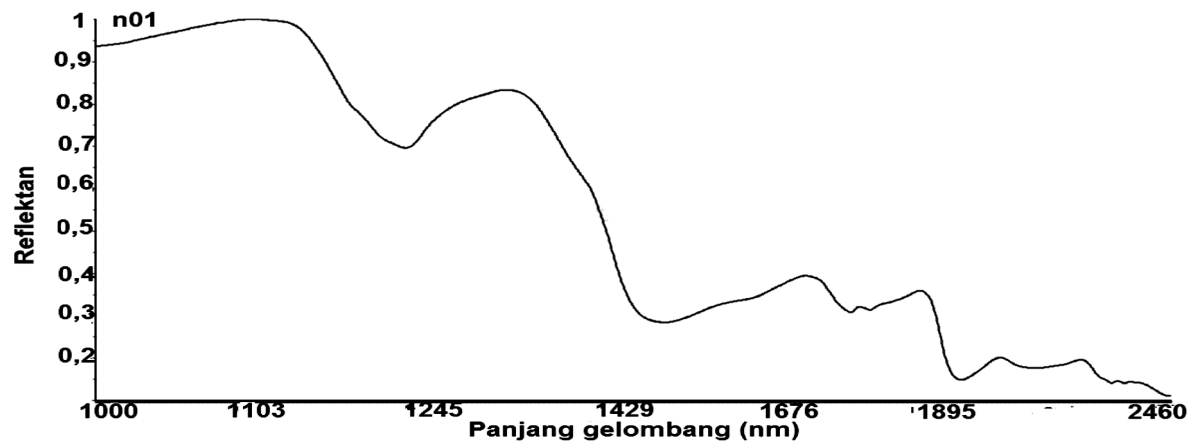
Spektrum reflektan NIRS dengan 2 dan 3 tumpukan menghasilkan spektrum dengan pola yang hampir sama. Berdasarkan nilai rata-rata kedua tumpukan, nilai reflektan spektrum 3 tumpukan lebih tinggi dibandingkan 2 tumpukan (Gambar 1). Penumpukan biji (*layer*) yang lebih tinggi meningkatkan reflektan dengan menahan sinar yang tembus keluar. Pada pengujian biji yang biasanya mempunyai fraksi massa yang beragam mengakibatkan *space* pada *layer*. Desain pengukuran perlu diteliti lebih lanjut untuk menghasilkan spektrum dengan tingkat reflektan yang besar (Eriksson *et al.* 2000).

Pengaruh Pengolahan Data NIRS Biji Kopi

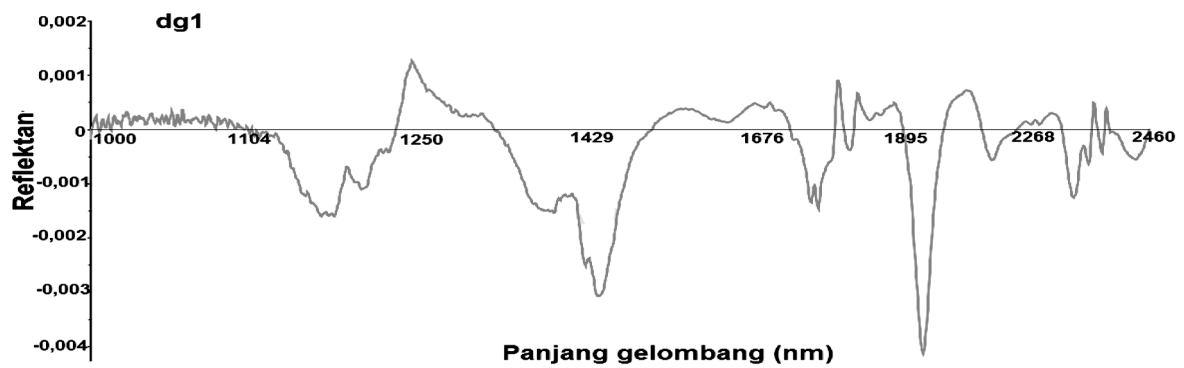
Pengolahan data merupakan hal penting saat mengembangkan model kalibrasi dengan algoritma PLS selain jumlah faktor yang akan digunakan. Pengujian dalam bentuk biji sering kali menghasilkan *noise* pada spektrum. Hal yang sama juga terjadi pada analisis katekin pada bongkahan gambir (Andasuryani *et al.* 2013), kandungan lemak pada biji jarak pagar (Lengkey *et al.* 2013) dan biji kakao (Zulfahrizal *et al.* 2014). Selain itu rendahnya nilai reflektan biji kopi berakibat pada sulitnya pengolahan data. Nicolai *et al.* (2007) menyatakan bahwa pengolahan data diperlukan karena reflektan

dari suatu spektrum dipengaruhi oleh banyak hal, seperti efek hamburan, heterogenitas jaringan, *noise* instrumen yang kadang membuat spektrum menjadi rumit. Untuk meningkatkan nilai reflektan spektrum yang lebih baik, diperlukan transformasi data menggunakan metode normalisasi sehingga data awal yang berada pada rentang 0.01 – 0.5 g/100g meningkat menjadi 0.9 – 1 g/100g. Kombinasi transformasi lain yang bertujuan untuk meningkatkan model adalah derivatif pertama *Savitzky-Golay* dengan beberapa variasi *point*. Lengkey *et al.* (2013) melaporkan derivatif pertama *Savitzky-Golay* 9 *point* efektif dalam meningkatkan R pada model yang dibangun. Rodrigo *et al.* (2012) melaporkan *Savitzky-Golay* 15 *point* merupakan metode efektif dalam analisis kecacatan pada biji kopi. Namun dalam penelitian ini hanya digunakan turunan *Savitzky-Golay* 5 *point*.

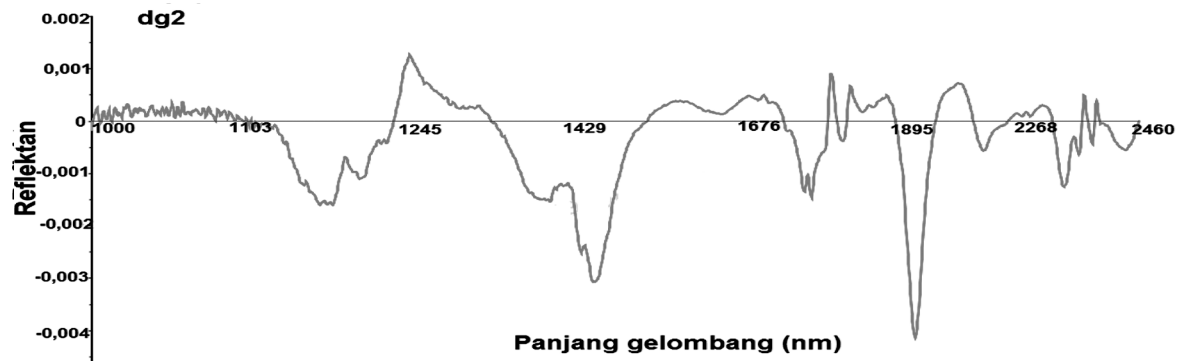
Gambar 2 menunjukkan rata-rata bentuk spektrum biji kopi pada beberapa pengolahan data NIRS. Pengaruh n01 terhadap spektrum original adalah memperlebar nilai reflektan yang semula berkisar 0.1 – 0.5 berubah menjadi 0.1 – 0.9. Jika dg1 diterapkan maka lembah spektrum asli akan lebih jelas dan menurunkan spektrum yang tumpang tindih. Efek ini lebih baik ketika dg2 diterapkan yaitu 0.001 – 0.004, namun perbedaan polanya tidak terlalu signifikan. Metode pra-pengolahan spektrum kombinasi n01 dan dg2 memiliki kualitas yang lebih rendah dibandingkan dg2. Hal ini membuktikan bahwa n01 tidak berpengaruh terhadap peningkatan nilai reflektan. Diduga normalisasi hanya digunakan untuk menghilangkan efek spektrum perkalian (Swierenga *et al.* 1999). Normalisasi membagi setiap baris dengan nilai maksimum. Setiap nilai (+) akan mendekati 1 dan nilai (–) akan mendekati –1. Oleh karena nilai reflektan original hanya berkisar 0.1 – 0.5. Pengolahan n01 tidak memberikan kinerja yang lebih baik terhadap reflektan yang dihasilkan. Andasuryani *et al.* (2013) juga melaporkan n01 tidak berpengaruh signifikan terhadap pengolahan data NIRS pada analisis katekin gambir.



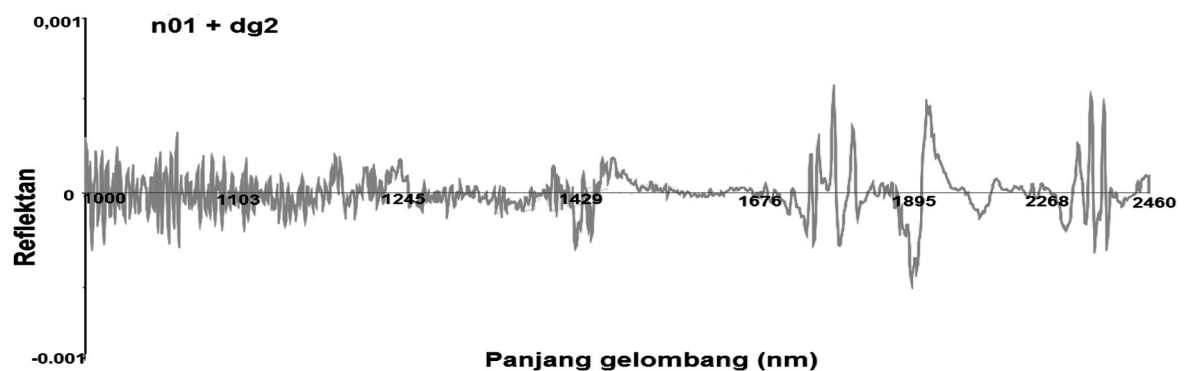
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 2. Pengaruh pengolahan data terhadap spektrum NIRS biji kopi (a) normalisasi antara 0 – 1 (n01), (b) derivatif pertama Savitzky-Golay 5 point (dg1), (c) derivatif kedua Savitzky-Golay 5 point (dg2), (d) kombinasi n01 dan dg1.

Kalibrasi dan Validasi NIRS untuk Prediksi Kafein Biji Kopi

Metoda Pengukuran NIRS dengan 2 dan 3 tumpukan biji kopi menunjukkan hasil kalibrasi dan validasi yang berbeda (Tabel 2). Kalibrasi pada pra-pengolahan dg2 dengan PLS 5 faktor untuk 2 tumpukan menghasilkan nilai $R = 0.98$, $SEC = 0.0036\%$, $SEP = 0.0069\%$, $RPD = 8.03$ dan $CV = 1.30\%$. Secara keseluruhan nilai yang diperoleh untuk pra-pengolahan dg2 dengan PLS 5 faktor pada 2 tumpukan cukup bagus, namun nilai tersebut dianggap belum presisi, meskipun 2 tumpukan memiliki R dan RPD yang tinggi, namun SEC dan SEP berbeda jauh. Williams and Norris (1990) menyatakan nilai SEC yang berbeda sedikit dengan SEP menandakan tingginya presisi, sehingga bias data rendah. Prediksi yang paling presisi untuk kadar kafein adalah 3 tumpukan dengan pra-pengolahan dg2 *Savitzky-Golay* 5 faktor PLS, menghasilkan $R = 0.97$ dan $SEC = 0.005\%$, $SEP = 0.007\%$ serta CV yang kecil (1.76%) dan RPD yang tinggi ($5,933$). SEC dan SEP pada 3 tumpukan berbeda sedikit menunjukkan tingginya presisi prediksi NIRS. Menurut Mouazen et al. (2005) apabila nilai $RPD < 1.5$ maka hasil kalibrasi tidak dapat digunakan.

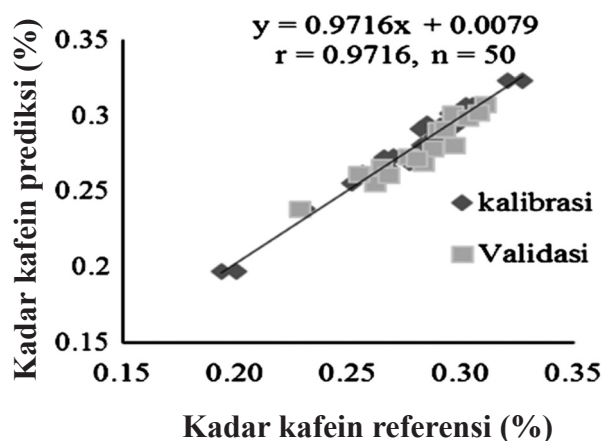
Metode statistik PLS digunakan sebagai metode *full-spectrum*. Oleh karena itu informasi dari seluruh rentang spektral dapat digunakan untuk kalibrasi. Cara terbaik dalam menganalisa biji kopi yang tidak homogen adalah dengan melakukan pengambilan spektrum secara random pada pengolahan data dengan metode PLS (Rodrigo et al. 2012). Pemilihan sejumlah faktor PLS penting untuk mengurangi *noise* dan menggunakan seluruh informasi spektrum (Chen et al. 2013). Model akan tergantung pada jumlah faktor PLS yang digunakan. Jika terlalu banyak akan menghasilkan nilai prediksi yang rendah. Itu terjadi karena kelebihan variabel X sehingga data akan *overfitting*. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa PLS dengan 4 faktor pada pra-pengolahan n01 + dg2 dengan 2 tumpukan menghasilkan solusi yang *underfitting*. Hal tersebut

dapat dilihat dari penurunan nilai $R = 0.98$, dan $RPD = 3.07$ serta peningkatan nilai $CV = 3.4\%$, jika dibandingkan dengan penggunaan 5 faktor PLS yang mempunyai nilai $R = 0.96$, $RPD = 5$, dan $CV = 2.09$. Faktor PLS yang terlalu sedikit akan menghasilkan model yang tidak bagus (Cozzolino et al. 2009), Zhang et al. (2013) memperoleh hasil terbaik untuk kafein kopi *roasting* dengan menggunakan pengolahan data PLS 7 faktor.

Model kalibrasi PLS yang dibangun pada rentang spektrum $1,000.80 - 2,492.04$ nm. Tabel 2 menunjukkan perbedaan hasil model kalibrasi biji kopi sebelum dan setelah pra-pengolahan data. Dalam penelitian ini digunakan 4 dan 5 faktor untuk 33 data kalibrasi dan 17 data validasi. Hasil yang diperoleh menunjukkan PLS 5 faktor menghasilkan model yang lebih baik dari 4 faktor. Pra-pengolahan data n01 + dg2 untuk PLS 5 faktor menghasilkan nilai ($R = 0.96$) lebih besar dibandingkan 4 faktor ($R = 0.89$), nilai ($SEC = 0.0058$) dan ($RPD = 5$) pada 5 faktor juga lebih baik dibandingkan ($SEC = 0.0095$) dan ($RPD = 3.07$). Selain itu kualitas 5 Faktor semakin baik dengan nilai ($CV = 2.09$) yang lebih kecil dari ($CV = 3.40$) pada PLS 4 Faktor.

Model kalibrasi terbaik untuk memprediksi kandungan kafein adalah $y = 0.9569x + 0.012$ (Gambar 3). Model ini memiliki SEC (0.0036%) dan SEP (0.0069%) yang rendah dari model lainnya. Nilai SEC lebih rendah dua kali dari nilai SEP (Hruschka 1990). Selain itu model yang diperoleh mempunyai korelasi tinggi ($R > 0.90$). Nilai $CV = 1.30\%$ menunjukkan bahwa model tepat untuk digunakan dalam memprediksi kandungan kafein biji kopi, karena batas nilai yang disyaratkan untuk $CV < 5\%$.

RPD yang dihasilkan sebesar 8.03 yang berarti model mampu memprediksi komponen secara efisien. Nilai $RPD < 1.5$ menandakan kalibrasi tidak dapat digunakan (Mouazen 2005). Berdasarkan pernyataan tersebut maka dg2 dengan PLS 5 faktor merupakan model yang cukup baik untuk memprediksi kandungan kafein pada biji kopi arabika.



Gambar 3. Prediksi kandungan kafein biji kopi.

Simpulan

Penelitian menunjukkan bahwa prediksi NIRS untuk penentuan kandungan kafein biji kopi terbaik diperoleh dengan menggunakan pra-pengolahan data NIRS dg2 PLS 5 faktor dengan 2 tumpukan. Model yang dihasilkan memperlihatkan nilai koefisien korelasi yang tinggi ($R = 0.98$), SEC , SEP dan CV yang rendah (0.0036% , 0.0069% dan 1.3%) serta RPD yang tinggi (8.03). Hal ini membuktikan bahwa NIRS dapat digunakan untuk memprediksi kandungan kafein biji kopi secara nondestruktif, cepat, dan efisien.

Daftar Pustaka

- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2014. Statistik Ekspor Impor Komoditas Pertanian 2001-2013. *J Statistik Ekspor Impor Komoditas Pertanian* 2337-9578.
- Alessandrini, L., S. Romani, G. Pinnavaia and M.D. Rosa. 2008. Near infrared spectroscopy: An analytical tool to predict coffee roasting degree. *J Analytica Chimica Acta*. 625: 95–102.
- Andasuryani, Y.A. Purwanto, IW. Budiastara and K. Syamsu. 2013. Determination of catechin as main bioactive component of gambir (*Uncaria gambir* Roxb) by FT-NIR Spectroscopy. *J Medicinal Plant Research* 7(41): 3076-308.
- Buridan, F. 2015. Content of caffeine in coffee and in nutritional and medical products. *J Phytochemistry* 31: 1271-1272.
- Chen, H., Q. Song, G. Tang, Q. Feng and K. Lin. 2013. The combined optimization of Savitzky-Golay smoothing and multiplicative scatter correction for FT-NIR PLS models. *ISRN Spectroscopy*: 1-9.
- Cozzolino, D., W.U. Cynkar, N. Shah, R.G. Damberg and P.A. Smith. 2009. A brief introduction to multivariate methods in grape and wine analysis. *International J Wine Research* 1: 123-130.
- Downey, G., E. Sheehan, C. Delahunty, D. O'Callaghan, T. Guinee and V. Howard. 2005. Prediction of maturity and sensory attributes of Cheddar cheese using near-infrared spectroscopy. *J Dairy* 15: 701-709.
- Eriksson, L., E. Johansson, N. Kettaneh-Wold, C. Wikstrom and S. Wold. 2000. Design of Experiments: Principles and Applications. Umea, Sweden: Umetrics [AB].
- Hecimovic, I., A. Belcsak, D. Horzic and D. Komes. 2011. Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting. *J food chemistry* 129: 991-1000.
- Hifnalisa dan A. Karim. 2008. Studi awal varietas biji kopi arabika berdasarkan ketinggian tempat di dataran tinggi Gayo. *J Agrista* 162-172.
- Hruschka, W.R. 1990. Data analysis: wavelength selection methods. In P. Williams and K. Norris (eds.) *Near-Infrared technology in the agricultural and food industries*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists Inc.: 35-55.
- Huck, C.W., W. Guggenbichler and G.K. Bonn. 2005. Analysis of caffeine, theobromine and theophylline in coffee by near infrared spectroscopy (NIRS) compared to high-performance liquid chromatography (HPLC) coupled to mass spectrometry. *J Analytica Chimica Acta* 538 (2005) 195–203.
- Lengkey, L.C.Ch., IW. Budiastara, K.B. Seminar and B.S. Purwoko. 2013. Determination of Chemical Properties in *Jatropha Curcas* L. Seed IP-3P by Partial Least-Squares Regression and Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. *J Agriculture Innovations and Research* 2: 2319-1473.
- Mattjik, A.S. dan IS. Made. 2006. Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan MINITAB. IPB Press, Bogor[ID].
- Maramis, R.K., G. Citraningtyas dan F. Wehantouw. 2013. Analisis Kafein dalam Kopi Bubuk di Kota Manado menggunakan Spektrofotometri UV-Vis. *J Ilmiah Farmasi – UNSRAT* 2: 04.
- Mouazen, A.M., W. Saeys, J. Xing, J. De Baerdemaeker and H. Ramon. 2005. Near infrared spectroscopy for agricultural materials: an instrument comparison. *J Near Infrared Spectroscopy* 13: 87-97.
- Nicolai, B.M., K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, K.I. Theron and J. Lammertyn. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: a review. *Postharvest Biology and Technology* 46: 99-118.
- Pizarro, C., I. Esteban-Diez, A.J. Nistal and J.M. González-Sáiz. 2004. Influence of data preprocessing on the quantitative determination of the ash content and lipids in roasted coffee by near infrared spectroscopy. *J Analytica Chimica Acta* 509: 217–227.
- Reh, C.T., A. Gerber, J. Prodoliet and G. Vuataz. 2006. Water content determination in green coffee method comparison to study specificity and accuracy. *J Food Chemistry* 96: 423–430.
- Rodrigo, J.S., M.C. Sarragça, O.S.S. Rangel António and A. Lopes João. 2012. Evaluation of green coffee beans quality using near infrared spectroscopy: a quantitative approach. *J Food Chemistry* 135: 1828–1835.
- Swierenga, H., A.P. de Weijer, R.J. van Wijk and L.M.C. Buydens. 1999. Strategy for constructing robust multivariate calibration models. *J Chemometrics and Intel-ligent Laboratory Systems* 49: 1-17
- Williams, P. and K. Norris. 1990. Near-infrared technology in the agricultural and food industries. American Association of cereal chemical, Inc. St. Paul. USA[US]: 146.
- Walpole, R.E. 1995. *Pengantar Statistika* Edisi Ke-3. PT Gramedia, Jakarta [ID].
- Zhang, X., W. Li, B. Yin, P. Chen, K. Declan, X. Wang, K. Zheng and Y. Du. 2013. Improvement of near infrared spectroscopic (NIRS) analysis of caffeine in roasted arabica coffee by variable selection method of stability competitive adaptive reweighted sampling (SCARS). *J Elsevier Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 114: 350–356.

Halaman ini sengaja dikosongkan

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). JTEP terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi *online*. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energy alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makassar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), Dr.Ir. Lady Corrie Ch Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si. (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Pengaruh Lama Pengukusan terhadap Mutu Fisik Beras Pratanak pada Beberapa Varietas Gabah

Effect of Steaming Duration on Physical Quality of Parboiled Rice in Some Paddy Varieties

Esa Ghanim Fadhallah, Program Studi Teknologi Pascapanen, Sekolah Pascasarjana.
Institut Pertanian Bogor. Email: esaghanimfadhallah@gmail.com

Rokhani Hasbullah, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem. Institut Pertanian Bogor.
Email: rohasb@yahoo.com

Lilik Pujantoro Eko Nugroho, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem. Institut Pertanian Bogor.
Email: lilikpen@yahoo.com

Abstract

Parboiled rice processing begins with a process of paddy soaking and steaming. These processes are intended to improve physical quality and lower the glycemic index so it fits for diabetic and diet purposes. Objective of this study was to assess the effect of soaking time and temperature on paddy moisture content and effect of steaming time on milling yield and physical quality of parboiled rice in some paddy varieties. The stages of the research was determination of soaking time and temperature, processing of parboiled rice, milling yield analysis, and physical properties analysis. The result showed that paddy soaking at 60°C takes 3 - 5 hours to reach moisture content of 25 – 30%, whereas at 30°C takes more than 7 hours. Steaming of Ciherang paddy for 20 minutes resulted the highest head rice yield ($72.52 \pm 5.00\%$). Parboiling condition that recommended was soaking paddy on 60°C for 4 hours and steaming for 20 minutes using Ciherang paddy variety.

Keywords: *Parboiled rice, physical quality, steaming, yield*

Abstrak

Pengolahan beras pratanak diawali dengan proses perendaman dan pengukusan gabah. Proses tersebut dimaksudkan untuk meningkatkan mutu fisik dan menurunkan nilai indeks glikemik dari beras yang dihasilkan sehingga cocok dikonsumsi penderita diabetes dan untuk keperluan diet. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh suhu dan waktu perendaman terhadap kadar air gabah dan mengkaji pengaruh lama pengukusan terhadap rendemen giling dan mutu fisik beras pratanak pada beberapa varietas gabah. Tahapan penelitian meliputi penentuan suhu dan waktu perendaman, pembuatan beras pratanak, analisis rendemen giling dan analisis mutu fisik beras pratanak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perendaman pada suhu 60°C membutuhkan waktu 3 - 5 jam untuk mencapai kadar air gabah 25 – 30%, sedangkan pada suhu 30°C membutuhkan waktu lebih dari 7 jam. Pengukusan 20 menit pada gabah varietas Ciherang menghasilkan rendemen beras kepala tertinggi, yaitu $72.52 \pm 5.00\%$. Kondisi proses pratanak yang direkomendasikan adalah perendaman gabah pada suhu 60°C selama 4 jam dan pengukusan selama 20 menit menggunakan gabah varietas Ciherang.

Kata Kunci: Beras pratanak, mutu fisik, pengukusan, rendemen

Diterima: 19 Maret 2016; Disetujui: 13 Mei 2016

Pendahuluan

Beras merupakan makanan pokok yang sangat penting bagi masyarakat di Indonesia, dimana seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk maka kebutuhan beras juga akan semakin

meningkat. Pemenuhan kebutuhan beras tersebut berkaitan dengan kegiatan pascapanen padi, diantaranya pemanenan, perontokan, pengeringan, penggilingan, penyimpanan, pengemasan dan pengangkutan. Masalah yang muncul pada kegiatan tersebut selain tingginya kehilangan hasil

adalah rendahnya mutu fisik beras yang dihasilkan. Salah satu alternatif cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan mutu fisik beras adalah dengan mengolah gabah secara pratanak.

Beras pratanak atau biasa disebut *parboiled rice*, merupakan beras yang dihasilkan dari gabah yang telah mengalami penanakan secara parsial. Ayamdoo *et al.* (2013) mengemukakan bahwa tahapan khusus dalam pengolahan beras pratanak adalah perendaman dan pengukusan. Widowati *et al.* (2009) menyebutkan bahwa pengolahan beras pratanak merupakan proses yang unik karena tahap pengolahan dimulai pada saat bahan masih dalam bentuk gabah. Tahapan penting dalam pengolahan beras pratanak adalah proses perendaman dan pengukusan. Tujuan utama proses tersebut adalah untuk melekatkan komponen nutrisi yang terdapat pada lapisan *aleurone* terhadap butir beras akibat adanya proses gelatinisasi pati (Gariboldi 1984). Ejebe *et al.* (2015) menambahkan bahwa proses pengukusan dapat mengurangi keretakan/kerapuhan pada butir beras yang terdapat sebelumnya di dalam gabah ketika dipanen, sehingga dengan adanya proses ini akan meningkatkan mutu fisik beras yang dihasilkan.

Buggenhout *et al.* (2013) menyebutkan bahwa selain dapat meningkatkan zat gizi, proses pengolahan beras pratanak juga dapat memperbaiki mutu fisik beras. Miah *et al.* (2002a) melaporkan bahwa proses pratanak dapat menurunkan rendemen beras patah dari 12% menjadi 0.6%. Hasil penelitian Sareepuang *et al.* (2008) menunjukkan bahwa proses pratanak dapat meningkatkan rendemen beras kepala dari 51% menjadi 60 – 85%. Namun, dari beberapa hasil penelitian tersebut belum ada yang melaporkan mengenai pengaruh lama pengukusan terhadap mutu fisik beras pratanak pada beberapa varietas. Kondisi optimum pengolahan beras pratanak khususnya proses pengukusan hingga saat ini masih terus dilakukan untuk mendapatkan mutu beras pratanak yang diinginkan. Oleh karena itu, sebagai salah satu usaha untuk meningkatkan mutu fisik beras, maka penelitian ini menjadi sangat penting untuk dilakukan.

Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh suhu dan waktu perendaman terhadap kadar air gabah dan mengkaji pengaruh lama proses pengukusan terhadap rendemen giling dan mutu fisik beras pratanak.

Bahan dan Metode

Bahan dan Alat

Penelitian dilakukan pada bulan Agustus - Desember 2015 di Penggilingan Padi Sinar Jati Desa Dukupuntang Cirebon, Laboratorium Lingkungan dan Bangunan Pertanian dan Laboratorium Lapang Siswadi Soepardjo, Departemen Teknik Mesin dan

Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah gabah (varietas Ciherang, IR42, dan IR64) yang diperoleh dari Penggilingan Padi Sinar Jati Desa Dukupuntang, Cirebon. Peralatan yang digunakan meliputi unit pengolahan beras pratanak (bak perendaman gabah, tangki pengukusan gabah, *steam boiler*), lantai jemur, mesin penggiling gabah (Kubota RD100 DI-2T), mesin penyosoh beras (ICHI Blower Rice Polisher N70), *water bath*, *cylinder separator* (Satake Test Rice Grader), timbangan digital dan alat ukur kadar air (Crown Moisture Tester).

Prosedur Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi dua tahap yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Pada penelitian pendahuluan dilakukan perendaman gabah pada suhu air yang berbeda. Penelitian pendahuluan dilakukan untuk menentukan waktu dan suhu perendaman yang dibutuhkan untuk mencapai kadar air gabah 25 – 30%. Gabah yang digunakan pada penelitian pendahuluan adalah Gabah Kering Giling dari varietas Ciherang. Gabah pertama-tama ditimbang sebanyak 100 g dan dimasukkan ke dalam *beaker glass* yang berisi 300 ml air. Selanjutnya *beaker glass* ditempatkan pada *water bath* untuk diberikan perlakuan suhu perendaman, yaitu 30°C dan 60°C (mengacu pada Miah *et al.* 2002a; Hasbullah dan Pramita 2013). Setiap 1 jam selama 8 jam perendaman, gabah diambil untuk diukur kadar airnya menggunakan *moisture tester*. Perlakuan suhu perendaman dengan waktu tercepat dalam mencapai kadar air gabah sebesar 25 – 30% akan dipilih sebagai kondisi perendaman gabah dalam proses pembuatan beras pratanak pada penelitian utama.

Tahapan pada penelitian utama meliputi proses pembuatan beras pratanak (modifikasi Widowati *et al.* 2009), analisis rendemen giling dan analisis mutu fisik beras (BSN 2008). Pada penelitian utama digunakan tiga varietas gabah, yaitu varietas Ciherang, IR42 dan IR64. Gabah sebanyak 100 kg direndam di dalam bak perendaman pada suhu dan lama waktu sesuai hasil penelitian pendahuluan. Gabah selanjutnya dikukus dalam tangki pengukusan yang dibagi ke dalam dua bagian dengan perlakuan lama pengukusan yang berbeda, yaitu selama 20 menit dan 30 menit. Suhu uap selama pengukusan sebesar 100.9°C dan suhu gabah sebesar 99.1°C dengan laju uap sebesar 81.7 kg/jam. Sebagai kontrol adalah gabah kering giling tanpa melalui proses pratanak. Setelah proses pengukusan selesai selanjutnya gabah dikeringkan selama 1 hari hingga mencapai kadar air 14%. Gabah kemudian digiling dan disosoh dengan konfigurasi 2H-2P (dua kali pecah kulit dan dua kali sosoh) sehingga dihasilkan beras pratanak sosoh. Beras pratanak yang dihasilkan dari ketiga

varietas selanjutnya dilakukan analisis rendemen giling dan mutu fisik beras. Perlakuan pengukusan yang menghasilkan rendemen beras kepala tertinggi dipilih sebagai perlakuan terbaik.

Analisis Rendemen Giling

Pengukuran rendemen beras pratanak dihitung berdasarkan perbandingan berat beras pratanak yang dihasilkan (B kg) terhadap berat awal gabah yang digunakan (A kg) rendemen dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Rendemen} = (B/A) \times 100\% \quad (1)$$

Analisis Mutu Fisik Beras

Analisis ini mengacu pada SNI 01-6128 : 2008. Beras pratanak yang telah dihasilkan ditimbang sebanyak 100 g (W_o). Kemudian dipisahkan menjadi butir kepala (beras utuh atau beras dengan ukuran lebih dari $2/3$ bagian panjang butir aslinya), butir patah (beras dengan ukuran $1/3 - 2/3$ bagian panjang butir aslinya) dan butir menir (beras dengan ukuran lebih kecil $1/3$ bagian panjang butir aslinya) menggunakan alat *cylinder separator* (*Satake Test Rice Grader*). Bobot dari masing-masing butir kepala (W_{bk}), butir patah (W_{bp}) dan butir menir (W_{bm}) tersebut selanjutnya ditimbang. Persentase butir kepala (BK), butir patah (BP) dan butir menir (BM) ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$BK (\%) = \frac{W_{bk}}{W_o} \times 100\% \quad (2)$$

$$BP (\%) = \frac{W_{bp}}{W_o} \times 100\% \quad (3)$$

$$BM (\%) = \frac{W_{bm}}{W_o} \times 100\% \quad (4)$$

Analisis Statistik

Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok dimana perlakuan yang digunakan adalah lama pengukusan (20 menit, 30 menit) dan sebagai kelompok adalah varietas gabah (Ciherang, IR42, IR64). Kontrol yang digunakan adalah Gabah Kering Giling tanpa melalui proses pratanak.

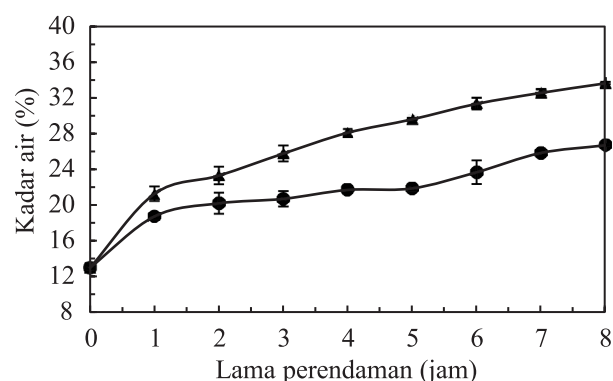
Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) menggunakan *software* IBM SPSS v.23 untuk mengetahui pengaruh dari perlakuan. Jika dalam analisis ragam terdapat pengaruh nyata dari faktor perlakuan, maka analisis statistik dilanjutkan dengan Uji Duncan untuk melihat perbedaan pengaruh dari masing-masing perlakuan pada selang kepercayaan 95 % atau pada nilai $p = 0.05$.

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Suhu Perendaman terhadap Kadar Air Gabah

Pada penelitian pendahuluan ini menggunakan gabah varietas Ciherang dengan perlakuan suhu perendaman yang berbeda, yaitu 30°C dan 60°C. Perlakuan suhu dengan waktu tercepat untuk mencapai kadar air 25 – 30% akan digunakan sebagai kondisi pada pembuatan beras pratanak pada penelitian utama. Hasil pengukuran kadar air selama perendaman disajikan pada Gambar 1.

Berdasarkan hasil pengukuran kadar air yang tersaji pada Gambar 1, dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan peningkatan kadar air gabah pada suhu perendaman yang berbeda. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa suhu perendaman memberikan pengaruh terhadap kadar air gabah selama perendaman. Perendaman gabah pada suhu 60°C mampu mencapai kadar air gabah 25 – 30% dalam waktu 3 - 5 jam, sedangkan pada suhu 30°C membutuhkan waktu 7 jam. Kadar air gabah mencapai $25.8 \pm 0.7\%$ pada perlakuan suhu 60°C selama 3 jam, sedangkan pada suhu 30°C mencapai kadar air $25.8 \pm 0.1\%$ selama 7 jam. Hal tersebut menunjukkan bahwa perendaman pada suhu 60°C mampu meningkatkan kadar air gabah lebih cepat dibandingkan suhu 30°C. Suhu air yang digunakan saat perendaman menentukan kecepatan peningkatan kadar air. Penggunaan suhu air yang lebih tinggi dapat mempercepat peningkatan kadar air. Hal ini diduga disebabkan oleh pengaruh suhu panas yang memicu terbukanya pori-pori sekam lebih besar sehingga air lebih banyak masuk ke dalam *endosperm* gabah. Mekanisme pergerakan air tersebut yang diduga menyebabkan kadar air gabah pada perendaman suhu 60°C lebih tinggi dibandingkan perendaman suhu 30°C pada waktu perendaman yang sama dalam penelitian ini. Hal tersebut lebih lanjut dijelaskan oleh Miah *et al.* (2002a) yang menyebutkan bahwa pada perendaman air suhu tinggi memungkinkan terganggunya ikatan hidrogen dan melemahkan struktur misel dari granula pati, sehingga lebih



Gambar 1. Kadar air gabah varietas Ciherang selama perendaman pada suhu 30 °C (—●—) dan 60 °C (—▲—).

Tabel 1. Rendemen giling beras pratanak.

Varietas	Rendemen giling (%)		
	Pengukusan 20 menit	Pengukusan 30 menit	Kontrol
Ciherang	69.65 ± 1.95 a	71.48 ± 0.55 a	65.46 ± 1.00 b
IR42	71.47 ± 1.93 a	71.86 ± 0.89 a	67.73 ± 0.64 b
IR64	67.04 ± 0.22 b	67.24 ± 0.44 b	65.58 ± 1.15 a

Keterangan : Angka diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata pada uji Duncan

banyak air yang menembus ke dalam *endosperm*.

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Miah *et al.* (2002a) yang melakukan perendaman gabah pada suhu 25°C dan 80°C. Perendaman pada suhu yang lebih tinggi, yaitu 80°C, menghasilkan peningkatan penyerapan air dimana selama dua jam menghasilkan kadar air 30.1%, sedangkan pada suhu 25°C menghasilkan kadar air 18.8%. Miah *et al.* (2002a) menyatakan perendaman menggunakan air dingin membutuhkan air dalam jumlah banyak dan memakan waktu lebih lama dalam mencapai kadar air gabah untuk pengukusan. Farouk dan Islam (1995) melaporkan perendaman gabah pada suhu kamar (25°C) membutuhkan waktu 36 - 72 jam untuk mencapai kadar air 30%. Perendaman yang terlalu lama memungkinkan tumbuhnya bakteri *anaerob*, bakteri asam laktat dan *stafilokokus* (Wimberly 1983), sehingga menimbulkan aroma dan rasa yang tidak enak dari beras yang dihasilkan (Ramalingam dan Raj 1995). Berdasarkan hal tersebut maka perendaman pada suhu 60°C dipilih untuk mempercepat proses perendaman dan menghindari penurunan mutu beras.

Kadar air gabah pada perendaman suhu 60°C dengan lama perendaman 3 jam berbeda nyata dengan lama perendaman 4 jam, dimana perendaman 4 jam menghasilkan kadar air gabah lebih tinggi, yaitu 28.1 ± 0.4%. Kadar air gabah yang dihasilkan setelah proses perendaman diketahui dapat mempengaruhi mutu beras pratanak (Miah *et al.* 2002a) dan berkaitan dengan derajat gelatinisasi (Miah *et al.* 2002b). Taghinejad *et al.* (2015) melaporkan gabah yang memiliki kadar air yang lebih tinggi pada perendaman yang lebih lama akan menghasilkan derajat gelatinisasi yang lebih tinggi ketika proses pengukusan. Miah *et al.* (2002b) melaporkan bahwa semakin tinggi derajat gelatinisasi akan menghasilkan rendemen beras yang semakin tinggi pula. Akhyar (2009) melaporkan perendaman pada suhu 60°C selama 4 jam merupakan kondisi yang efisien untuk penggunaan waktu dan energi untuk proses perendaman agar kadar air terserap 30%. Pemilihan lama perendaman selama 4 jam pada suhu 60°C direkomendasikan oleh Hasbullah dan Pramita (2013) sebagai lama perendaman terbaik karena menghasilkan rendemen giling tertinggi. Bhattacharya (2004) melaporkan apabila perendaman dilakukan terlalu lama pada suhu tinggi dan kadar air melebihi 30%,

maka dapat menyebabkan kulit sekam terbuka sehingga terjadi pelarutan (*leaching*) komponen gizi dan deformasi dari gabah yang dapat menurunkan mutu beras yang dihasilkan. Berdasarkan kajian-kajian tersebut, untuk menghasilkan mutu beras yang baik maka perendaman selama 4 jam pada suhu 60°C dipilih sebagai kondisi perendaman terbaik untuk digunakan pada penelitian utama dalam pengolahan beras pratanak.

Rendemen Giling Beras Pratanak

Rendemen giling diperoleh dari perbandingan antara berat beras pratanak hasil penggilingan dan penyosohan dengan berat gabah yang digunakan. Rendemen giling menyatakan banyaknya beras yang dihasilkan dan merupakan parameter penting yang berkaitan dengan keberhasilan dari suatu proses penggilingan. Itoh *et al.* (1985) menyatakan bahwa lama pengukusan gabah berpengaruh terhadap rendemen giling yang dihasilkan. Hasil perhitungan rendemen giling dari beras pratanak yang dihasilkan melalui perbedaan lama waktu pengukusan disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil yang tersaji pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa beras yang diberi perlakuan pratanak memiliki rendemen giling lebih tinggi dibandingkan beras kontrol (tanpa perlakuan pratanak). Perlakuan lama pengukusan memberikan pengaruh terhadap rendemen giling beras pratanak. Rendemen giling pada pengukusan 20 menit tidak berbeda nyata dengan pengukusan 30 menit. Proses pengukusan dapat meningkatkan rendemen giling beras sebesar 2.23 - 9.19%. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses pengukusan gabah dapat meningkatkan rendemen giling beras pratanak. Peningkatan rendemen giling beras pratanak disebabkan oleh proses pengukusan yang menyebabkan penyerapan bagian *aleurone* pada bagian *endosperm*. Haryadi (2008) menjelaskan bahwa gabah tersusun atas 64 - 74% *endosperm*, 18 - 20% sekam dan 7 - 8% lapisan *aleurone*. Proses perendaman dan pengukusan menyebabkan ikatan sel dalam beras menjadi lebih kuat sehingga pada proses penggilingan lebih tahan terhadap gesekan pada penggilingan dan penyosohan. Proses pengukusan menyebabkan gelatinisasi pada granula pati sehingga lapisan *aleurone* berdifusi ke bagian *endosperm* dan dapat meningkatkan kemampuan pengikatan (*binding*)

Tabel 2. Mutu fisik beras pratanak.

Varietas	Lama pengukusan	Butir kepala (%)	Butir patah (%)	Butir menir (%)
Ciherang	20 menit	72.52 ± 5.00 a	20.22 ± 2.20 b	7.18 ± 5.03 a
	30 menit	68.36 ± 2.94 a	23.12 ± 1.40 b	8.52 ± 4.04 a
	Kontrol	66.36 ± 0.05 b	25.69 ± 0.09 a	7.95 ± 0.13 a
IR42	20 menit	26.17 ± 2.35 a	58.14 ± 1.68 b	15.82 ± 2.76 a
	30 menit	31.00 ± 16.38 a	52.39 ± 5.28 b	16.14 ± 11.54 a
	Kontrol	87.59 ± 0.25 b	11.15 ± 0.39 a	1.03 ± 0.14 a
IR64	20 menit	66.67 ± 0.90 a	21.07 ± 0.80 b	12.26 ± 1.60 a
	30 menit	65.12 ± 0.37 a	21.99 ± 0.64 b	12.88 ± 0.43 a
	Kontrol	63.08 ± 1.68 b	23.08 ± 2.50 a	13.83 ± 4.10 a

Keterangan: Angka diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama dan varietas yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata pada uji Duncan

effect) (Gariboldi 1984) sehingga tekstur beras pratanak yang dihasilkan lebih kompak dan dapat meningkatkan rendemen giling. Widowati *et al.* (2009) menambahkan bahwa pelekatan komponen *aleurone* secara signifikan meningkatkan kandungan serat pangan sehingga butiran beras pratanak lebih kokoh dan tidak mudah patah saat penggilingan.

Lama pengukusan mempengaruhi rendemen giling dari beras pratanak yang dihasilkan. Graham-Acquaah *et al.* (2015) melaporkan bahwa waktu pengukusan mempengaruhi rendemen giling dari beras pratanak. Penelitian Graham-Acquaah *et al.* (2015) menggunakan perlakuan tanpa pengukusan, pengukusan gabah selama 12.5, dan 23 menit. Rendemen giling yang dihasilkan pada perlakuan tersebut berturut-turut adalah 65.3%, 72.5% dan 74.5%. Penelitian Venkatachalapathy dan Udhayakumar (2013) menggunakan perlakuan kontrol, pengukusan gabah selama 1.0, 1.5 dan 2.0 menit. Rendemen giling yang dihasilkan pada perlakuan tersebut berturut-turut 75.0%, 75.2%, 76.4%, dan 75.4%. Berdasarkan hasil kajian tersebut, maka semakin lama pengukusan akan cenderung menghasilkan rendemen giling yang semakin tinggi.

Mutu Fisik Beras Pratanak

Pengamatan mutu fisik dilakukan pada saat beras pratanak selesai dilakukan penggilingan dan penyosohan. Pengamatan rendemen butir kepala, butir patah, dan butir menir dilakukan menggunakan separator. Parameter fisik berupa butir kepala, butir patah, dan butir menir merupakan fokus dalam penelitian ini. Semakin besar rendemen butir kepala maka kualitas beras giling akan semakin baik, karena konsumen lebih menyukai beras dengan butir kepala dibandingkan butir patah maupun butir menir. Hasil pengujian mutu fisik dari beras pratanak dari berbagai varietas dan lama pengukusan disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil yang tersaji pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa perlakuan pengukusan

berpengaruh terhadap rendemen butir kepala dan butir patah. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa lama pengukusan memberikan pengaruh terhadap rendemen butir kepala dan butir patah. Uji lanjut Duncan menunjukkan rendemen butir kepala dan butir patah pada pengukusan 20 menit tidak berbeda nyata dengan pengukusan 30 menit. Proses pratanak pada varietas Ciherang dan IR64 menghasilkan rendemen butir kepala lebih tinggi dibandingkan beras kontrol, sedangkan proses pratanak pada varietas IR42 menghasilkan rendemen butir kepala yang lebih rendah dibandingkan beras kontrol.

Gabah varietas Ciherang dan IR64 diketahui sebagai varietas yang memiliki butir beras dengan kadar amilosa rendah dan varietas IR42 diketahui sebagai varietas dengan kadar amilosa tinggi (Akhyar 2009). Varietas dengan kadar amilosa rendah diduga memiliki kemampuan gelatinisasi yang lebih baik dibandingkan varietas dengan kadar amilosa tinggi, sehingga granula pati yang tergelatinisasi lebih banyak berikatan dan menghasilkan tekstur yang kokoh. Hal tersebut diduga dapat menghasilkan peningkatan rendemen butir kepala pada varietas Ciherang dan IR64. Sodhi dan Singh (2003) melaporkan bahwa pada varietas beras dengan kandungan amilosa rendah memiliki kemampuan *swelling* yang lebih baik dibandingkan varietas dengan kadar amilosa tinggi, dimana kemampuan tersebut berkaitan dengan proses gelatinisasi pati. Wani *et al.* (2012) menambahkan bahwa pada beras dengan kadar amilosa tinggi, struktur linier dengan ikatan hidrogen yang kuat menyebabkan granula pati sulit tergelatinisasi. Hal tersebut memungkinkan antar granula pati tidak berikatan dengan kuat ketika tergelatinisasi sehingga menghasilkan rendemen butir kepala lebih rendah ketika penggilingan dan penyosohan. Oli *et al.* (2014) menjelaskan pada proses gelatinisasi pati terjadi pembengkakan granula pati pada *endosperm* beras menyebabkan antar granula pati tersebut saling berikatan, kemudian

terjadi perubahan tekstur menjadi seperti pasta. Proses tersebut diduga menyebabkan hilangnya keretakan internal yang mungkin terdapat pada *endosperm* atau saling menyatu antar retakannya, sehingga setelah dilakukan pengeringan maka tekstur *endosperm* akan kembali mengeras seperti kondisi awal dan menghasilkan tekstur butir yang lebih kompak dan kokoh. Sifat butir yang kompak dan kokoh dari hasil proses pengukusan tersebut diduga dapat meningkatkan rendemen butir kepala dan menurunkan rendemen butir patah karena lebih tahan terhadap gesekan saat penggilingan.

Lama pengukusan dapat berkaitan dengan rendemen butir kepala yang dihasilkan, dimana semakin lama pengukusan diduga akan semakin tinggi pula rendemen butir kepala yang dihasilkan. Wani *et al.* (2012) menyatakan bahwa pati yang mengalami gelatinisasi antar sel-selnya akan berikatan kuat karena adanya interaksi antar ikatan hidrogen pati dengan ikatan hidrogen pada air. Semakin banyak sel pati yang tergelatinisasi maka semakin banyak sel yang berikatan. Selanjutnya apabila sejumlah air dikeluarkan (melalui proses pengeringan) maka akan terjadi rekristalisasi molekul pati yang akan mengubah tekstur pasta menjadi kristal.

Fonseca *et al.* (2014) menyatakan bahwa aplikasi proses termal pada suatu bahan dapat menyebabkan perubahan susunan molekul dari fase *amorf* menjadi fase kristal. Proses perubahan tersebut yang membuat tekstur beras lebih kompak. Hal ini merupakan keuntungan pada proses penggilingan karena akan menghasilkan rendemen butir kepala lebih tinggi. Berdasarkan hal tersebut maka rendemen butir kepala yang dihasilkan pada beras pratanak lebih tinggi dibandingkan kontrol. Hasil penelitian ini sesuai penelitian Graham-Acquaah *et al.* (2015) yang melaporkan terjadi peningkatan rendemen butir kepala pada seiring dengan lama pengukusan dimana rendemen butir kepala (*head rice yield*) yang dihasilkan untuk perlakuan kontrol, pengukusan 12.5 menit, dan 23 menit berturut-turut 36.3%, 41.8%, dan 49.5%, namun tidak berbeda nyata antar perlakuan lama pengukusan.

Simpulan

Suhu perendaman berpengaruh terhadap peningkatan kadar air gabah. Perendaman suhu 60°C secara signifikan meningkatkan kadar air gabah lebih cepat dibandingkan perendaman suhu 30°C. Perendaman gabah pada suhu 60°C selama 4 jam (kadar air $28.10 \pm 0.36\%$) dipilih sebagai kondisi perendaman dalam pengolahan beras pratanak pada penelitian utama. Proses pratanak meningkatkan rendemen giling dan mutu fisik beras pratanak. Beras pratanak memiliki rendemen giling 2.23 - 9.19% lebih tinggi dibandingkan kontrol.

Beras pratanak pada varietas Ciherang dan IR64 memiliki butir kepala lebih tinggi dibandingkan beras kontrol. Rendemen giling dan mutu fisik beras pratanak pada pengukusan 20 menit tidak berbeda nyata dengan pengukusan 30 menit. Kondisi proses pratanak yang direkomendasikan adalah perendaman gabah pada suhu 60°C selama 4 jam dan pengukusan selama 20 menit menggunakan gabah varietas Ciherang.

Daftar Pustaka

- Akhyar. 2009. Pengaruh proses pratanak terhadap mutu gizi dan indeks glikemik berbagai varietas beras Indonesia. Tesis. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Ayamdoo, J.A., B. Demuyakor, W. Dogbe, R. Owusu. 2013. Parboiling of paddy rice, the science and perception of it as practiced in Northern Ghana. *International Journal of Scientific and Technology Research* Vol.2(4): 13-18.
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2008. Persyaratan Mutu Beras Giling SNI 01-6128-2008. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Bhattacharya, K.R. 2004. Parboiling of rice. Dalam Champagne ET, editor. *Rice Chemistry and Technology*. Edisi ke-3. American Association Cereal Chemist Inc. Minnesota.
- Buggenhout, J., K. Brijis, I. Celus, J.A. Delcour. 2013. The breakage susceptibility of raw and parboiled rice: a review. *Journal of Food Engineering* Vol.117: 304-315.
- Ejebe, F., N. Danbaba, M. Ngadi. 2015. Effect of steaming on physical and thermal properties of parboiled rice. *European International Journal of Science and Technology* Vol.4(4): 71-80.
- Farouk, S.M., M.N. Islam. 1995. Effect of parboiling and milling parameters on break of rice grains. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America* Vol.26: 33-38.
- Fonseca, F.A., M.S.S Junior, P.Z. Bassinello, E.C. Eifert, D.M. Garcia, M. Caliari. 2014. Technological, physicochemical and sensory changes of upland rice in soaking step of the parboiling process. *Acta Scientiarum Technology* Vol.36(4): 753-760.
- Gariboldi, F. 1984. Rice Parboiling. Food and Agriculture Organization of the United Nation. Rome.
- Graham-Acquaah, S., J.T. Manful, S.A. Ndindeng, D.A. Tchatcha. 2015. Effects of soaking and steaming regimes on the quality of artisanal parboiled rice. *Journal of Food Processing and Preservation*. doi: 10.1111/jfpp.12474. ISSN 1745-4549: 1-11.
- Hasbullah, R., R.D.P. Pramita. 2013. Pengaruh lama perendaman terhadap mutu beras pratanak pada varietas IR 64. *JTEP Jurnal Keteknik Pertanian* Vol.27(1): 53-60.

- Haryadi. 2008. *Teknologi Pengolahan Beras*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Itoh, K., S. Kawamura, Y. Ikeuchi. 1985. Processing and milling of parboiled rice. *Journal of the Faculty of Agriculture, Hokkaido University* Vol.62(3): 312-324.
- Miah, M.A.K., A. Haque, M.P. Douglass, B. Clarke. 2002a. Parboiling of rice part I: effect of hot soaking time on quality of milled rice. *International Journal of Food Science and Technology* Vol.37: 527-537.
- Miah, M.A.K., A. Haque, M.P. Douglass, B. Clarke. 2002b. Parboiling of rice part II: effect of hot soaking time on the degree of starch gelatinization. *International Journal of Food Science and Technology* Vol.37: 539-545.
- Oli, P., R. Ward, B. Adhikari, P. Torley. 2014. Parboiled rice: understanding from a material science approach. *Journal of Food Engineering* Vol.124: 173-183.
- Ramalingam, N., S.A. Raj. 1996. Studies on the soak water characteristics in various paddy parboiling methods. *Bio-Resources Technology* Vol.55: 259-261.
- Sareepuang, K., S. Siriamornpun, L. Wiset, N. Meeso. 2008. Effect of soaking temperature on physical, chemical and cooking properties of parboiled fragrant rice. *World Journal of Agricultural Sciences* Vol.4(4): 409-415.
- Sodhi, N.S., N. Singh. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. *Food Chemistry* Vol.80: 99-108.
- Taghinejad, E., M.H. Khoshtaghaza, T. Suzuki, S. Minaei, T. Brenner. 2015. Quantifying the relationship between starch gelatinization and moisture-electrical conductivity of paddy during soaking. *Journal of Food Process Engineering* 2015: 1-11.
- Venkatachalapathy, N., R. Udhayakumar. 2013. Effects of continuous steaming on milling characteristics of two indica rice varieties. *Rice Science* Vol.20(4): 309-312.
- Wani, A.A., P. Singh, M.A. Shah, U. Schweiggert-Weisz, K. Gul, I.A. Wani. 2012. Rice starch diversity: effects on structural, morphological, thermal, and physicochemical properties – a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* Vol.11: 417-436.
- Widowati, S., B.A.S. Santosa, M. Astawan, Akhyar. 2009. Penurunan indeks glikemik berbagai varietas beras melalui proses pratanak. *Jurnal Pascapanen* Vol.6(1): 1-9.
- Wimberly, J.E. 1983. *Paddy Rice Postharvest Industry in Developing Countries*. International Rice Research Institute. Manila.

Halaman ini sengaja dikosongkan

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). JTEP terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi *online*. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energy alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makassar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), Dr.Ir. Lady Corrie Ch Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si. (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Mempelajari Tingkat Kematangan Buah Melon Golden Apollo Menggunakan Parameter Sinyal Suara

Study on Golden Apollo Melon Ripeness Level Using Acoustic Impulse Parameters

Waqif Agusta, Program Studi Teknologi Pascapanen, Institut Pertanian Bogor. Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680. Email: waqif.agusta@gmail.com

Usman Ahmad, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor. Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680. Email: uahmad2010@gmail.com

Abstract

Melon is a fruit with healthful and economic value. Determination of melon ripeness is still done manually by tapping, so that the measurement results are inconsistent, subjective, and slow. This research aims to study the melon ripeness level using the acoustic impulse response to fruit ripeness parameters at different ages and determine the acoustic parameters that play a role in distinguishing ripeness level of melon. The result showed, the character of the acoustic impulse is correlated to the time of harvest with $-0.5000 < r < 0.5000$. Magnitudes of the acoustic signal were positively correlated ($r = 0.5115$) to the flesh firmness. Based on the discriminant analysis, acoustic parameters that can predict melon ripeness are the frequency, short-term energy, and Mo. Regrouping result into four harvest times by quadratic discriminant function showed 67.27% sample of fruit could be grouped appropriately, while regrouping the samples into two groups, ripe and unripe fruits, showed 75.91% sample of fruits could be grouped correctly.

Keywords: *melon, ripeness, acoustic impulse*

Abstrak

Melon merupakan buah dengan kandungan gizi dan nilai ekonomi tinggi. Penentuan kematangan buah ini masih dilakukan secara manual dengan mengetuk, sehingga hasil pengukuran tidak konsisten, subjektif, dan lambat. Penelitian ini bertujuan mempelajari tingkat kematangan buah melon menggunakan respon impuls akustik buah melon terhadap parameter kematangan buah pada empat umur panen yang berbeda serta menentukan parameter akustik yang berperan dalam membedakan tingkat kematangan buah melon. Hasil penelitian menunjukkan, karakter sinyal gelombang suara berkorelasi terhadap umur panen buah melon dengan $-0.5000 < r < 0.5000$. Magnitud gelombang suara berkorelasi positif ($r = 0.5115$) terhadap kekerasan daging buah. Berdasarkan hasil analisis diskriminan, parameter gelombang suara yang mampu membedakan kematangan buah melon dengan baik adalah frekuensi, *short term energy*, dan Mo. Hasil klasifikasi ulang ke dalam empat kelompok umur panen buah melon menggunakan fungsi diskriminan kuadratik menunjukkan sejumlah 67.27% sampel buah dapat dikelompokkan dengan tepat berdasarkan umur panennya, sedangkan tingkat keberhasilan pengelompokan ke dalam dua kelompok buah melon matang dan buah melon belum matang adalah sebesar 75.91%.

Kata kunci: melon, kematangan, impuls akustik

Diterima: 4 Nopember 2015; Disetujui: 13 Mei 2016

Pendahuluan

Peningkatan produksi dan permintaan terhadap buah melon, khususnya jenis *golden*, belum diimbangi dengan penanganan panen dan pascapanen yang optimal. Penentuan waktu panen berdasarkan umur tanaman yang dilakukan secara serentak menyebabkan keseragaman tingkat kematangan buah saat panen masih sangat dipertanyakan. Kematangan buah dapat

diidentifikasi berdasarkan perubahan sifat fisikokimianya. Salah satu parameter penting dalam penentuan kematangan adalah tingkat kekerasan daging buah. Seperti diketahui, tekstur daging buah akan semakin lunak seiring dengan bertambahnya umur buah tersebut, apalagi setelah buah dipanen.

Metode sederhana seperti pengetukan menggunakan telapak tangan atau benda lain, sering dilakukan oleh para petani. Namun, hal ini bersifat subjektif. Metode ini disebut metode

respon impuls akustik. Pengembangan metode ini telah banyak dilakukan untuk meningkatkan akurasi pengamatan tingkat kematangan buah. Sri *et al.* (2007) mendeteksi tingkat kematangan buah semangka merah dengan menganalisa spektrum bunyi ketukan terhadap buah tersebut. Hasilnya menunjukkan semakin matang daging buah, maka semakin rendah frekuensi dominannya. Gomez *et al.* (2006) mengamati perubahan tingkat kematangan buah jeruk mandarin berdasarkan perubahan kekerasan selama penyimpanan menggunakan metode respon impuls akustik. Hasil penelitiannya mengindikasikan bahwa metode ini mampu mengidentifikasi dengan baik tingkat kematangan buah jeruk mandarin dan dapat dijadikan pengganti metode pengukuran secara destruktif.

Metode evaluasi perubahan kekerasan buah secara non-destruktif berdasarkan sinyal gelombang bunyi ketukan yang diterima oleh sensor piezoelektrik, mikrofon, maupun perangkat akselerometer telah banyak dilakukan terhadap berbagai jenis buah selepas panen, seperti: apel (Yamamoto *et al.* 1980; Chen dan De Baerdemaeker 1993; Chen *et al.* 1992), tomat (Duprat *et al.* 1997), alpukat (Peleg *et al.* 1990; Galili *et al.* 1998), dan pir (Wang 2004; Wang *et al.* 2004). Evaluasi non-destruktif menggunakan metode ini juga telah banyak diterapkan pada buah melon. Mizrach *et al.* (1994) mengevaluasi parameter fisikokimia buah melon, seperti: kekerasan, berat kering, dan total padatan terlarut (TPT) berdasarkan karakter akustik buah melon tersebut. Hayashi *et al.* (1992) menemukan bahwa bentuk sinyal gelombang akustik dapat digunakan untuk menduga tingkat kematangan buah melon dengan nilai korelasi (r) antara kecepatan transmisi gelombang terhadap kekerasan buah sebesar 0.83. Sugiyama *et al.* (1994) mempelajari hubungan antara kecepatan transmisi gelombang terhadap kekerasan buah melon. Mereka melaporkan, kecepatan transmisi gelombang mengalami penurunan ketika buah melon semakin matang. Sementara itu, Kuroki *et al.* (2006) mengembangkan instrumen berbasis teknik getaran akustik untuk mengevaluasi kematangan buah melon di dalam rumah kaca.

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari tingkat kematangan buah melon menggunakan respon impuls akustik buah melon terhadap parameter kematangan buah pada umur panen yang berbeda serta menentukan parameter akustik yang berperan dalam membedakan tingkat kematangan buah melon.

Bahan dan Metode

Bahan utama yang digunakan adalah buah melon varietas Golden Apollo yang diperoleh dari petani di daerah Sragen, Jawa Tengah. Buah melon dipanen secara bertahap dan disortasi langsung di

lahan, kemudian diangkut ke laboratorium untuk dilakukan pengujian. Buah melon yang digunakan terdiri dari empat umur panen, yaitu: 46 HST (hari setelah tanam), 53 HST, 60 HST, dan 67 HST dengan jumlah masing-masing 55 buah.

Pengukuran Respon Impuls Akustik

Untuk memperoleh karakter impuls gelombang akustik pada masing-masing waktu panen, buah melon diketuk menggunakan bandul berbahan akrilik ($\emptyset = 4$ cm, $m = 18$ g) dengan sudut penketukan sebesar 90° . Buah melon dan bandul diposisikan menggantung pada rangkaian besi dengan jarak 25 cm. Penketukan dilakukan pada jarak 40 cm dengan pengulangan masing-masing tiga kali, sedangkan ujung mikrofon diletakkan 2 cm dari permukaan buah. Rekaman suara ketukan dianalisis menggunakan *software* Matlab.

Fitur audio dikelompokkan menjadi dua, yaitu: fitur audio berdomain waktu dan fitur audio berdomain frekuensi (Giannakopoulos dan Pikrakis 2014). Fitur audio berdomain waktu yang dianalisis dalam penelitian ini adalah besarnya energi jangka pendek (*short term energy*). Sedangkan fitur berdomain frekuensi yang dianalisis, antara lain: frekuensi, *magnitud*, dan *power spectral density*. Energi jangka pendek dihitung menggunakan Persamaan (1) terhadap sinyal analog berdomain waktu.

$$E(i) = \frac{1}{W_L} \sum_{n=1}^{W_L} [x(n)]^2 \quad (1)$$

keterangan: $E(i)$ = Energi sinyal jangka pendek
 $x(n)$ = Urutan sampel frame sinyal ke- i , $n = 1, \dots, W_L$
 W_L = Panjang frame sinyal

Frekuensi (f), *magnitud* (M), dan *power spectral density* dihitung setelah dilakukan transformasi *fourier* terhadap spektrum sinyal berdomain waktu, sehingga didapatkan spektrum sinyal berdomain frekuensi. Gambar 1(a) menunjukkan bentuk spektrum gelombang suara hasil penketukan buah melon. Frekuensi sinyal gelombang didapatkan dari nilai frekuensi saat *magnitud* gelombang mencapai nilai tertinggi. *Magnitud* gelombang yang diambil adalah *magnitud* gelombang maksimum. Nilai M_0 ditentukan dari jumlah luasan di bawah kurva PSD (Gambar 1(c)) yang dapat dihitung menggunakan integrasi numerik. PSD adalah hasil transformasi hubungan antara *amplitude* dengan waktu perambatan gelombang suara.

Pengukuran Kekerasan Daging Buah Melon

Kekerasan daging buah melon diukur menggunakan Rheometer. Sebelum digunakan, alat diatur pada kondisi mode: 20; R/H (hold): 10.00 mm; P/T (Press): 60 mm/m; Rep.1: 1 x 60h; Max 10 kg. Dengan menggunakan probe nomor 38 ($\emptyset = 5$ mm).

Pengukuran Total Padatan Terlarut (Tpt)

Total padatan terlarut dalam daging buah diukur menggunakan *refractometer digital*, dimana daging buah melon dihaluskan terlebih dahulu dengan cara ditumbuk, kemudian diambil sarinya sebagai sampel pengujian.

Pengukuran Kadar Air (Aoac 2000)

Cawan yang akan digunakan dikeringkan terlebih dahulu dalam oven, didinginkan kemudian ditimbang. Sampel sebanyak 5 gram ditimbang dalam cawan, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105-110°C hingga berat bahan kering mencapai kondisi konstan. Kadar air bahan dihitung menggunakan persamaan berikut

$$\text{Kadar air} = \frac{A-B}{C} \times 100\% \quad (2)$$

keterangan: A = bobot wadah dan sampel sebelum dikeringkan (g)

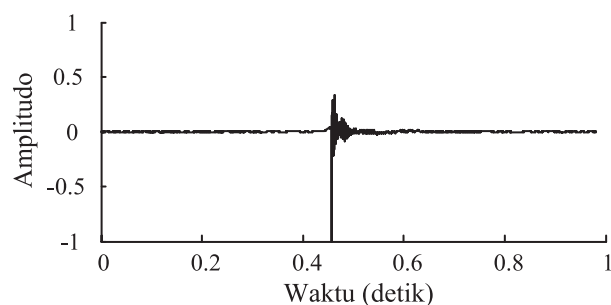
B = bobot wadah dan sampel setelah dikeringkan (g)

C = bobot contoh (g)

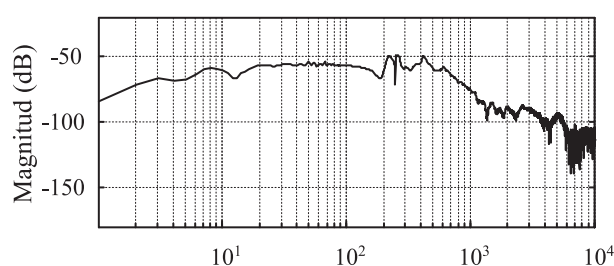
Analisis Data

Hasil pengukuran respon impuls akustik dan pengukuran parameter kematangan buah melon dianalisa menggunakan analisis korelasi untuk mengetahui hubungan di antara kedua kelompok hasil pengukuran tersebut. Korelasi antar parameter dalam kedua kelompok pengukuran tersebut dapat dilihat dari nilai koefisien *Pearson correlation* yang diperoleh. Selanjutnya dilakukan analisis diskriminan untuk mengelompokkan data hasil pengukuran pada masing-masing kelompok umur panen.

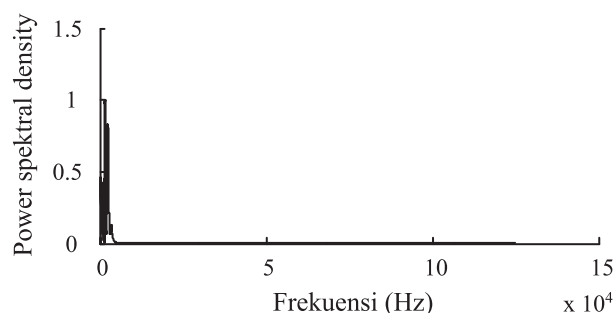
panen. Kekerasan daging buah melon pada umur 46 HST adalah $793.45 \pm 86.52 \text{ kN/m}^2$, angka ini terus mengalami penurunan hingga $463.83 \pm 63.94 \text{ kN/m}^2$ pada buah melon berumur 67 HST. Hal ini terkait erat dengan proses fisiologis dalam buah yang



(a)



(b)



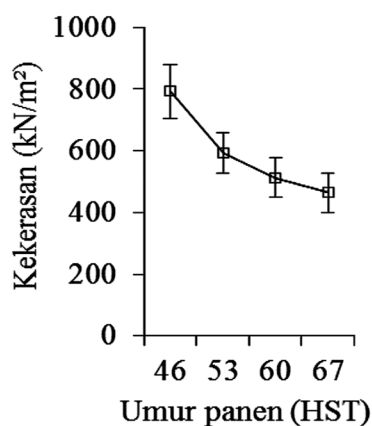
(c)

Gambar 1. Spektrum sinyal suara berdomain waktu (a), spektrum *magnitud* (b) dan *power spectral density* (c) berdomain frekuensi

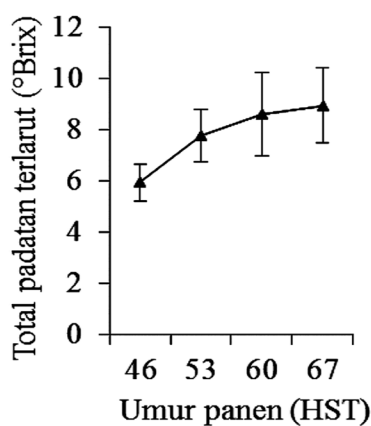
Hasil dan Pembahasan

Sifat Fisikokimia Buah Melon Golden Apollo

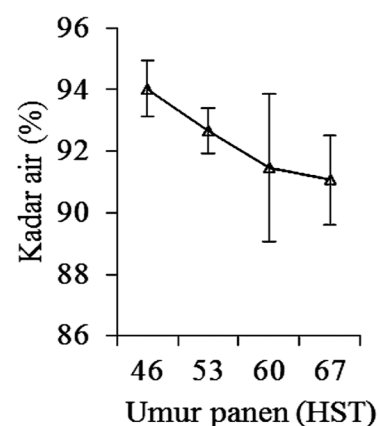
Kekerasan daging buah melon mengalami penurunan seiring dengan semakin tuanya umur



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. Perubahan kekerasan (a), TPT (b), dan kadar air (c) buah melon terhadap umur panen.

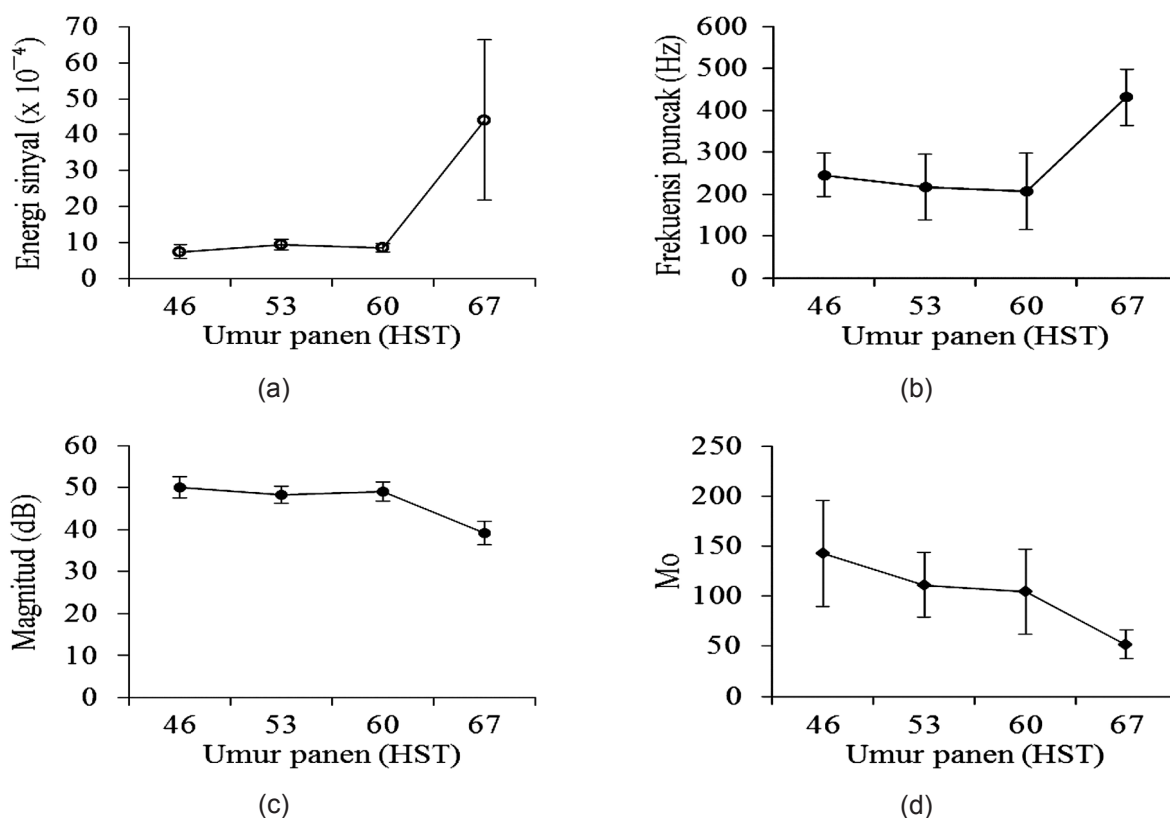
sangat berpengaruh terhadap perubahan fase buah dari belum matang menjadi matang. Perubahan juga terjadi pada nilai total padatan terlarut (TPT) dalam daging buah. TPT menunjukkan komponen padat yang terkandung dalam daging buah, yang secara tidak langsung mampu merepresentasikan tingkat kemanisan daging buah. Rata-rata nilai TPT buah melon mengalami peningkatan sesuai dengan umur panennya, yaitu dari $5.94 \pm 0.73^\circ\text{briks}$ pada umur 46 HST hingga $8.94 \pm 1.48^\circ\text{briks}$ pada umur 67 HST. Hasil pengukuran parameter sifat fisikokimia buah melon ditunjukkan oleh Gambar 2. Selain kekerasan dan TPT, Rata-rata kadar air daging buah melon juga mengalami perubahan. Perubahan kadar air daging buah melon berbanding terbalik terhadap umur panen. Semakin tua umur panen, rata-rata kadar air buah mengalami penurunan. Secara umum penurunan kadar air dalam buah dipengaruhi oleh aktivitas fisiologis (respirasi) dan kondisi lingkungan (transpirasi).

Ketiga parameter tersebut digunakan dalam menentukan tingkat kematangan buah. Parameter yang paling jelas dan sering dijadikan sebagai acuan oleh para petani adalah kekerasan dan nilai TPT. Berdasarkan kondisi nyata di lapangan, buah melon dianggap matang dan siap dipanen pada umur 60 HST dengan nilai TPT harapan diatas $^\circ\text{briks}$. Hasil pengukuran dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang sesuai dengan perkiraan waktu panen oleh petani, 60 HST, dimana rata-rata nilai TPT daging buah melon sebesar $8.59 \pm 1.62^\circ\text{briks}$.

Pengujian Respon Impuls Akustik Buah Melon

Sinyal analog berdomain waktu pada Gambar 1(a) dapat langsung digunakan untuk menghitung nilai energi dari sinyal. Untuk analisis lebih lanjut, dilakukan transformasi *fourier* untuk mengubah domain sinyal. Hasil tranformasi ini dapat digunakan untuk menentukan nilai frekuensi puncak, *power spectral density*, dan fitur suara lain yang berdomain frekuensi.

Short term energy dihitung menggunakan Persamaan (1). Hasil analisis *short term energy* pada setiap kelompok umur panen buah melon menunjukkan hasil yang variatif. Rata-rata energi sinyal hasil pengetukan buah melon berkisar $(7.47 \pm 1.87) \times 10^{-4}$ J hingga $(44.05 \pm 22.33) \times 10^{-4}$ J. Gambar 3(a) menunjukkan besarnya rata-rata *short term energy* dari sinyal suara pengetukan buah melon pada umur panen yang berbeda. *Short term energy* menunjukkan besarnya energi sinyal pada jangka waktu tertentu. Penentuan *short term energy* sangat berguna dalam membedakan karakter suatu sinyal suara. Energi sinyal berbanding lurus terhadap besarnya frekuensi dan panjang gelombang. Semakin tinggi frekuensi semakin besar energi dari sinyal tersebut. Jika dibandingkan dengan hasil pengukuran frekuensi (Gambar 3(b)), *short term energy* menunjukkan perbandingan lurus. Namun kenaikan nilai hasil pengukuran pada kelompok umur panen 67 HST seharusnya tidak terjadi. Secara teori frekuensi akan turun mengikuti semakin tuanya buah (Sri et al. 2007). Diperkirakan



Gambar 3. Perubahan nilai *short term energy* (a), frekuensi puncak (b), magnitud (c), dan Mo (d) terhadap waktu panen buah melon

Tabel 1. Koefisien korelasi Pearson antarparameter pengujian

Variabel	Umur panen	Kekerasan daging buah	TPT	Kadar air	Frekuensi	Magnitud	Short term energy	Mo
Umur panen	1							
Kekerasan daging buah	-0.8301	1						
TPT	0.6445	-0.6125	1					
Kadar air	-0.5930	0.5491	-0.7494	1				
Frekuensi	0.5249	-0.2709	0.2297	-0.2449	1			
Magnitud	-0.7137	0.5115	-0.3650	0.3250	-0.6018	1		
Short term energy	0.6393	-0.4350	0.3767	-0.3858	0.6101	-0.8389	1	
Mo	-0.6245	0.4956	-0.3583	0.2845	-0.2759	0.8214	-0.5608	1

terdapat faktor lain yang berpengaruh selain kondisi buah, seperti: kondisi lingkungan (kepadatan udara yang berbeda), atau kondisi sensor penangkap sinyal yang tidak sama dengan kondisi pengukuran sebelumnya.

Frekuensi puncak pada sinyal-sinyal hasil pengetukan buah melon cenderung mengalami penurunan dari 245.93 ± 51.89 Hz pada umur panen 46 HST hingga 207.48 ± 91.26 Hz pada umur panen 60 HST. Hal ini sesuai dengan hasil-hasil penelitian sebelumnya (Sri *et al.* 2007; Taniwaki *et al.* 2009; Taniwaki *et al.* 2010) yang menyatakan adanya penurunan frekuensi seiring dengan bertambahnya umur buah. Namun, hasil pengamatan pada 67 HST terjadi kenaikan rata-rata nilai frekuensi puncak (431.87 ± 66.94 Hz).

Frekuensi puncak adalah frekuensi sinyal saat *magnitud* gelombang mencapai nilai tertinggi. Nilai *magnitud* menyatakan kuat lemahnya bunyi ketukan. Rata-rata nilai *magnitud* sinyal-sinyal suara pada umur panen buah melon yang berbeda menunjukkan kecenderungan melemah seiring dengan semakin tua umur panen buah (Gambar 3(c)), yaitu dari 50.10 ± 2.59 dB pada umur panen 46 HST hingga 39.20 ± 2.82 dB pada umur panen 67 HST. Semakin rendah nilai *magnitud* maka intensitas bunyi ketukan semakin lemah. Hal ini terkait dengan perubahan tekstur daging buah melon. Semakin tua, tekstur daging buah melon semakin lunak, sehingga kemampuan untuk meredam suara semakin baik.

Parameter lain yang bisa didapatkan dari analisis sinyal suara adalah *power spectral density* (PSD) yang menunjukkan sebaran daya pada suatu spektrum gelombang. Luasan di bawah kurva PSD dikuantifikasi numerik dan dinyatakan sebagai nilai Mo. Mo menunjukkan besarnya energi sinyal yang ditransmisikan atau diteruskan pada suatu medium. Rata-rata nilai Mo pada penelitian ini menunjukkan penurunan seiring dengan semakin tua umur panen buah, yaitu dari 142.67 ± 53.13 pada umur panen 46 HST hingga 51.52 ± 14.35 pada umur panen 67 HST. Perubahan nilai tersebut berbanding lurus dengan penurunan rata-rata *magnitud* gelombang suara. Semakin kecil pantulan energi yang diterima

oleh mikrofon menunjukkan semakin besar energi yang diserap dan ditransmisikan oleh buah melon. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi fisik buah dan kondisi lingkungan saat pengujian. Gambar 3(d) menunjukkan rata-rata nilai Mo sinyal suara hasil pengetukan buah melon dengan umur panen yang berbeda.

Korelasi Parameter Impuls Akustik Terhadap Parameter Kematangan Buah Melon

Hasil uji korelasi menunjukkan hubungan yang variatif antar parameter (Tabel 1). Rata-rata kekerasan daging buah berkorelasi negatif terhadap umur panen buah dengan nilai $r = -0.8301$. Hal ini menunjukkan hubungan berbanding terbalik yang kuat antara kekerasan daging buah terhadap umur panen. Jika dibandingkan dengan dua parameter pengukuran destruktif lainnya, yaitu TPT ($r = 0.6445$) dan kadar air (-0.5930), seharusnya perubahan nilai kekerasan daging buah dapat dijadikan acuan yang lebih baik dalam menentukan umur panen optimum buah melon, meskipun secara tidak langsung, perubahan kekerasan daging buah berkorelasi pula dengan perubahan nilai TPT dan kadar air buah melon.

Hasil uji respon impuls akustik maupun uji parameter kematangan dapat digunakan untuk menduga umur panen buah melon. Korelasi positif nilai *magnitud* terhadap kekerasan daging buah melon menunjukkan adanya hubungan berbanding lurus di antara keduanya. Artinya, semakin rendah *magnitud* sinyal suara hasil pengetukan pada buah menunjukkan tekstur daging buah yang semakin lunak. Sama halnya dengan hubungan yang ditunjukkan nilai Mo terhadap kekerasan daging buah. Hasil penelitian ini menunjukkan rata-rata kekerasan daging buah semakin rendah seiring bertambahnya umur panen. Hal ini terkait erat dengan fase perkembangan buah akibat aktivitas fisiologis yang terus berlangsung mulai dari munculnya buah hingga mencapai fase masak optimum. Saat mencapai masak optimum inilah buah melon dapat dikonsumsi.

Nilai *magnitud* gelombang menunjukkan kuat lemahnya bunyi yang dihasilkan saat pengetukan

Tabel 2. Pengelompokan (empat umur panen) sampel buah menggunakan fungsi diskriminan kuadratik

Umur panen	46	53	60	67	Total	% tepat
46	33	13	9	0	55	60.00%
53	9	36	10	0	55	65.45%
60	9	22	24	0	55	43.64%
67	0	0	0	55	55	100.00%
Total	51	71	43	55	220	67.27%

Tabel 3. Pengelompokan sampel buah matang dan belum matang menggunakan fungsi diskriminan kuadratik

Kelompok	Matang	Belum matang	Total	% tepat
Matang	60	50	110	54.55%
Belum matang	3	107	110	97.27%
Total	63	157	220	75.91%

buah. Semakin tua umur buah, semakin lunak tekstur daging buahnya. Jika dihubungkan dengan kuat lemahnya bunyi ketukan, kondisi tekstur objek yang semakin lunak memungkinkan intensitas bunyi semakin bisa diredam. Sehingga, intensitas bunyi yang dipantulkan dan ditangkap oleh mikrofon akan semakin rendah.

Sedikit berbeda dengan nilai *magnitud*, Mo menunjukkan besarnya energi sinyal gelombang yang ditransmisikan melalui suatu medium tertentu. Dalam hal ini, yang menjadi medium adalah udara pada celah antara buah melon dan mikrofon sebagai penangkap sinyal suara ketukan. Rata-rata nilai Mo menurun sesuai dengan bertambahnya umur panen buah melon. Artinya, besarnya energi sinyal yang diterima oleh mikrofon semakin kecil. Dalam kasus ini, definisi energi yang ditransmisikan merupakan energi sinyal yang dipantulkan oleh buah melon dan diterima oleh mikrofon. Sisanya, energi sinyal ketukan lebih banyak diserap atau ditransmisikan oleh buah melon.

Pengelompokan Tingkat Kematangan Buah Melon

Hasil uji korelasi menjelaskan adanya hubungan antara parameter sinyal suara terhadap waktu. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan karakter sinyal suara (*short term energy*, frekuensi, *magnitud*, dan Mo) bisa dijadikan acuan untuk menduga tingkat kematangan buah melon Golden Apollo. Uji multikolinieritas, pada keempat variabel penduga, menunjukkan terdapat tiga variabel yang dapat dijadikan sebagai variabel penduga dalam fungsi diskriminan yang akan dibentuk, yaitu: frekuensi (f), *short term energy* (E), dan Mo. Ketiga variabel ini terpilih karena tidak terjadi multikolinier antar variabel. Hasil uji kenormalan multivariat menggunakan metode Q-Q plot (Johnson dan

Wichern 2007) menunjukkan data dalam ketiga variabel tersebut terdistribusi normal dengan nilai $t = 0.62727$. Nilai tersebut menyatakan terdapat 62.727% ($> 50\%$) data tersebar dalam garis lurus yang berarti data dalam ketiga variabel tersebut terdistribusi multinormal.

Hasil uji kesamaan matriks kovarian menggunakan statistik uji Box's menunjukkan data pada ketiga variabel tidak homogen, sehingga didapatkan kondisi dimana populasi data terdistribusi normal, namun matriks kovarian tidak homogen. Dengan kondisi tersebut, maka fungsi diskriminan yang dibangun adalah fungsi diskriminan kuadratik (Johnson dan Wichern 2007). Fungsi kuadratik hasil analisis diskriminan, pengelompokan berdasarkan umur panen buah melon, ditunjukkan oleh Persamaan (3) – (6). Dihasilkan empat fungsi yang mengelompokkan data menjadi empat kelompok umur panen, yaitu: 46, 53, 60, dan 67. Hasil pengelompokan menggunakan fungsi diskriminan kuadratik (Tabel 2) menunjukkan, pada umur panen 46 HST dari sebanyak 55 buah sampel sebanyak 60.00% sampel tepat dikelompokkan pada umur panen 46 HST. Pada umur panen 53 HST, sebanyak 65.45% sampel tepat dikelompokkan pada umur panen 53 HST. Sampel buah melon pada umur panen 60 HST, 43.64% tepat dikelompokkan pada umur panen 60 HST. Sedangkan, sampel buah pada umur panen 67 HST 100% dapat dikelompokkan dengan tepat pada umur panen 67 HST. Sehingga, rata-rata pengelompokan buah melon berdasarkan umur panen yang tepat adalah sebanyak 67.27 %.

$$D_{46} = 0.0512X_1 + 57640.4163X_2 + 0.1761X_3 - 0.0002X_1^2 + 32.5162X_1X_2 + 0.0002X_1X_3 - 29167363.1384X_2^2 - 154.7300X_2X_3 - 0.0004X_3^2 - 40.6895 \quad (3)$$

$$D_{53} = 0.0496X_1 + 102950.7632X_2 + 0.1472X_3 - 0.0001X_1^2 - 7.6652X_1X_2 - 0.0001X_1X_3 - 39730019.9852X_2^2 - 235.0013X_2X_3 - 0.0008X_3^2 - 77.3856 \quad (4)$$

$$D_{60} = -0.0182X_1 + 73358.9395X_2 + 0.1633X_3 - 0.0001X_1^2 + 32.6235X_1X_2 + 0.0004X_1X_3 - 39101609.5575X_2^2 - 129.9846X_2X_3 - 0.0006X_3^2 - 38.1240 \quad (5)$$

$$D_{67} = 0.0881X_1 + 2513.2044X_2 + 0.4058X_3 - 0.0001X_1^2 + 0.2457X_1X_2 + 0.0002X_1X_3 - 146564.2441X_2^2 - 25.7820X_2X_3 - 0.0036X_3^2 - 36.9654 \quad (6)$$

keterangan:

D_{46} = fungsi diskriminan untuk kelompok buah melon Golden Apollo dengan umur panen 46 HST

D_{53} = fungsi diskriminan untuk kelompok buah melon Golden Apollo dengan umur panen 53 HST

D_{60} = fungsi diskriminan untuk kelompok buah melon Golden Apollo dengan umur panen 60 HST

D_{67} = fungsi diskriminan untuk kelompok buah melon Golden Apollo dengan umur panen 67 HST

X_1 = frekuensi

X_2 = *short term energy*

X_3 = Mo

Berdasarkan kondisi di lapangan yang menyatakan buah melon dianggap matang dan siap dipanen pada umur 60 HST dengan nilai TPT harapan di atas 8°briks, maka dilakukan pengelompokan kembali. Dari empat kelompok umur panen dijadikan dua kelompok kematangan buah, yaitu kelompok buah belum matang (terdiri dari buah melon umur 46 HST dan 53 HST) dan kelompok buah matang (terdiri dari buah melon umur 60 HST dan 67 HST). Dengan pengelompokan ini dihasilkan dua fungsi diskriminan sebagai berikut:

$$D_{\text{matang}} = 0.0164X_1 + 807.4658X_2 + 0.0899X_3 - 0.00004X_1^2 + 3.0795X_1X_2 + 0.00002X_1X_3 - 192341.0058X_2^2 - 10.0069X_2X_3 - 0.0005X_3^2 - 10.0484 \quad (7)$$

$$D_{\text{belum matang}} = 0.0471X_1 + 67656.6913X_2 + 0.2505X_3 - 0.0001X_1^2 - 1.5354X_1X_2 + 0.0001X_1X_3 - 27362631.4147X_2^2 - 165.3539X_2X_3 - 0.0005X_3^2 - 49.7970 \quad (8)$$

keterangan:

D_{matang} = fungsi diskriminan untuk kelompok buah melon Golden Apollo matang

$D_{\text{belum matang}}$ = fungsi diskriminan untuk kelompok buah melon Golden Apollo belum matang

X_1 = frekuensi

X_2 = *short term energy*

X_3 = Mo

Hasil pengelompokan ulang ke dalam dua kelompok buah melon matang dan buah melon belum matang menggunakan fungsi diskriminan (Persamaan (6) dan (7)) ditunjukkan pada Tabel 3. Sebanyak 54.55% sampel buah matang dan 97.27% sampel buah belum matang dapat dikelompokkan dengan tepat. Sehingga, rata-rata ketepatan pengelompokan buah melon Golden Apollo berdasarkan kelompok buah matang dan buah belum matang adalah sebesar 75.91%. Ketepatan pengelompokan yang dihasilkan lebih baik dibandingkan ketepatan pengelompokan sebelumnya (berdasarkan umur panen buah).

Simpulan

Deteksi kematangan buah melon dapat dilakukan dengan variabel penduga berupa parameter sinyal suara pengetukan buah. Parameter sinyal suara ketukan buah memiliki korelasi cukup baik terhadap umur panen. Namun, berdasarkan hasil analisis diskriminan, parameter sinyal suara yang mampu menduga parameter kematangan dengan baik, antara lain: frekuensi (f), energi jangka pendek (E), dan Mo dengan ketepatan pengelompokan berdasarkan umur panen sebesar 67.27%. Sedangkan ketepatan pengelompokan berdasarkan kelompok buah matang dan buah belum matang adalah sebesar 75.91%.

Daftar Pustaka

- Chen H., J. De Baerdemaeker. 1993. Effect of apple shape on acoustic measurements of firmness. *J. Agr. Eng. Res.* 56: 253–266.
- Chen P., Z. Sun, L. Huanng. 1992. Factors affecting acoustic responses of apples. *Trans. ASAE.* 35: 1915–1992.
- Duprat F., M. Grotte, E. Pietri, D. Loonis. 1997. The acoustic impulse response method for measuring the overall firmness of fruit. *J. Agric. Engng. Res.* 66: 251–259.
- Galili N., I. Shmulevich, N. Benichou. 1998. Acoustic testing for fruit ripeness evaluation. *Trans. ASAE.* 41: 399–407.
- Giannakopoulos T., A. Pikrakis. 2014. Introduction to Suara Analysis. Academic Pressis an imprint of Elsevier.
- Gomez A.H., A.G. Pereira, J. Wang. 2006. Accoustic impulse response potential to measure mandarin fruit ripeness during storage. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.* 15: 24–30.
- Hayashi S., J. Sugiyama, K. Otobe, Y. Kikuchi, S. Usui. 1992. Nondestructive measurement for maturity of muskmelons by analysis of acoustic-signals. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology – Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi.* 39 (6): 465–470.

- Johnson R.A., Wichern D.W. 2007. Applied Multivariate Statistical Analysis 6th Ed. Pearson Education Inc.
- Kuroki S., M. Tohro, N. Sakurai. 2006. Monitoring of the elasticity index of melon fruit in a greenhouse. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* 75: 415–420.
- Mizrach A., N. Galili, D.C. Teitel, G. Rosenhouse. 1994. Ultrasonic evaluation of some ripening parameters of autumn and winter-grown 'Galia' melons. *Scientia Horticulturae* 56 (4): 291–297.
- Peleg K., U. Ben-Hanan, S. Hinga. 1990. Classification of avocado by firmness and maturity. *J. Text. Stud.* 21: 123–129.
- Sri W.S., Surtono, Arif, Hafidz, Fahmi M. 2007. Analisis spektrum frekuensi bunyi dari beragam daging buah dengan berbagai tingkat kematangan berbasis komputer. *J FMIPA Unila.* 13: 261-266.
- Sugiyama J., K. Otobe, S. Hayashi, S. Usui. 1994. Firmness measurement of muskmelons by acoustic impulse transmission. *Trans. ASAE.* 37 (4): 1235–1241.
- Taniwaki M., M. Takahashi, N. Sakurai. 2009. Determination of optimum ripeness foredibility of postharvest melons using nondestructive vibration. *Food Res. Int.* 42: 137–141.
- Taniwaki M., M. Tohro, N. Sakurai. 2010. Measurement of ripening speed and determination of optimum ripeness of melons by a nondestructive acoustic vibration method. *Postharvert Biology and Tech.* 56: 101-103.
- Wang, J. 2004. Mechanical properties of pear as a function of location and orientation. *Inter. J. Food Prop.* 7: 155–164.
- Wang J., B. Teng, Y. Yu. 2004. Pear dynamic characteristics and firmness detection. *Eur. Food Res. Technol.* 218: 289–294.
- Yamamoto H., M. Iwamoto, S. Haginuma. 1980. Acoustic impulse response method for measuring natural frequency of intact fruits and preliminary applications to internal quality evaluations of apples and watermelons. *J. Text. Stud.* 11: 117–136.

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). JTEP terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi *online*. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energy alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makassar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), Dr.Ir. Lady Corrie Ch Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si. (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Penggunaan Asam Askorbat dan Lidah Buaya untuk Menghambat Pencoklatan pada Buah Potong Apel Malang

The Use of Ascorbic Acid and Aloe vera to Inhibit Browning in Fresh-Cut 'Malang' Apple

Yohanes Aris Purwanto, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB.
Email: arispurwanto@gmail.com

Ririn Noerianty Effendi, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB.
Email: oesagi@gmail.com

Abstract

The objective of this study was to examine the use of ascorbic acid and aloe vera gel as anti browning agent for cut-fruit 'malang' apple fruit. The solution of 1% and 3% ascorbic acid, 5% and 10% aloe vera gel were used as anti browning solutions. A group of cut apple fruits were dipped in the solutions for 2 minutes and stored at 5°C. The result showed that dipping treatments in anti browning solutions could inhibit oxidation of polyphenol oxidase (PPO) indicated by Browning Index value. Ascorbic acid solution was more effective than that aloe vera gel. From two different percentage of ascorbic acid solutions, concentration of 3% resulted better inhibition than that of 1%.

Keywords: aloe vera gel, anti browning agent, ascorbic acid, cut-fruits, 'malang' apple

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan kajian penggunaan asam askorbat dan lidah buaya sebagai bahan anti pencoklatan untuk buah apel malang potong. Larutan asam askorbat dengan konsentrasi 1% dan 3% serta lidah buaya dengan konsentrasi 5% dan 10% digunakan sebagai larutan anti pencoklatan pada buah apel malang. Sampel buah apel malang potong direndam di larutan asam askorbat dan lidah buaya selama 2 menit dan selanjutnya disimpan di suhu 5°C. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pencelupan pada larutan *anti browning* dapat mempertahankan kecerahan apel potong selama penyimpanan dan dapat menghambat oksidasi *polyphenol oxidase* (PPO) yang ditunjukkan dengan nilai *Browning Index*. Larutan asam askorbat lebih efektif mencegah pencoklatan dibandingkan dengan lidah buaya. Untuk larutan asam askorbat, konsentrasi 3% lebih efektif mencegah pencoklatan dibandingkan dengan 1%.

Kata Kunci: anti pencoklatan, apel malang, asam askorbat, buah potong, lidah buaya

Diterima: 26 Agustus 2016; Disetujui: 27 September 2016

Pendahuluan

Peningkatan konsumsi buah telah mendorong munculnya inovasi dari produsen dan penjual buah untuk menjual buah segar dalam bentuk buah potong. Tidak semua buah bisa dijual dalam bentuk buah potong karena sifat dan karakteristiknya. Buah potong memiliki sifat mudah rusak dan mempunyai umur simpan yang pendek. Aktivitas metabolisme yang melibatkan oksigen dari lingkungan mempercepat proses kerusakan.

Indonesia mempunyai beragam buah tropika yang dapat dijadikan sebagai buah potong. Apel Malang merupakan salah satu yang dapat dijadikan buah potong. Apel Malang varietas *Rome beauty*

adalah buah yang banyak dibudidayakan di Indonesia, tetapi dalam perdagangan, apel malang kalah bersaing jika dibandingkan dengan jenis apel impor. Inovasi untuk menjual apel malang dalam bentuk buah potong ditujukan untuk diversifikasi produk. Buah apel potong mempunyai keterbatasan karena karakteristik buah apel yang sangat mudah mengalami perubahan warna menjadi coklat akibat oksidasi setelah mengalami proses pemotongan. *Browning*/pencoklatan ini memiliki pengaruh yang besar terhadap nilai jual karena mengurangi penampilannya. Pencoklatan ini dapat dicegah dengan metode kimia dan fisik, termasuk pengurangan suhu dan oksigen, penggunaan modifikasi atmosfer kemasan dan penerapan *anti*

browning yang bertindak untuk menghambat enzim (Ghidelli *et al.* 2013).

Pencoklatan secara enzimatis dipicu oleh reaksi oksidasi yang dikatalisis oleh enzim fenol oksidase (Rojas-Grau *et al.* 2006). Enzim tersebut dapat mengkatalisis reaksi oksidasi senyawa fenol yang menyebabkan perubahan warna menjadi coklat. Reaksi pencoklatan enzimatis ini tidak diinginkan karena pembentukan warna coklat pada buah atau sayur sering diartikan sebagai penurunan mutu. Enzim yang menyebabkan reaksi pencoklatan enzimatis adalah oksidase yang disebut *fenolase*, *fenoloksidase*, *tirosinase*, *polifenolase*, atau *katekolase*. Dalam tanaman, enzim ini lebih sering dikenal dengan *polifenol oksidase* (PPO). Substrat untuk PPO dalam tanaman biasanya asam amino tirosin dan komponen polifenolik seperti katekin, asam kafeat, pirokatekol/katekol dan asam klorogenat (Garcia dan Barret 2002). Supapvanich *et al.* (2011) melaporkan bahwa perubahan warna coklat menyebabkan penurunan kualitas dari apel Rose potong.

Cara untuk mengurangi pencoklatan dapat dilakukan dengan perendaman larutan sulfit, asam askorbat, asam sitrat, dan garam. Perendaman tersebut bertujuan untuk mengurangi reaksi antara enzim polifenolase, oksigen, dan senyawa polifenol yang bertanggung jawab dalam reaksi pencoklatan enzimatis (Syamsir *et al.* 2011). Penggunaan antioksidan melalui perlakuan pencelupan buah setelah pengupasan dan pemotongan merupakan metode yang umum untuk mengontrol pencoklatan buah dan sayur potong. Asam askorbat merupakan bahan *anti browning* yang biasa digunakan untuk menghindari reaksi pencoklatan (McEvily *et al.* 1992). Asam askorbat akan teroksidasi menjadi *dehydroascorbic acid* setelah waktu tertentu (Rojas-Grau *et al.* 2008). Saat ini, konsumen lebih memilih penggunaan bahan anti pencoklatan yang alami dibanding yang sintetis seperti madu (Jeon and Zhao 2005) dan jus apel (Chaisakdanugull *et al.* 2007) untuk mencegah pencoklatan pada buah dan sayur potong.

Asam askorbat (Son *et al.* 2001) dan lidah buaya (Serrano *et al.* 2006; Song *et al.* 2013; Supapvanich *et al.* 2016) dapat digunakan untuk mencegah reaksi pencoklatan karena bersifat *edible coating*. Lidah buaya digunakan karena mengandung komponen *glikomanan* yang mampu menghambat kerusakan setelah buah mengalami pemotongan. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan kajian proses penghambatan pencoklatan buah potong apel Malang dengan menggunakan bahan *anti browning* asam askorbat dan lidah buaya. Secara khusus tujuan penelitian ini adalah mengamati pengaruh pencelupan buah potong pada larutan lidah buaya dan larutan asam askorbat berbagai konsentrasi terhadap perubahan warna dan kualitas pada buah apel Malang potong yang disimpan pada suhu 5°C.

Metodologi

Persiapan bahan

Bahan yang digunakan adalah Apel Malang varietas *Rome Beauty* dan lidah buaya yang dibeli di pasar lokal, sedangkan asam askorbat konsentrasi 100% dalam bentuk bubuk diperoleh dari toko kimia. Konsentrasi larutan lidah buaya yang digunakan yaitu 5% dan 10%. Proses pembuatan larutan lidah buaya menggunakan *homogenizer* supaya larutan lidah buaya dapat tercampur secara homogen. Konsentrasi asam askorbat yang digunakan adalah 1% dan 3%. Buah apel sebelum dipotong, dilakukan pencucian dengan air matang dan dikupas. Ukuran pemotongan adalah dengan membagi apel kedalam 8 bagian sama besar. Sampel buah potong dicelup ke dalam larutan lidah buaya dan asam askorbat dan ditiriskan, selanjutnya disimpan pada lemari pendingin pada suhu 5°C. Setiap pengukuran dilakukan 3 kali ulangan.

Pengamatan

Parameter kualitas yang diamati adalah total padatan terlarut, kekerasan, susut bobot, kandungan vitamin C dan *Browning Index*. Pengamatan dilakukan setiap hari sampai hari ke 6. Jeong *et al.* (2008) melakukan pengamatan penyimpanan pada suhu 4°C sampai hari ke 7.

Total Padatan Terlarut (Javanmardi dan Kubota, 2006)

Total padatan terlarut diukur dengan menggunakan *Refractometer* (Atago, Jepang). Pengukuran total padatan terlarut menggunakan metode destruktif. Daging buah dihancurkan, kemudian sari buah diteteskan pada *Refractometer*. Total padatan terlarut dinyatakan dalam °Brix.

Kekerasan (Massolo *et al.* 2011)

Kekerasan sampel buah diukur menggunakan *Rheometer* (35-12-208, Sun Scientific Co., Ltd., Jepang) dengan ukuran *probe* 5mm. Setiap sampel ditekan dengan beban maksimal 10kg, kedalaman 50mm dan kecepatan penekanan 30mm/s. Beban penekanan maksimum yang terbaca pada alat merepresentasikan kekerasan sampel (kgf).

Susut Bobot

Pengukuran susut bobot (SB) menggunakan sampel yang sama. Susut bobot diukur berdasarkan berat sampel awal (w_i) dan pada saat penyimpanan (w_f). Susut bobot dihitung menggunakan persamaan 1 yang dinyatakan dalam bentuk persentase susut bobot.

$$SB = \frac{w_i - w_f}{w_i} \times 100\% \quad (1)$$

Vitamin C

Vitamin C diukur dengan metode titrasi menggunakan larutan iodine dan indikator amilum.

Pertama, sampel ditimbang 10g, selanjutnya dipotong menjadi lebih kecil dan dimasukan ke dalam blender dengan ditambahkan 100ml air destilata. Sampel yang telah dihancurkan kemudian dimasukkan ke labu ukur 250ml dan ditera dengan air destilata sampai batas tera untuk selanjutnya disaring sampai 25ml. Filtrat yang diperoleh sebanyak 25ml dimasukkan ke labu *erlenmeyer* dan ditambahkan 1ml larutan kanji 10%. Selanjutnya dilakukan titrasi secara perlahan dengan larutan iodine sampai mencapai titik akhir, yaitu berwarna biru yang bertahan selama 15 detik. Jumlah larutan iodine yang terpakai pada proses titrasi digunakan untuk menghitung kadar vitamin C (persamaan 2).

$$A = \frac{ml \text{ yod } 0.01 N \times 0.88 \times P \times 100}{\text{bobot sampel (g)}} \quad (2)$$

dimana :

A = mg asam askorbat/vitamin C per 100g sampel

P = jumlah pengenceran

Warna (Hung et al. 2011)

Warna diukur berdasarkan parameter a, dimana -a yang menunjukkan warna yang mendekati hijau, sedangkan nilai +a menunjukkan warna mendekati merah. Kecerahan diukur berdasarkan intensitas warna L dengan menggunakan *Chromameter* Minolta CR-400. Nilai a yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menentukan *Browning Index* (BI). Semakin tinggi nilai BI menunjukkan semakin tinggi intensitas warna coklat pada produk. Berdasarkan Zhang et al. (2008), nilai BI diperoleh menggunakan persamaan 3.

$$BI = \frac{x - 0.31}{0.172} \times 100 \quad (3)$$

x adalah *chromaticity coordinate* (a) yang diperoleh dari pembacaan *Chromameter*.

Analisis Statistik

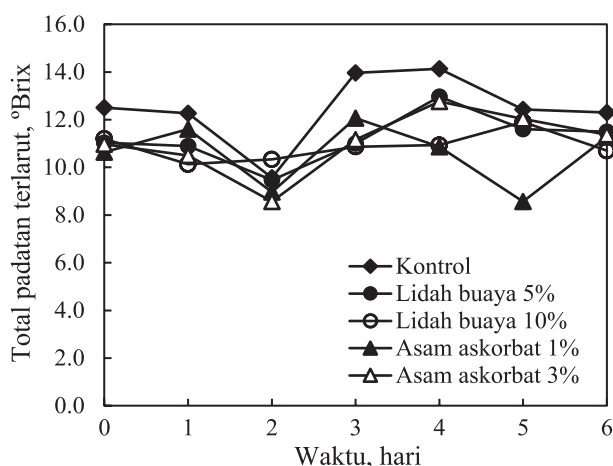
Rancangan percobaan didasarkan pada faktor perbandingan konsentrasi asam askorbat dan lidah buaya yang terdiri atas lima taraf perlakuan, yakni P1 (kontrol), P2 (asam askorbat 1%), P3 (asam askorbat 3%), P4 (lidah buaya 5%), dan P5 (lidah buaya 10%). Rancangan percobaan menggunakan Rancangan Acak Lengkap. Data diolah menggunakan uji parametrik analisis keragaman (ANOVA) sedangkan uji lanjut yang dilakukan menggunakan uji Duncan.

Hasil dan Pembahasan

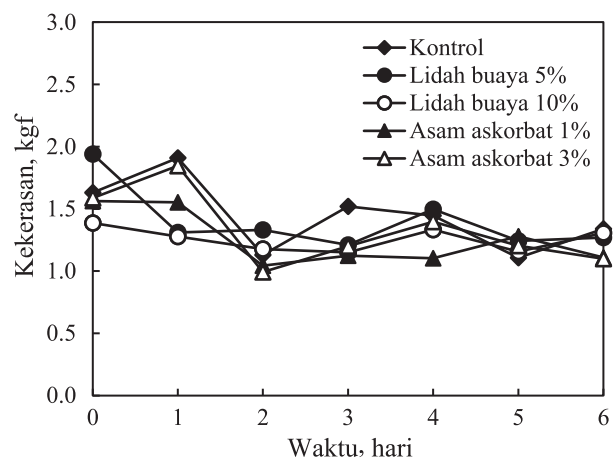
Total Padatan Terlarut

Secara umum, buah-buahan dan sayuran menyimpan karbohidrat untuk persediaan energi. Persediaan ini digunakan untuk melaksanakan aktivitas metabolisme, oleh karena itu dalam proses pematangan, kandungan gula dan karbohidrat

selalu berubah. Total padatan terlarut secara umum akan meningkat seiring pertambahan waktu penyimpanan, proses tersebut terjadi karena hidrolisis pati menjadi glukosa, fruktosa dan sukrosa. Setelah mengalami peningkatan, total padatan terlarut akan mengalami penurunan yang disebabkan karena sudah melewati tingkat kematangan. Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa total padatan terlarut cenderung meningkat dan setelah melewati titik puncak semakin menurun. Nilai total padatan terlarut pada P1 lebih tinggi jika dibandingkan dengan perlakuan penambahan asam askorbat dan lidah buaya. Uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa perlakuan pencelupan apel potong pada larutan berpengaruh nyata terhadap P1. Nilai rata-rata total padatan terlarut pada P2 memiliki nilai lebih rendah jika dibandingkan dengan P1, tetapi tidak berpengaruh nyata jika dibandingkan dengan P5 dan P3. P2 berpengaruh nyata apabila dibandingkan dengan P4. Nilai rata-rata total padatan terlarut pada P1 lebih tinggi dan berpengaruh nyata jika dibandingkan dengan P2, P3, P4 dan P5.



Gambar 1. Total padatan terlarut apel malang potong dengan perlakuan pencelupan larutan asam askorbat dan lidah buaya selama penyimpanan 6 hari di suhu 5°C.



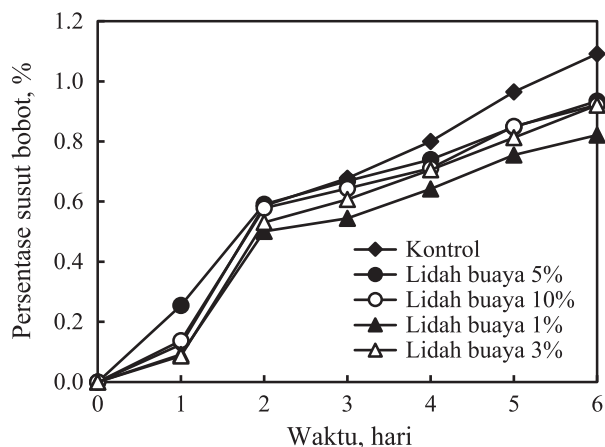
Gambar 2. Kekerasan apel malang potong dengan perlakuan pencelupan di larutan asam askorbat dan lidah buaya selama penyimpanan 6 hari di suhu 5°C.

Kekerasan

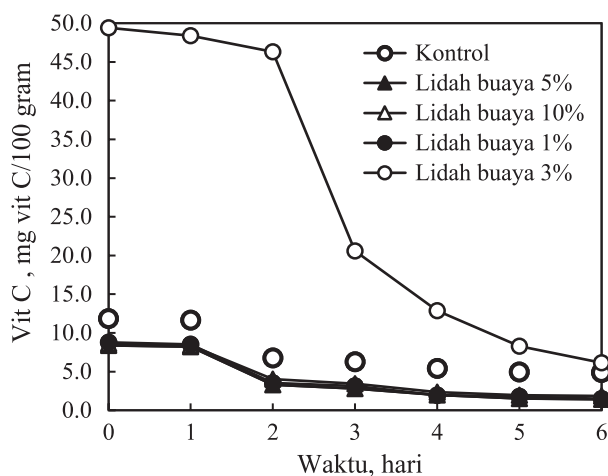
Nilai kekerasan buah semakin menurun seiring dengan proses pematangan buah, sehingga dapat menurunkan kualitas buah potong. Gambar 2 menunjukkan nilai kekerasan buah apel potong yang semakin menurun. Penurunan terjadi pada hari ke-1 setelah perlakuan. Berdasarkan analisis sidik ragam, perubahan kekerasan terhadap perlakuan tidak berpengaruh nyata. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan larutan asam askorbat dan larutan lidah buaya tidak terlalu mempengaruhi kekerasan apel malang potong.

Susut Bobot

Menurut Perera (2007) susut bobot terjadi karena penguapan air yang terkandung di dalam buah. Potongan yang terjadi pada buah mengakibatkan jaringan dalam buah terluka dan terkena udara sehingga terjadi penguapan air. Suhu internal buah yang tinggi menyebabkan selisih antara tekanan uap lingkungan dan buah menjadi besar.



Gambar 3. Susut bobot apel malang potong dengan perlakuan pencelupan larutan asam askorbat dan lidah buaya selama penyimpanan 6 hari di suhu 5°C.



Gambar 4. Vitamin C apel malang potong dengan perlakuan pencelupan larutan asam askorbat dan lidah buaya selama penyimpanan 6 hari di suhu 5°C.

Semakin besar selisih yang terjadi maka kecepatan laju perpindahan uap air akan semakin tinggi sehingga berpengaruh terhadap nilai susut bobot yang besar. Gambar 3 menunjukkan perubahan nilai susut bobot pada kontrol dan penambahan asam askorbat tidak berbeda signifikan, bahkan pada perubahan hari ke-0 menuju ke-1 nilai P2 dan P3 bernilai sama. Penyimpanan buah pada suhu rendah memperlambat perubahan susut bobot karena pada suhu rendah kecepatan uap air berkurang. Berdasarkan analisa sidik ragam, perubahan susut bobot terhadap perlakuan tidak berpengaruh nyata. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan larutan asam askorbat dan larutan lidah buaya tidak mempengaruhi perubahan susut bobot pada apel Malang potong.

Vitamin C

Perbedaan vitamin C yang dimiliki oleh apel yang diberi perlakuan dan kontrol, menunjukkan bahwa larutan masuk ke dalam jaringan buah atau melekat di permukaan buah potong. Menurut Xuetong *et al.*, (2005) nilai vitamin C yang lebih tinggi menunjukkan bahwa apel potong yang diberi perlakuan memiliki gizi yang lebih tinggi. Pada Gambar 4 terlihat bahwa nilai vitamin C meningkat secara signifikan, tetapi setelah penyimpanan 3 hari seperti pada P3, kadar vitamin C terus menurun dari 46.31mg/100g hingga 6.15mg/100g pada periode akhir penyimpanan. Menurut Gonzalez-Aguilar *et al.* (2005) penurunan terjadi dikarenakan asam askorbat dikonversi menjadi asam dehidroaskorbat dan selanjutnya terdegradasi menjadi 2.3 asam diketo-glukonat. P2, P4 dan P5 memiliki kandungan vitamin C lebih tinggi apabila dibandingkan dengan P1. Sama seperti P3, meskipun memiliki nilai yang lebih kecil setelah peningkatan vitamin C, tetapi setelah penyimpanan 3 hari nilai vitamin C menurun hingga menjelang akhir penyimpanan. Penurunan yang terjadi untuk semua perlakuan cenderung sama, dan memiliki nilai yang tidak berbeda jauh di akhir penyimpanan. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh pelapisan akan signifikan hingga hari ketiga.

Berdasarkan analisis sidik ragam yang dilakukan pada $P = 0.05$ dengan uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa perlakuan penambahan asam askorbat dan lidah buaya berpengaruh nyata terhadap P1 (kontrol) dan perlakuan lainnya. Pada P1 nilai rata-rata vitamin C paling rendah dan memiliki perbedaan yang sangat nyata jika dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Berdasarkan uji Duncan, nilai vitamin C menunjukkan perbedaan yang sangat nyata pada masing-masing perlakuan. Hal ini terjadi karena apel yang telah diberi perlakuan memiliki antioksidan yang lebih tinggi. Nilai vitamin C paling tinggi terdapat pada P3 (penambahan asam askorbat 3%). Larutan *anti browning* menyebabkan reaksi oksidasi menurun sehingga vitamin C berkurang lebih lambat.

Nilai BI

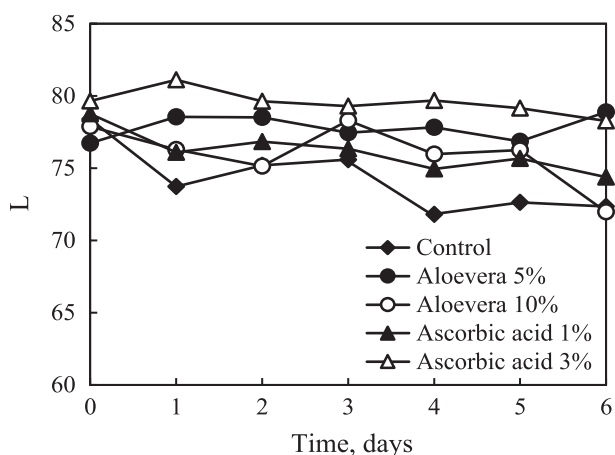
Jeong *et al.* (2008) melaporkan bahwa perubahan warna enzimatis sangat berkorelasi dengan jumlah fenolik. Hasil perhitungan yang diperoleh sangat tergantung pada metode pengukuran dan keadaan permukaan dari objek yang diperiksa (Kuczinsky *et al.*, 1992). Gambar 5 menunjukkan perubahan kecerahan buah potong. Nilai L adalah indikator yang berguna untuk mengukur kecerahan selama penyimpanan yang dihasilkan dari reaksi pencoklatan oksidatif atau dari peningkatan konsentrasi pigmen (Rocha dan Morais, 2003). Uji Duncan menunjukkan bahwa perlakuan penambahan asam askorbat dan lidah buaya berpengaruh nyata terhadap P1 dan perlakuan lainnya. Nilai rata-rata L merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kecerahan. Pada P1 nilai rata-rata L paling rendah dan memiliki perbedaan yang sangat nyata jika dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Nilai rata-rata L P5 berada di urutan ke-2 dan P4 pada urutan ke-3. Nilai rata-rata L pada P5 dan P4 tidak terlalu signifikan. Nilai rata-rata L yang paling tinggi ditunjukkan oleh P3, dan memiliki perbedaan yang nyata jika dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Nilai L cenderung menurun seiring bertambahnya waktu. Perubahan nilai L pada kontrol lebih rendah jika dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Hal ini dapat terjadi karena permeabilitas perlakuan kontrol yang tinggi terhadap oksigen dan menyebabkan jaringan buah dengan mudah teroksidasi, sehingga memicu terjadinya pencoklatan lebih cepat apabila dibanding dengan perlakuan penambahan larutan. Dapat disimpulkan bahwa perlakuan pelapisan dapat meningkatkan tingkat kecerahan. Hal ini membuktikan bahwa perlakuan pelapisan dapat menurunkan permeabilitas buah potong terhadap oksigen.

Gambar 6 menunjukkan perubahan nilai BI. Aktivitas enzim PPO berkorelasi terhadap nilai

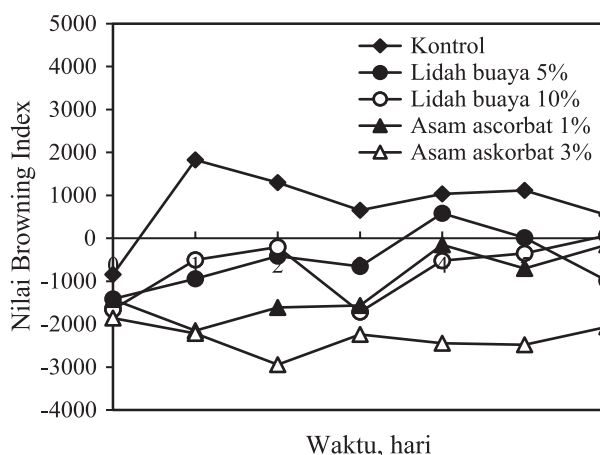
BI, semakin besar nilai BI maka aktivitas PPO akan semakin tinggi. Nilai BI dan L pada produk apel potong segar berhubungan dengan oksigen. Oksigen berperan penting dalam reaksi pencoklatan yaitu sebagai substrat pembantu (*co-substrate*), jika interaksi antara oksigen dan jaringan buah dapat ditekan, maka pencoklatan dapat diminimalisir. Berbeda dengan nilai BI, nilai aktivitas PPO akan menurun apabila nilai L (kecerahan) tinggi (Jeong *et al.* 2008). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan larutan asam askorbat lebih efektif dalam mencegah pencoklatan. Berdasarkan nilai BI, larutan asam askorbat 3% memiliki nilai yang lebih rendah apabila dibanding larutan 1%. Hal ini menunjukkan bahwa larutan 3% lebih efektif menghambat pencoklatan apel potong. Uji lanjut Duncan pengaruh *anti browning* dan kontrol terlihat nyata. Gambar 7 menunjukkan perubahan apel Malang potong selama penyimpanan.

Simpulan

Perlakuan pencelupan pada larutan *anti browning* asam askorbat dan lidah buaya dapat mencegah terjadinya pencoklatan pada buah apel Malang potong. Perubahan nilai BI pada kontrol lebih tinggi yaitu 802.32, jika dibandingkan dengan asam askorbat 3% yang memiliki nilai BI -2320.04. Hal ini disebabkan karena aktivitas enzim PPO pada perlakuan kontrol lebih tinggi sehingga menyebabkan terjadinya pencoklatan lebih cepat jika dibanding dengan perlakuan penambahan larutan. Larutan *anti browning* yang efektif digunakan dalam mencegah pencoklatan buah apel Malang potong adalah asam askorbat dengan konsentrasi 3%.



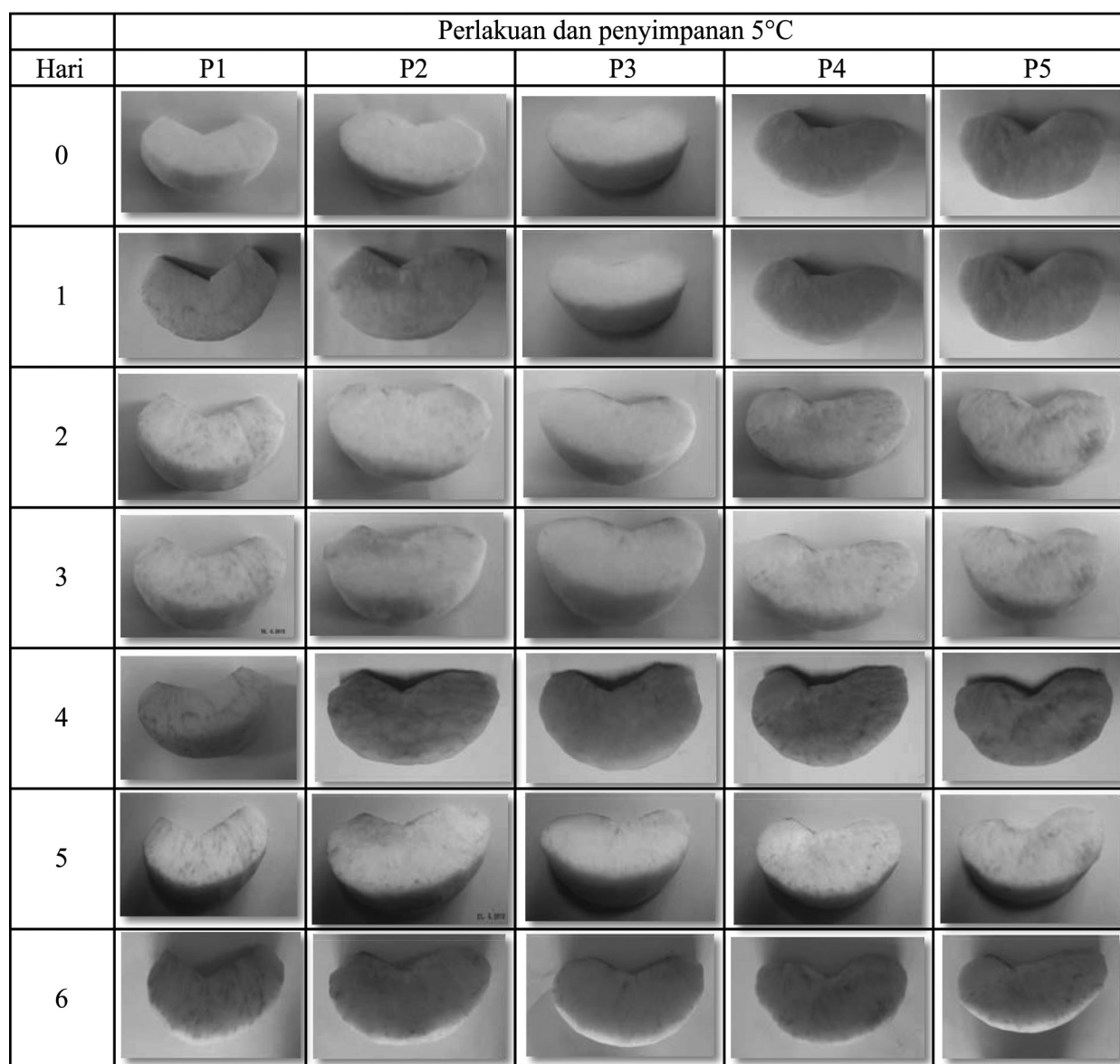
Gambar 5. Nilai L apel malang potong dengan perlakuan pencelupan larutan asam askorbat dan lidah buaya selama penyimpanan 6 hari di suhu 5°C.



Gambar 6. Nilai BI apel malang potong dengan perlakuan pencelupan larutan asam askorbat dan lidah buaya selama penyimpanan 6 hari di suhu 5°C.

Daftar Pustaka

- Chaisakdanugull, C., Theerakulkait, C., Wrolstad, R.E. 2007. Pineapple Juice and Its Fractions in Enzymatic Browning Inhibition of Banana [Musa(AAA Group) Gros Michel]. *J. Agric. Food Chem.* 55: 4252-4257.
- Jeon, M., Zhao, Y. 2005. Honey in combination with vacuum impregnation to prevent enzymatic browning of fresh-cut apples. *International Journal Food Science and Nutrition* 56: 165-176.
- Javanmardi, J., Kubota, C. 2006. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology* 42:151-155.
- Garcia, E., Barret, D.M. 2002. Preservative Treatments for Fresh-Cut Fruits and Vegetables. California: Dept. of Food Science and Technology.
- Ghidelli, C., Mateos, M., Rojas-Argudo, C., Pérez-Gago, M.B. 2013. Antibrowning effect of antioxidants on extract, precipitate, and fresh-cut tissue of artichokes. *LWT - Food Science and Technology* 51:462-468 (doi.org/10.1016/j.lwt.2012.12.009).
- Gonzalez-Aguilar, G.A., Ruiz-Cruz, S., Soto-Valdez, H., Vazquez-Ortiz, F., Pacheco-Aguilar, R., Chien, Y.W. 2005. Biochemical changes of fresh-cut pineapple slices treated with antibrowning agents. *International Journal of Food Science and Technology* 40:377-383.
- Hung, D.V., Tong, S., Tanaka, F., Yasunaga, E., Hamanaka, D., Hiruma, N., Uchino, T. 2011. Controlling the weight loss of fresh produce during postharvest storage under a nano-size mist environment. *Food Engineering* 106:325-330.



Gambar 7. Apel malang potong dengan perlakuan pencelupan larutan asam askorbat dan lidah buaya selama penyimpanan 6 hari di suhu 5°C.

- Jeong, H.L., Jin, W.J., Kwang, D.M., Kee, J.P. 2008. Effects of Anti-Browning Agents on Polyphenoloxidase Activity and Total Phenolics as Related to Browning of Fresh-Cut 'Fuji' Apple. *ASEAN Food Journal* 15 (1): 79-87.
- Kuczinsky, A., Varoquaux, P., Varoquaux, F. 1992. Reflectometric method to measure the initial colour and the browning rate of white peach pulps. *Science Aliment* 12: 213.
- Massolo, J.F., Concellon, A., Chaves, A.R., Vicente, A.R. 2011. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) delays senescence, maintains quality and reduces browning of non-climacteric eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 59:10-15.
- McEvily, A., Iyengar, R., Otwell, S. 1992. Inhibition of Enzymic Browning in Foods and Beverages. *Critical Review in Food Science and Nutrition* 32(3):253-273.
- Perera, C.O. 2007. Minimal Processing of Fruits and Vegetables. New York (US): CRC Press.
- Rocha, C.N., Morais, M.B. 2003. Shelf life of minimally processed apple (cv.Jonagored) determined by color changes. *Food Control* 14(1):13-20.
- Rojas Grau, M.A., Sobrino-Lopez, A., Tapia, M.A., Martin-Belloso, A. 2006. Browning Inhibition in Fresh-cut 'Fuji' Apple Slices by Natural Antibrowning Agents. *Journal of Food Science* Vol. 71, Issue 1.
- Rojas-Grau, M.A., Tapia, M.S., Martin-Belloso, O. 2008. Using polysaccharide - based edible coatings to maintain quality of fresh - cut Fuji apples. *Lebensm-wiss. Technol.* 41:139-147.
- Serrano, M., Valverde, J.M., Guillén, F., Castillo, S.M., Martínez-Romero, D., Valero, D. 2006. Use of *Aloe vera* Gel Coating Preserves the Functional Properties of Table Grapes. *J. Agric. Food Chem.*, 2006, 54 (11):3882-3886 (DOI: 10.1021/jf060168p)
- Son, S., Moon, K., Lee, C. 2001. Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. *Food Chem* 73(1):23-30.
- Song, H.Y., Jo, W.S., Song, N.B., Min, S.C., Song, K.B. 2013. Quality Change of Apple Slices Coated with *Aloe vera* Gel during Storage. *Food Science* Vol. 78, Issue 6:C817-C822 (DOI: 10.1111/1750-3841.12141).
- Supapvanich, S., Pimsaga, J., Srisujan, P. 2011. Physicochemical changes in fresh-cut wax apple (*Syzygium samarangense* [Blume] Merrill & L.M. Perry) during storage. *Food Chemistry* Vol. 127, Issue 3: 912-917 (DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.01.058).
- Supapvanich, S., Mitsang, P., Srinorkham, P., Boonyariththongchai, P., Wongs-Aree, C. J. 2016. Effects of fresh *Aloe vera* gel coating on browning alleviation of fresh cut wax apple (*Syzygium samarangense*) fruit cv. Taaptimjaan. *Food Sci Technol.* 53 (6): 2844-50 (DOI: 10.1007/s13197-016-2262-4).
- Syamsir, E., Taqi, F.M., Kusnandar, F., Adawiyah, D.R., Suyatma, N.E., Herawati, D., Hunaefi, D., Budi, F.S., Muhandri, T. 2011. Penuntun Praktikum Teknologi Pengolahan Pangan. Bogor (ID): Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Zhang, M., Cui, Y., Charles, M.T., Bondar, A., DeEll, J. 2008. Browning Index of New Apple Genotypes Developed for Fresh-cut and Processing. *Agriculture and Agrifood Canada* 306-311.
- Xuetong, F., Niemera, B.A., Mattheis, J., Zhuang, H., Olson, D.W. 2005. Quality of Fresh-cut Apple Slices as Affected by Low-dose Ionizing Radiation and Calcium Ascorbate Treatment. *Journal of Food Science* 70 :143-148.

Halaman ini sengaja dikosongkan

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). JTEP terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi *online*. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energy alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makassar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), Dr.Ir. Lady Corrie Ch Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si. (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Pengembangan Sistem Hidroponik untuk Budidaya Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum* L.)

*Development of A Hydroponic System for Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivation*

Yohanes Bayu Suharto, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Institut Pertanian Bogor.
Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680. Email: yohanes.bayu@yahoo.com
Herry Suhardiyanto, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: herrysto@yahoo.com
Anas Dinurrohman Susila, Departemen Agronomi dan Hortikultura, Institut Pertanian Bogor.

Abstract

Potato cultivation in Indonesia is mostly carried out in upper land with steep slope that also contribute a significant portion in annual volume of eroded soil. Hydroponic system could be an effective method for potato cultivation while avoiding soil erosion. The objective of this research was to design a hydroponic system for potato cultivation. Computational Fluid Dynamic (CFD) simulation was used to describe the root zone temperature distribution in a hydroponic bed. Potatoes was grown in hydroponic systems with different treatment of Electrical Conductivity (EC) values of nutrient solution, i.e. 1.8 mS and 2.5 mS. CFD simulation was capable to describe the distribution of fluid temperature inside the hydroponic bed accurately with R^2 value of 0.9837 and average error of 1.8%. Potato plants grown in hydroponic system performed well. It produced tubers although the root zone temperatures reached 30.4°C. Plants grown at EC value of nutrient solution 1.8 mS treatment produce the average number of tuber 4.3 tubers and average weight of tubers 77.2 g per plant. While that grown at nutrient solution with EC value of 2.5 mS produced the average number of tuber 4.6 tubers and average weight of tubers 60.0 g per plant. It was demonstrated that the hydroponic system could be used in potato cultivation for consumption tuber.

Keywords: *hydroponic system, potato cultivation, CFD simulation, root zone temperature*

Abstrak

Budidaya kentang di Indonesia umumnya dilakukan pada lahan miring di dataran tinggi sehingga memberikan kontribusi yang signifikan terhadap erosi tanah. Budidaya dengan sistem hidroponik dapat menjadi salah satu metode yang efektif untuk budidaya kentang yang dapat menekan terjadinya erosi tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang sistem hidroponik untuk budidaya tanaman kentang. Simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) digunakan untuk menggambarkan distribusi suhu daerah perakaran pada bedeng tanaman. Tanaman kentang ditanam pada sistem hidroponik dengan dua perlakuan nilai Daya Hantar Listrik (DHL) larutan nutrisi yang berbeda, yaitu 1.8 mS dan 2.5 mS. Simulasi CFD mampu menggambarkan distribusi suhu daerah perakaran pada bedeng tanaman secara akurat dengan nilai R^2 0.9837 dan rata-rata error sebesar 1.8%. Tanaman kentang dapat tumbuh dengan baik pada sistem hidroponik dan mampu menghasilkan umbi meskipun suhu daerah perakaran tanaman mencapai 30.4°C. Tanaman kentang yang ditanam dengan DHL larutan nutrisi 1.8 mS menghasilkan rata-rata jumlah umbi 4.3 umbi per tanaman dan rata-rata berat umbi 77.2 g per tanaman. Sementara tanaman kentang yang ditanam dengan DHL larutan nutrisi 2.5 mS menghasilkan rata-rata jumlah umbi 4.6 umbi per tanaman dan rata-rata berat umbi 60.0 g per tanaman. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem hidroponik dapat digunakan dalam budidaya tanaman kentang untuk produksi kentang ukuran konsumsi.

Katakunci: sistem hidroponik, budidaya kentang, simulasi CFD, suhu daerah perakaran

Diterima: 7 Januari 2016; Disetujui: 13 Mei 2016

Pendahuluan

Kentang (*Solanum tuberosum* L.) menjadi komoditi penting ke empat dunia setelah padi, jagung dan gandum (Sumartono & Sumarni 2013). Pada tahun 2012 produksi kentang nasional sebesar 1.069 juta ton. Sementara penggunaan kentang sebagai bahan makanan dan bibit serta yang tercecer bisa mencapai 1.18 juta ton pada tahun 2012. Konsumsi kentang oleh rumah tangga rata-rata meningkat sebesar 1.76% setiap tahunnya pada periode tahun 2002–2012. Perkembangan konsumsi kentang yang terus meningkat dari tahun ke tahun menyebabkan pemerintah harus mengimpor kentang untuk memenuhi kebutuhan kentang di Indonesia. Jumlah impor kentang yang masuk ke Indonesia mencapai 116 ribu ton pada tahun 2012 (Pusdatin 2013).

Meskipun telah lama dibudidayakan, namun produktivitas kentang di Indonesia masih tergolong rendah. Pada tahun 2012 produktivitas kentang hanya sebesar 16.58 ton/ha dari luas areal tanam 65,989 ha (BPS 2015). Sementara potensi hasil kentang dapat mencapai 25 ton/ha (Dianawati 2013). Menurut Sumarni *et al.* (2013a), penyebab rendahnya produktivitas kentang di Indonesia antara lain: (1) masih dibudidayakan secara konvensional, (2) lahan dataran tinggi yang sesuai untuk budidaya kentang semakin terbatas, dan (3) sebagai daerah tropika basah, Indonesia adalah daerah yang optimal bagi perkembangan hama dan penyakit tanaman kentang.

Peningkatan produktivitas dengan budidaya konvensional semakin sulit dilakukan karena luas lahan di dataran tinggi yang semakin terbatas, kondisi kesuburan tanah yang menurun, dan rentan terhadap erosi tanah. Menurut Henny *et al.* (2011), penanaman kentang pada lahan miring di dataran tinggi dengan sistem guludan yang searah lereng berkontribusi paling besar terhadap erosi tanah yaitu sebesar 22.94 ton/ha. Selain itu, Kusmantoro (2010) berpendapat bahwa tanaman kentang yang dibudidayakan secara monokultur sering menyebabkan terjadinya erosi. Semakin tinggi wilayah usaha tani, maka semakin besar risiko terjadinya erosi tanah. Oleh karena itu, perlu alternatif teknik budidaya untuk meningkatkan produktivitas kentang dan menekan terjadinya erosi tanah sebagai upaya konservasi lahan di dataran tinggi.

Pengembangan teknologi dalam budidaya kentang dengan sistem hidroponik menjadi salah satu alternatif yang dapat diterapkan untuk meningkatkan produktivitas kentang dan sebagai upaya konservasi lahan di Indonesia. Teknik budidaya secara hidroponik merupakan salah satu upaya untuk memperoleh produk pertanian yang berkualitas, sehat, bebas pestisida, seragam dan dapat dilakukan secara kontinyu. Menurut Sumartono & Sumarni (2013), keuntungan

budidaya secara hidroponik untuk produksi benih kentang antara lain: (1) hasil produksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan budidaya konvensional, (2) serangan hama dan penyakit tanaman lebih rendah, dan (3) kontrol nutrisi bagi tanaman lebih mudah dilakukan. Selain itu, kentang dapat dipanen secara kontinyu dalam upaya menyediakan suplai makanan yang berkelanjutan (Molders *et al.* 2012).

Produksi kentang untuk konsumsi di Indonesia pada umumnya masih dibudidayakan secara konvensional. Oleh karena itu, perlu dirancang sebuah sistem hidroponik dengan harapan mampu memberikan kondisi optimal bagi pertumbuhan kentang untuk dapat menghasilkan umbi dengan ukuran konsumsi dan memiliki kualitas serta kuantitas umbi yang lebih baik. Salah satu parameter yang menjadi masalah dan perlu diperhatikan dalam perancangan sistem hidroponik untuk budidaya kentang adalah distribusi suhu pada daerah perakaran. Suhu perakaran mempengaruhi proses fisiologi pada akar seperti penyerapan air, nutrisi, dan mineral. Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan stress pada tanaman dan terjadinya penghambatan inisiasi umbi. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk melihat dan memprediksi distribusi suhu pada daerah perakaran sistem hidroponik adalah dengan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) (Sumarni *et al.* 2013a).

Tujuan umum dari penelitian ini adalah merancang sistem hidroponik untuk budidaya tanaman kentang. Adapun tujuan khusus penelitian ini adalah menganalisis distribusi suhu di daerah perakaran pada sistem hidroponik menggunakan simulasi CFD dan menganalisis respon pertumbuhan dan hasil tanaman kentang yang ditanam secara hidroponik.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Maret sampai September 2015. Perancangan sistem hidroponik dan simulasi CFD dilakukan di Laboratorium LBP Departemen Teknik Mesin dan Biosistem IPB. Pembuatan sistem hidroponik dan penanaman kentang dilakukan di rumah tanaman tipe *arch* Unit Lapangan Percobaan University Farm IPB Pasir Sarongge yang berada pada ketinggian 1200 m dpl.

Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini terdiri atas multiplek (*plywood*), *styrofoam*, sekrap, plastik PE hitam, pipa PVC $\frac{3}{4}$ inch, pipa PE 5 mm, selang, emitter, kawat loket (*welded wiremesh*) $\frac{1}{2}$ inch, arang sekam, *rockwool*, *polybag*, ember, tangki air 120 liter, fungisida dengan bahan aktif Mankozeb 80 % dan Klorotalonil 75 %, dan

insektisida dengan bahan aktif Deltrametrin 25 g/l. Bibit kentang yang digunakan adalah bibit G2 kultivar Granola. Nutrisi yang digunakan adalah nutrisi hidroponik AB *Mix*.

Alat

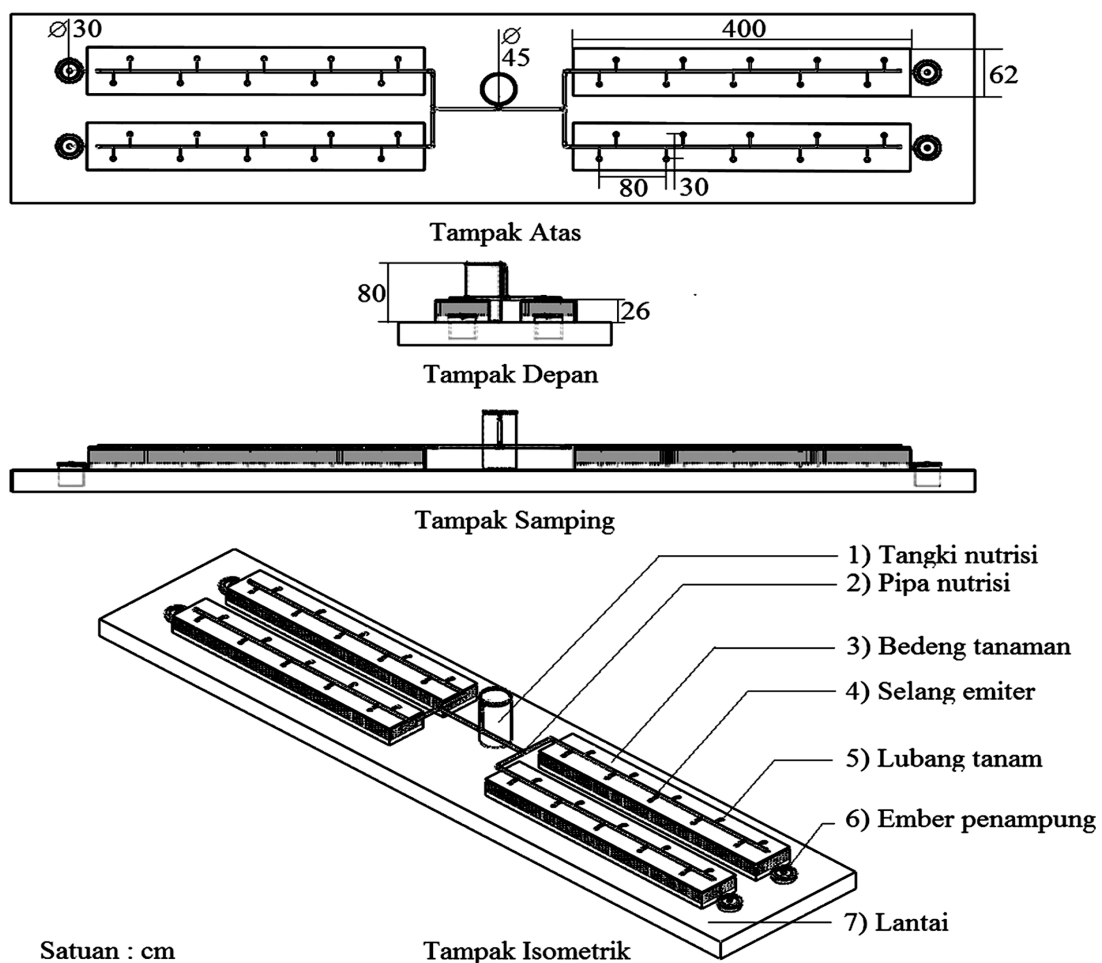
Alat-alat yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi peralatan perancangan dan pembuatan sistem hidroponik serta instrumen pengukuran. Peralatan untuk perancangan dan pembuatan sistem hidroponik terdiri atas seperangkat komputer, meteran, gunting, gergaji listrik, mesin bor tangan, tang potong, pompa air celup (tipe WP-3800) dan waterpass. Sedangkan instrumen pengukuran yang digunakan adalah gelas ukur 10 ml dan 1000 ml, *HybridRecorder* Yokogawa MV1000 untuk mengukur dan merekam data suhu, termokopel tipe T, EC meter (model COM-80), pH meter (model PH-108), *Light* meter (model LX-101A), *timer* (tipe TS-ED1), timbangan digital (Sonic® model JSC-B), penggaris dan kamera digital.

Konsep Desain Sistem Hidroponik

Sistem hidroponik yang dirancang merupakan kombinasi dari tiga sistem dasar hidroponik, yaitu sistem irigasi tetes (*drip irrigation system*), sistem sumbu (*wick*), dan sistem NFT (*nutrient film*

technique). Sistem hidroponik terdiri atas beberapa komponen, yaitu tangki nutrisi, pompa celup, pipa penyalur nutrisi, bedeng tanaman, dan ember penampung nutrisi. Dalam satu sistem terdapat empat bedeng tanaman (Gambar 1). Pada setiap bedeng tanaman terdapat sepuluh lubang tanam dengan jarak tanam 30 × 80 cm. Media tanam menggunakan rockwool dan diberi sumbu untuk membantu penyerapan nutrisi (Gambar 2).

Bedeng tanaman dibuat dari multiplek (*plywood*) dengan ketebalan 1.2 cm yang dilapisi dengan plastik PE hitam. Tutup bedeng tanaman dibuat dari *styrofoam* dengan ketebalan 2 cm. Bedeng memiliki dimensi panjang 400 cm, lebar 62 cm, dan tinggi 26 cm (Gambar 2). Di dalam bedeng tanaman diberikan keranjang berlubang (menggunakan kawat loket) yang berfungsi sebagai penahan umbi kentang yang terbentuk agar tidak terendam atau tergenang pada larutan nutrisi, namun akar tanaman masih bisa menembus keranjang untuk menyerap nutrisi secara NFT. Keranjang untuk umbi memiliki dimensi panjang 400 cm, lebar 60 cm, dan tinggi 19 cm. Di dalam bedeng tanaman juga terdapat pipa pembuangan yang berfungsi mengeluarkan larutan nutrisi yang berlebih agar tidak sampai merendam daerah perumbian kentang.



Gambar 1. Rancangan sistem hidroponik.

Simulasi Distribusi Suhu pada Bedeng Tanaman dengan CFD

Simulasi CFD dilakukan untuk melihat distribusi suhu larutan nutrisi dan daerah perakaran pada bedeng tanaman. Simulasi ini dilakukan dengan bantuan *software* Solidworks Premium 2011 yang sudah terintegrasi dengan *flow simulation*. Perangkat komputer yang digunakan memiliki spesifikasi CPU Intel Core i7, memori RAM 12 GB, dan sistem operasi 64-bit.

Simulasi dilakukan untuk melihat distribusi suhu bedeng tanaman pada kondisi suhu lingkungan rendah (pagi hari) dan tinggi (siang hari) pada dua fase pertumbuhan tanaman, yaitu fase vegetatif dan fase tuberisasi. Bentuk geometri bedeng tanaman untuk simulasi dibuat dengan skala 1:1 dengan ukuran yang sebenarnya yang memiliki panjang 400 cm, lebar 62 cm, dan tinggi 26 cm dengan ketebalan dinding dan alas 1.2 cm, sedangkan tutup bedeng memiliki ketebalan 2 cm (Gambar 3).

Simulasi dalam penelitian ini menggunakan tipe analisis internal dengan pengaruh gravitasi. Fluida yang digunakan adalah air (*water*) yang dianggap sebagai larutan nutrisi. Data input yang digunakan dalam simulasi diambil dari data pengukuran pada tanggal 24 Juni 2015 (fase vegetatif, 14 HST) dan 5 Agustus 2015 (fase tuberisasi, 56 HST). Data *input* kondisi awal dan kondisi batas dalam simulasi disajikan pada Tabel 1.

Validasi dilakukan dengan membandingkan

suhu udara dan suhu larutan nutrisi di dalam bedeng tanaman hasil pengukuran dengan hasil simulasi CFD. Keakuratan hasil simulasi dengan hasil pengukuran dinyatakan dalam persentase error yang dinyatakan dalam persamaan :

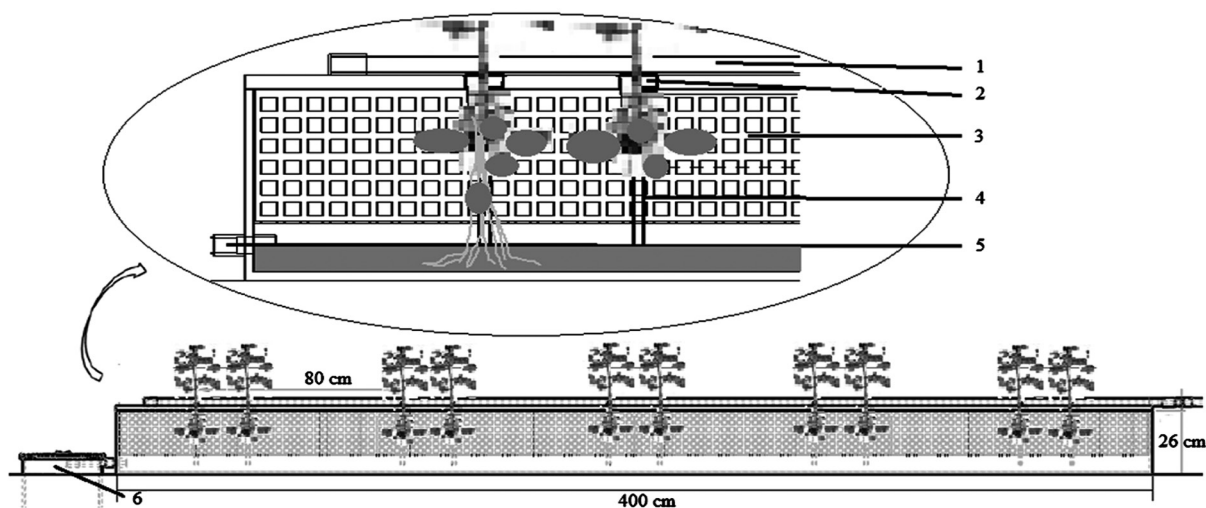
$$Error = \frac{|T_{simulasi} - T_{ukur}|}{T_{ukur}} \times 100\% \quad (1)$$

dimana $T_{simulasi}$ adalah suhu hasil simulasi (°C) dan T_{ukur} adalah suhu hasil pengukuran (°C).

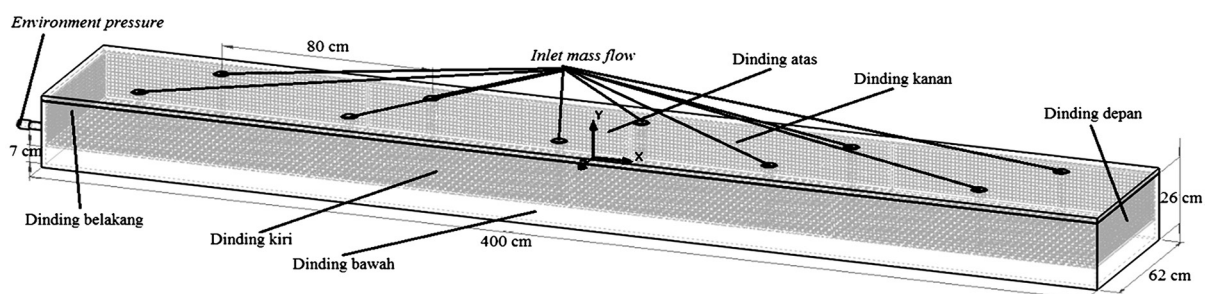
Teknik Budidaya dan Pengukuran

Budidaya kentang dilakukan pada sistem hidroponik yang dibangun. Umbi bibit kentang terlebih dahulu ditanam di polybag dengan media tanam arang sekam. Pada 8 hari setelah tanam (HST), tanaman kentang dipindahkan ke bedeng tanaman sistem hidroponik yang telah dibangun. Terdapat dua sistem hidroponik yang digunakan untuk dua nilai Daya Hantar Listrik (DHL) larutan nutrisi yang berbeda, yaitu 1.8 mS, dan 2.5 mS dengan pH larutan nutrisi 5.5 – 6.5. Larutan nutrisi yang digunakan adalah nutrisi AB *Mix* dengan perbandingan komposisi A:B adalah 1:1. Setiap hari nilai DHL larutan nutrisi dimonitor dan diukur secara manual. Apabila nilai DHL turun, maka larutan nutrisi ditambahkan larutan pekat hingga mencapai nilai DHL larutan nutrisi yang dikehendaki.

Pemeliharaan tanaman dilakukan untuk menjaga agar tanaman dapat tumbuh dengan baik.



Gambar 2. Bedeng tanaman : (1) pipa nutrisi, (2) rockwool, (3) keranjang, (4) sumbu, (5) pipa pembuangan, (6) ember penampung.



Gambar 3. Model geometri bedeng tanaman untuk simulasi CFD.

Tabel 1. *Input* kondisi awal dan kondisi batas.

Parameter	Fase Vegetatif		Fase Tuberisasi	
	Pagi	Siang	Pagi	Siang
Kondisi Awal				
Suhu lingkungan (°C)	16.3	26.9	16.4	28.5
Suhu larutan nutrisi (°C)	19.9	21.7	19.5	20.6
Tekanan udara (Pa)	101325	101325	101325	101325
Gravitasi (m/s ²)	9.81	9.81	9.81	9.81
Tanggal	24/06/2015	24/06/2015	5/08/2015	5/08/2015
Pukul (WIB)	06:00	12:00	06:00	12:00
Kondisi Batas				
<i>Inlet mass flow</i> (kg/s)	0.006	0.006	0.006	0.006
<i>Environment pressure</i> (Pa)	101325	101325	101325	101325
Suhu dinding depan (°C)	18.6	28.9	18.5	28
Suhu dinding belakang (°C)	17.5	28.9	17.5	30.5
Suhu dinding atas (°C)	20.0	29.4	19.4	28.6
Suhu dinding kanan (°C)	17.9	29.3	18.6	28.9
Suhu dinding kiri (°C)	18.3	28.9	18.5	27.6
Suhu dinding bawah (°C)	19.9	21.7	19.5	20.6
<i>Meshing</i>	3 (<i>default</i>)	3 (<i>default</i>)	3 (<i>default</i>)	3 (<i>default</i>)

Pemeliharaan yang dilakukan adalah penyemprotan fungisida dan insektisida untuk mencegah dan mengurangi serangan patogen dan hama pada tanaman kentang. Pengamatan dan pengukuran dilakukan mulai dari awal penanaman sampai panen. Parameter yang diukur antara lain : suhu, radiasi matahari, kelembaban udara relatif, tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah umbi, dan berat umbi. Pengukuran suhu, radiasi matahari, dan kelembaban udara relatif dilakukan pada saat fase vegetatif dan fase tuberisasi tanaman. Sementara tinggi tanaman dan jumlah daun diukur setiap satu minggu sekali mulai dari 8 HST sampai 57 HST karena sudah tidak terjadi pertambahan tinggi dan jumlah daun pada tanaman kentang. Sedangkan jumlah dan berat umbi diukur pada saat panen dilakukan, yaitu pada 76 HST.

Hasil dan Pembahasan

Iklim Mikro di dalam Rumah Tanaman

Kondisi iklim mikro di dalam rumah tanaman direpresentasikan dengan data hasil pengukuran suhu dan radiasi matahari pada saat fase vegetatif dan fase tuberisasi tanaman kentang. Pengukuran dilakukan pada tanggal 24 Juni 2015 (tanaman kentang berumur 14 HST) untuk fase vegetatif dan pada tanggal 5 Agustus 2015 (tanaman kentang berumur 56 HST) untuk fase tuberisasi. Suhu udara maksimum di dalam rumah tanaman pada saat fase vegetatif mencapai 28.6°C dan suhu minimum 16.3°C dengan rata-rata kelembaban udara relatif 69%. Sedangkan pada saat fase tuberisasi suhu maksimum mencapai 30.1°C dan suhu minimum 14.8°C dengan rata-rata kelembaban relatif 75%

(Gambar 4). Berdasarkan klasifikasi iklim Junghuhn, suhu udara pada daerah dengan ketinggian 600–1500 m dpl berkisar antara 17.1 – 22°C. Sehingga kondisi suhu di dalam rumah tanaman ini tergolong tinggi karena lokasinya yang berada di dataran tinggi dengan ketinggian sekitar 1200 m dpl.

Radiasi matahari maksimum yang masuk ke dalam rumah tanaman mencapai 351.77 W/m² pada saat fase vegetatif dan 498.88 W/m² pada saat fase tuberisasi. Radiasi matahari maksimum terjadi pada pukul 11:00, setelah itu terjadi penurunan radiasi matahari karena terhalang oleh awan (Gambar 4). Banyaknya awan yang terbentuk pada siang hari secara signifikan menurunkan radiasi matahari langsung yang masuk ke dalam rumah tanaman dan mencapai permukaan tanah. Peningkatan intensitas radiasi matahari pada pagi sampai siang hari juga meningkatkan suhu udara di dalam rumah tanaman secara signifikan. Namun, suhu udara masih tetap tinggi walaupun intensitas radiasi matahari menurun.

Suhu Daerah Perakaran Tanaman Kentang

Kondisi iklim mikro di dalam rumah tanaman mempengaruhi suhu di daerah perakaran tanaman. Suhu udara di dalam bedeng tanaman mengikuti pola suhu udara di dalam rumah tanaman. Peningkatan suhu udara di dalam bedeng tanaman terjadi mulai pukul 07:00 dan mencapai suhu maksimum pada suhu 29.8°C pada saat fase vegetatif dan 30.4°C pada saat fase tuberisasi. Sedangkan suhu air (larutan nutrisi) memiliki pola yang berbeda dengan suhu udara di dalam rumah tanaman. Suhu air terlihat relatif stabil pada pagi, siang dan malam hari, yaitu antara 19.3–23.3°C pada saat fase vegetatif dan 18.9–23.0°C pada saat fase tuberisasi

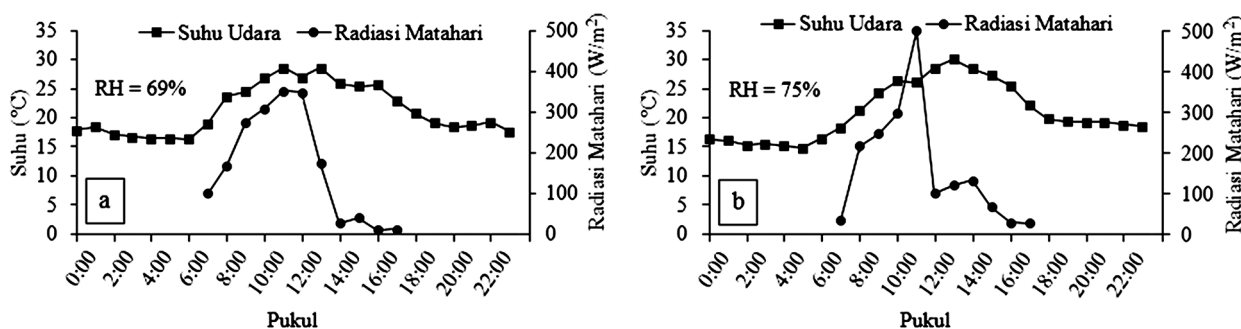
(Gambar 5). Kondisi ini menunjukkan bahwa suhu di daerah perakaran tanaman masih relatif tinggi bagi tanaman kentang. Tanaman kentang dapat tumbuh dengan baik pada lingkungan dengan suhu rendah, yaitu 15 – 20°C. Sementara, cekaman suhu tinggi dapat menghambat perkembangan umbi dan umbi yang dihasilkan akan berbentuk abnormal (Sumartono & Sumarni 2013).

Simulasi Distribusi Suhu pada Bedeng Tanaman dengan CFD

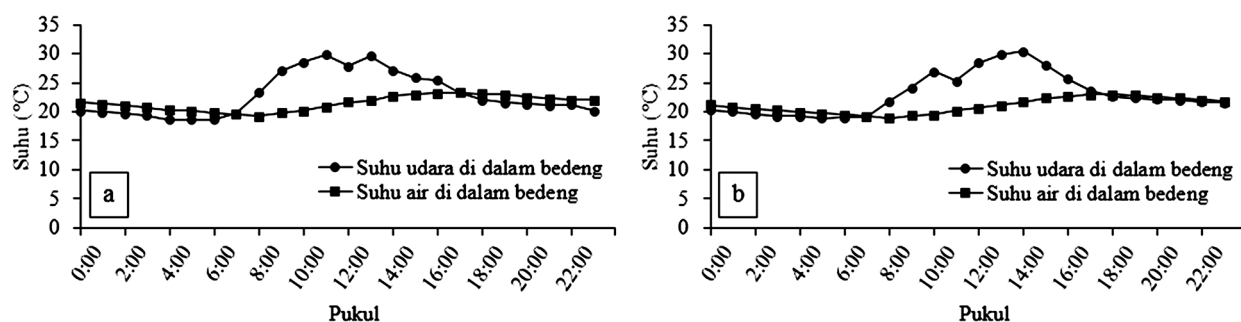
Jumlah *fluid cells* yang terbentuk pada proses simulasi CFD bedeng tanaman berjumlah 1,160,758 dengan *partial cells* berjumlah 1,318,794. Kondisi konvergen dicapai pada iterasi 1,110. Perbedaan nilai suhu pada bedeng tanaman hasil simulasi CFD digambarkan dengan gradasi warna yang berbeda. Nilai suhu terendah digambarkan dengan warna biru dan nilai suhu tertinggi dengan warna merah.

Keseragaman distribusi suhu pada bedeng

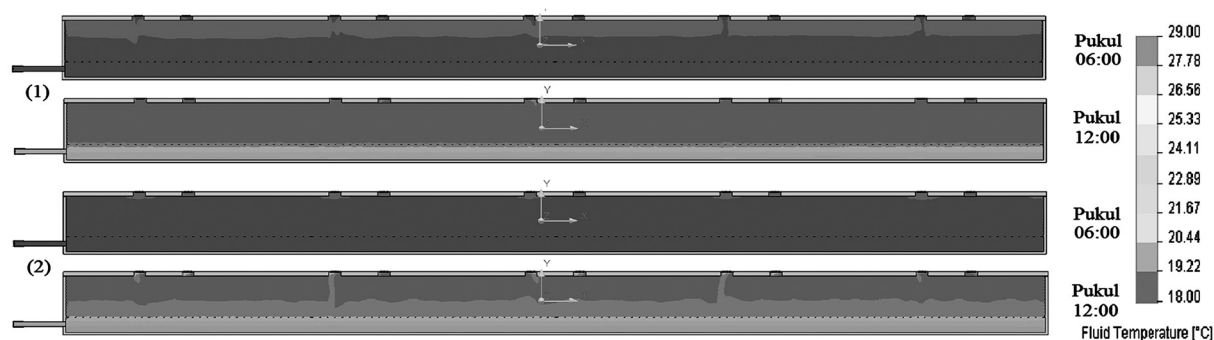
tanaman dapat dilihat dari pola kontur suhu yang disajikan secara tampak samping (Gambar 6). Hasil simulasi distribusi suhu pada bedeng tanaman dengan CFD menunjukkan perbedaan yang signifikan pada suhu daerah perakaran tanaman pada pagi dan siang hari. Rata-rata suhu udara hasil simulasi di dalam bedeng tanaman sebesar 19°C dan rata-rata suhu air (larutan nutrisi) hasil simulasi sebesar 19.69°C pada pagi hari. Sedangkan rata-rata suhu udara mencapai 28.34°C dan rata-rata suhu air (larutan nutrisi) sebesar 21.18°C pada siang hari. Suhu udara di daerah perakaran tanaman tidak jauh berbeda dengan suhu larutan nutrisi pada pagi hari. Namun, suhu udara menjadi lebih tinggi pada siang hari. Hal ini terjadi karena C_p udara (1.012 kJ/kg.K) lebih rendah dibandingkan C_p air (4.182 kJ/kg.K) sehingga suhu udara akan lebih cepat meningkat pada siang hari. Hasil simulasi CFD ini menunjukkan perlunya dilakukan modifikasi atau perlakuan pendinginan terbatas (*zone cooling*)



Gambar 4. Suhu udara dan radiasi matahari di dalam rumah tanaman: (a) fase vegetatif dan (b) fase tuberisasi.



Gambar 5. Suhu pada daerah perakaran tanaman kentang: (a) fase vegetatif dan (b) fase tuberisasi.



Gambar 6. Distribusi suhu pada bedeng tanaman hasil simulasi tampak samping: (1) fase vegetatif dan (2) fase tuberisasi.

Tabel 2. Rata-rata jumlah dan berat umbi per tanaman.

Perlakuan DHL	Jumlah Umbi per Tanaman	Berat Umbi per Tanaman (g)
1.8 mS	4.3 ±1.1	77.2 ±22.8
2.5 mS	4.6 ±0.8	60.0 ±15.6

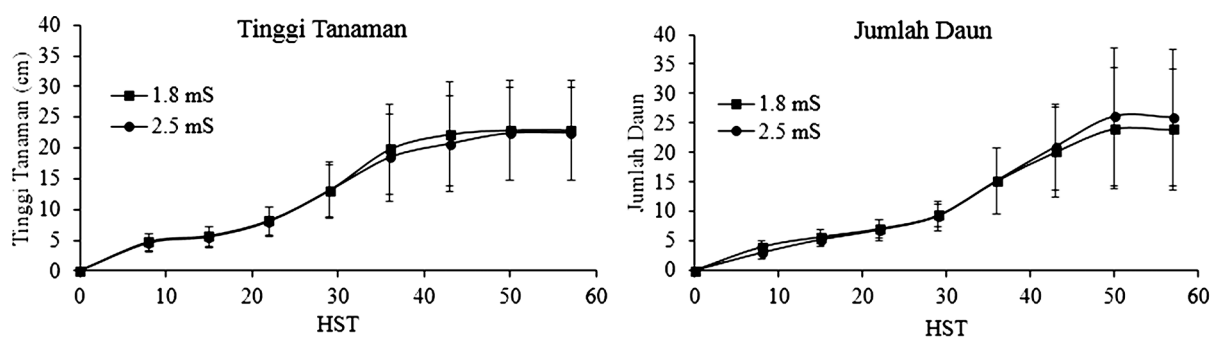
pada bedeng tanaman sistem hidroponik agar dapat memberikan kondisi suhu perakaran yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman kentang. Menurut Choerunnisa & Suhardiyanto (2015), pendinginan terbatas lebih efisien dilakukan daripada melakukan pengendalian suhu di dalam rumah tanaman yang membutuhkan energi yang sangat besar. Pendinginan terbatas hanya dilakukan pada daerah sekitar tanaman yang membutuhkan, seperti daerah perakaran tanaman.

Akurasi hasil simulasi CFD yang dilakukan dapat diketahui dengan melakukan validasi terhadap nilai suhu hasil simulasi dan hasil pengukuran di dalam bedeng tanaman. Analisis regresi dari perbandingan antara suhu hasil simulasi dan pengukuran menghasilkan persamaan linear dengan gradien 0.9978 dan intersep 0.165 dengan nilai R^2 sebesar 0.9837 (Gambar 7). Nilai rata-rata error yang diperoleh dari simulasi CFD terhadap distribusi suhu di dalam bedeng tanaman adalah sebesar 1.8%. Hal tersebut menunjukkan bahwa simulasi CFD mampu menggambarkan distribusi suhu di dalam bedeng tanaman secara akurat.

Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kentang

Tanaman kentang yang ditanam pada sistem hidroponik yang dibangun dapat tumbuh dengan baik dan mampu menghasilkan umbi. Namun, kondisi suhu daerah perakaran yang tinggi menyebabkan pertumbuhan dan hasil tanaman kentang menjadi tidak maksimal. Menurut Sumartono & Sumarni (2013), suhu tinggi, keadaan berawan, dan kelembaban udara yang rendah akan menghambat pertumbuhan, pembentukan umbi, dan perkembangan bunga. Tinggi tanaman dan jumlah daun merupakan parameter yang menjadi indikator pertumbuhan vegetatif tanaman. Pertumbuhan vegetatif tanaman tidak menunjukkan perbedaan yang nyata antara tanaman yang ditanam dengan DHL larutan nutrisi 1.8 mS maupun 2.5 mS (Gambar 8).

Tanaman kentang dipanen pada 76 HST, yaitu setelah sebagian besar tanaman mati. Penanaman secara hidroponik dengan DHL larutan nutrisi 1.8 mS menghasilkan rata-rata 4.3 umbi per tanaman dengan rata-rata berat umbi 77.2 g per tanaman. Sedangkan tanaman yang ditanam dengan DHL larutan nutrisi 2.5 mS menghasilkan rata-rata 4.6



Gambar 8. Rata-rata tinggi dan jumlah daun pada tanaman kentang.



Gambar 9. Umbi kentang yang terbentuk pada penanaman secara hidroponik dengan perlakuan nilai DHL larutan nutrisi 1.8 mS (kiri) dan 2.5 mS (kanan).

umbi per tanaman dengan rata-rata berat umbi 60.0 g per tanaman (Tabel 2). Dari hasil tersebut terlihat bahwa tanaman kentang yang ditanam pada DHL larutan nutrisi 1.8 mS menghasilkan berat umbi per tanaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang ditanam pada DHL larutan nutrisi 2.5 mS.

Tanaman kentang mampu menghasilkan umbi meskipun suhu daerah perakaran pada bedeng tanaman mencapai 30.4°C pada fase tuberisasi. Sumartono & Sumarni (2013) menyatakan bahwa suhu yang tinggi, terutama pada malam hari menyebabkan pertumbuhan lebih banyak terjadi pada bagian tanaman di atas tanah daripada dibagian bawah tanah sehingga tanaman kentang menghasilkan umbi dalam jumlah yang sedikit. Dalam penelitian Sumarni *et al.* (2013b), tanaman kentang kultivar Granola yang ditanam secara aeroponik dengan perlakuan *zone cooling* pada suhu 20°C dan DHL larutan nutrisi 2.5 mS pada fase tuberisasi hanya mampu menghasilkan rata-rata 1.33 umbi per tanaman dengan rata-rata berat umbi 66.5 mg per tanaman. Sementara, Molders *et al.* (2012) menanam kentang kultivar Anabelle secara hidroponik dengan sistem NFT pada suhu lingkungan 20°C dan DHL larutan nutrisi 1.8 mS mampu menghasilkan rata-rata jumlah umbi 10.8 umbi per tanaman dan rata-rata berat umbi 75 g per tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa sistem hidroponik yang dibangun sudah dapat digunakan untuk budidaya tanaman kentang meskipun suhu lingkungan dan suhu daerah perakaran tanaman masih tergolong tinggi bagi tanaman kentang.

Simpulan

1. Sistem hidroponik yang dibangun dapat digunakan untuk budidaya tanaman kentang.
2. Suhu daerah perakaran tanaman pada sistem hidroponik yang dibangun masih tergolong tinggi bagi tanaman kentang karena mengikuti pola suhu udara di dalam rumah tanaman meskipun berada di dataran tinggi dengan ketinggian 1200 m dpl.
3. Simulasi CFD mampu menggambarkan distribusi suhu pada bedeng tanaman sistem hidroponik secara akurat dengan nilai R^2 sebesar 0.9837 dan rerata error sebesar 1.8%.
4. Tanaman kentang yang ditanam pada sistem hidroponik yang dibangun dapat tumbuh dengan baik dan mampu menghasilkan umbi pada suhu daerah perakaran yang lebih tinggi dari 20°C, yaitu mencapai 30.4°C.

Daftar Pustaka

- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2015. Statistik Indonesia 2015. Jakarta (ID): Badan Pusat Statistik.
- Choerunnisa, N. dan H. Suhardiyanto. 2015. Analisis pindah panas pada pipa utama sistem hidroponik dengan pendinginan larutan nutrisi. *Jurnal Keteknik Pertanian* 3(1): 1 – 8.
- Dianawati, M. 2013. Produksi benih umbi mini kentang (*Solanum tuberosum* L.) secara aeroponik dengan induksi pengumbian. (Disertasi). Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Henny, H., K. Murti Laksono, N. Sinukaban dan S.D. Tarigan. 2011. Erosi dan kehilangan hara pada pertanaman kentang dengan beberapa sistem guludan pada andisol di hulu DAS Merao, Kabupaten Kerinci, Jambi. *J. Solum* 8(2): 43–52.
- Kusmantoro, E.S. 2010. Usahatani kentang dengan teknik konservasi teras bangku di dataran tinggi Dieng Kabupaten Wonosobo Jawa Tengah. *Jurnal Pembangunan Pedesaan* 10(2): 115–127.
- Molders, K., M. Quinet, J. Decat, B. Secco, E. Duliere, S. Pieters, T. van der Kooij, S. Lutts dan D. van der Straeten. 2012. Selection and hydroponic growth of potato for bioregenerative life support systems. *Advances in Space Research* 50: 156–165.
- [Pusdatin] Pusat Data dan Sistem Infomasi Pertanian. 2013. Buletin Konsumsi Pangan. *Pusat Data dan Sistem Infomasi Pertanian* 4(1): 16–24.
- Sumarni, E., H. Suhardiyanto, K.B. Seminar dan S.K. Saptomo. 2013a. Temperature distribution in aeroponics system with root zone cooling for the production of potato seed in tropical lowland. *International Journal of Scientific and Engineering Research* 4(6): 799–804.
- Sumarni, E., H. Suhardiyanto, K.B. Seminar dan S.K. Saptomo. 2013b. Pendinginan zona perakaran (*root zone cooling*) pada produksi benih kentang menggunakan sistem aeroponik. *Jurnal Agronomi Indonesia* 41(2): 154–159.
- Sumartono, G.H. dan E. Sumarni. 2013. Pengaruh suhu media tanam terhadap pertumbuhan vegetatif kentang hidroponik di dataran medium tropika basah. *Agronomika* 13(1).

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). JTEP terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi *online*. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energy alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makassar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), Dr.Ir. Lady Corrie Ch Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si. (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Penjadwalan Irigasi Berbasis Neraca Air pada Sistem Pemanenan Air Limpasan Permukaan untuk Pertanian Lahan Kering

Irrigation Scheduling Base on Crop Water Balance on Runoff Harvesting System for Dry Land Farming

Sophia Dwiratna Nur Perwitasari, Departemen Teknik dan Manajemen Industri Pertanian Universitas Padjadjaran, Universitas Padjadjaran. Email: dwiratnasophia@gmail.com
Nurpilihan Bafdal, Program Studi Teknik Pertanian Departemen Teknik dan Manajemen Industri Pertanian Universitas Padjadjaran Universitas Padjadjaran. Email: nurpilihan.bafdal@unpad.ac.id

Abstract

Dry land farmers in Jatinangor only able to plant during the growing season twice a year. Runoff harvesting systems for agriculture is expected to answer the problems of water availability in drylands. This study aimed to explore the period of water deficit in the soil, which is used as the basis for determining the scheduling and amount of irrigation water needed for the planting pattern recommended in runoff harvesting systems for dryland agriculture. The method used in this research is descriptive method, by analyzing the water balance of dry land in order to determine the frequency of irrigation and irrigation needs. Parameters required in the analysis of soil water balance are: precipitation, evapotranspiration, soil water availability on the condition of field capacity and permanent wilting point based on the value of MAD (Maximum Allowable depletion) are permitted. The results showed a total water deficit of 217.42 mm in the cropping pattern of sweet corn - sweet corn - sweet potato, where the period of water deficit occurs during planting sweet potato in the third decade of May to the first decade of September. Irrigation scheduling is determined by the selection of fixed interval irrigation between interval 2 days, 4 days and 5 days. With an area of fields to be watered amounted to 264 meter square (57.4 metercubic water needs), 60 meter cubic of runoff that was collected in the storage pond capable to irrigate the entire of land planted with sweet potato, it indicates that the runoff water harvesting systems can increase cropping intensity dry land farming.

Keywords : *runoff harvesting, irrigation, water balance, scheduling irrigation, dry land farming.*

Abstrak

Petani lahan kering di Kecamatan Jatinangor hanya mampu menanam dua kali dalam setahun. Sistem pemanenan air limpasan permukaan untuk pertanian diharapkan mampu menjawab permasalahan ketersediaan air di lahan kering. Penelitian ini bertujuan untuk mencari periode defisit air di lahan penelitian yang digunakan sebagai dasar dalam menentukan penjadwalan dan kebutuhan air irigasi pada pola tanam yang direkomendasikan pada sistem pemanenan air limpasan untuk pertanian lahan kering. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif, yaitu dengan menganalisis neraca air lahan kering guna menentukan frekuensi irigasi dan kebutuhan air irigasi. Parameter yang dibutuhkan dalam analisis neraca air lahan terdiri dari curah hujan, evapotranspirasi, ketersediaan air tanah pada kondisi kapasitas lapang dan titik layu permanen berdasarkan nilai MAD (Maximum Allowable Depletion) yang diijinkan. Hasil penelitian menunjukkan total defisit air sebesar 217,42 mm pada pola tanam jagung manis – jagung manis – ubi cilembu, dimana periode defisit air terjadi pada saat penanaman ubi cilembu pada dasarian ketiga Mei hingga dasarian pertama September. Penjadwalan irigasi ditentukan secara fix interval dengan pilihan interval irigasi antara 2 hari sekali, 4 hari sekali dan 5 hari sekali. Dengan luas bidang yang harus diairi adalah sebesar 264 m² (kebutuhan air 57,4 m³) maka kolam tampungan sebesar 60 m³ mampu mengairi seluruh lahan yang ditanami ubi cilembu, hal ini menunjukkan bahwa sistem pemanenan air limpasan dapat meningkatkan intensitas tanam pertanian lahan kering.

Kata kunci : Pemanenan air limpasan, irigasi, neraca air lahan, penjadwalan irigasi, pertanian lahan kering

Diterima: 27 Pebruari 2016; Disetujui: 15 Juli 2016

Latar Belakang

Salah satu permasalahan budidaya di lahan kering adalah berkenaan ketersediaan air. Ketersediaan air merupakan hal utama dalam kegiatan bercocok tanam, karena setiap tanaman membutuhkan suplai air irigasi yang cukup untuk menunjang pertumbuhannya. Kondisi ketersediaan air di lahan pertanian dapat diketahui dengan menggunakan analisis neraca air. Neraca air (*water balance*) merupakan neraca masukan dan keluaran air di suatu tempat pada periode tertentu, sehingga dapat diketahui jumlah air tersebut mengalami kelebihan (*surplus*) ataupun kekurangan (*defisit*). Fungsi mengetahui surplus dan defisit dari kondisi air guna mengantisipasi resiko turunnya produktivitas tanaman karena kekurangan air yang bisa saja terjadi, serta sebagai bentuk efisiensi penggunaan air sebaik-baiknya.

Thornthwaite dan Mather (1957) membuat persamaan yang sederhana menggunakan input hanya dari curah hujan saja. Pada metode ini semua aliran masuk dan keluar air serta nilai kapasitas cadangan air tanah pada lokasi dengan kondisi tanaman tertentu digunakan untuk mendapatkan besarnya kadar air tanah, kehilangan air, surplus, dan defisit. Metode Thornthwaite Mather adalah salah satu dari beberapa metode perhitungan neraca air lahan yang memiliki persamaan cukup sederhana dengan menggunakan data input tersedia yang mudah diperoleh. Bentuk perhitungannya meliputi data presipitasi (CH), evapotranspirasi potensial (ETP), evapotranspirasi aktual (ETA), kandungan air tanah (KAT), surplus, dan defisit (Nurhayati, 2010).

Sudjarwadi (1979) menyatakan irigasi merupakan salah satu faktor penting dalam produksi pangan dan dapat diartikan sebagai satu kesatuan yang tersusun dari berbagai komponen, menyangkut upaya penyediaan, pembagian, pengelolaan, dan pengaturan air dalam rangka meningkatkan produksi pertanian. Oleh karena itu, pengelolaan sumber daya air yang tersedia sangat penting dilakukan untuk memenuhi kebutuhan air irigasi pada proses budidaya tanaman. Terlebih menurut penelitian Dwiratna, dkk (2010) mengemukakan bahwa mulai terjadi pergeseran awal musim hujan antara satu sampai dengan dua minggu akibat adanya perubahan iklim. Dengan demikian, perhitungan surplus dan defisit air menggunakan analisis neraca air lahan dapat dijadikan dasar dalam menentukan besarnya kebutuhan air irigasi pada suatu areal lahan pertanian.

Hasil produksi pertanian pada lahan kering di kecamatan Jatinangor masih belum optimal akibat persoalan keterbatasan ketersediaan air di lahan pertanian terutama pada sistem pertanian lahan kering. Dalam satu tahun petani lahan kering Jatinangor khususnya pada lahan penelitian Ciparanje Kampus Unpad Jatinangor biasanya hanya melakukan satu kali musim tanam

saja karena hanya mengandalkan curah hujan saja. Oleh karenanya, Nurpilihan, dkk (2014) mengemukakan bahwa sumber air yang sangat mungkin dikembangkan adalah menggunakan pemanenan air hujan (*water harvesting technology*) dan teknologi pengelolaan air limpasan terutama pada musim hujan demi memenuhi kebutuhan air di musim kemarau.

Jumlah air irigasi yang terdapat pada kolam bergantung dari hujan. Pada saat curah hujan rendah, ketersediaan air irigasi juga akan semakin berkurang akibat adanya evaporasi, oleh karena itu, diperlukan suatu usaha untuk melakukan penghematan air dengan cara meningkatkan efisiensi penggunaan air. Dwiratna, dkk (2007) menyebutkan bahwa usaha penghematan air irigasi dapat dilakukan dengan penentuan waktu tanam yang optimum, menetapkan jadwal tanam dan jadwal penyaluran air yang tepat, dan penyusunan pola tanam yang seimbang dengan air yang tersedia dari sumbernya. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dan mencari periode defisit air di lahan penelitian; menentukan penjadwalan dan kebutuhan air irigasi pada pola tanam yang direkomendasikan pada sistem pemanenan air limpasan untuk pertanian lahan kering; serta untuk mengetahui apakah teknologi pemanenan air limpasan mampu meningkatkan intensitas tanam di lahan kering.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode deskriptif analitik, yakni melakukan pengamatan dan mengumpulkan data informasi mengenai lahan penelitian yang disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik, meliputi data iklim, data hujan, data tanaman, dan data tanah. Data yang diperoleh digunakan dalam analisis neraca air lahan kering menggunakan Metode Thornthwaite & Mather (1957). Analisis neraca air lahan dilakukan untuk mengetahui kondisi surplus dan defisit air pada lahan penelitian, sehingga dapat menentukan kapan tanaman memerlukan irigasi. Nurhayati (2010) menyatakan perhitungan neraca air lahan mengandung enam komponen utama, yaitu curah hujan, evapotranspirasi potensial, evapotranspirasi aktual, ketersediaan air tanah serta limpasan permukaan (kondisi surplus dan defisit) yang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$CH = ETA \pm \Delta KAT \pm Li \quad (1)$$

Dimana :

CH = Curah Hujan (mm)

ETA = Evapotranspirasi Aktual, $\leq$ ETP (mm);

ETP = Evapotranspirasi Potensial (mm))

ΔKAT = perubahan kandungan air tanah

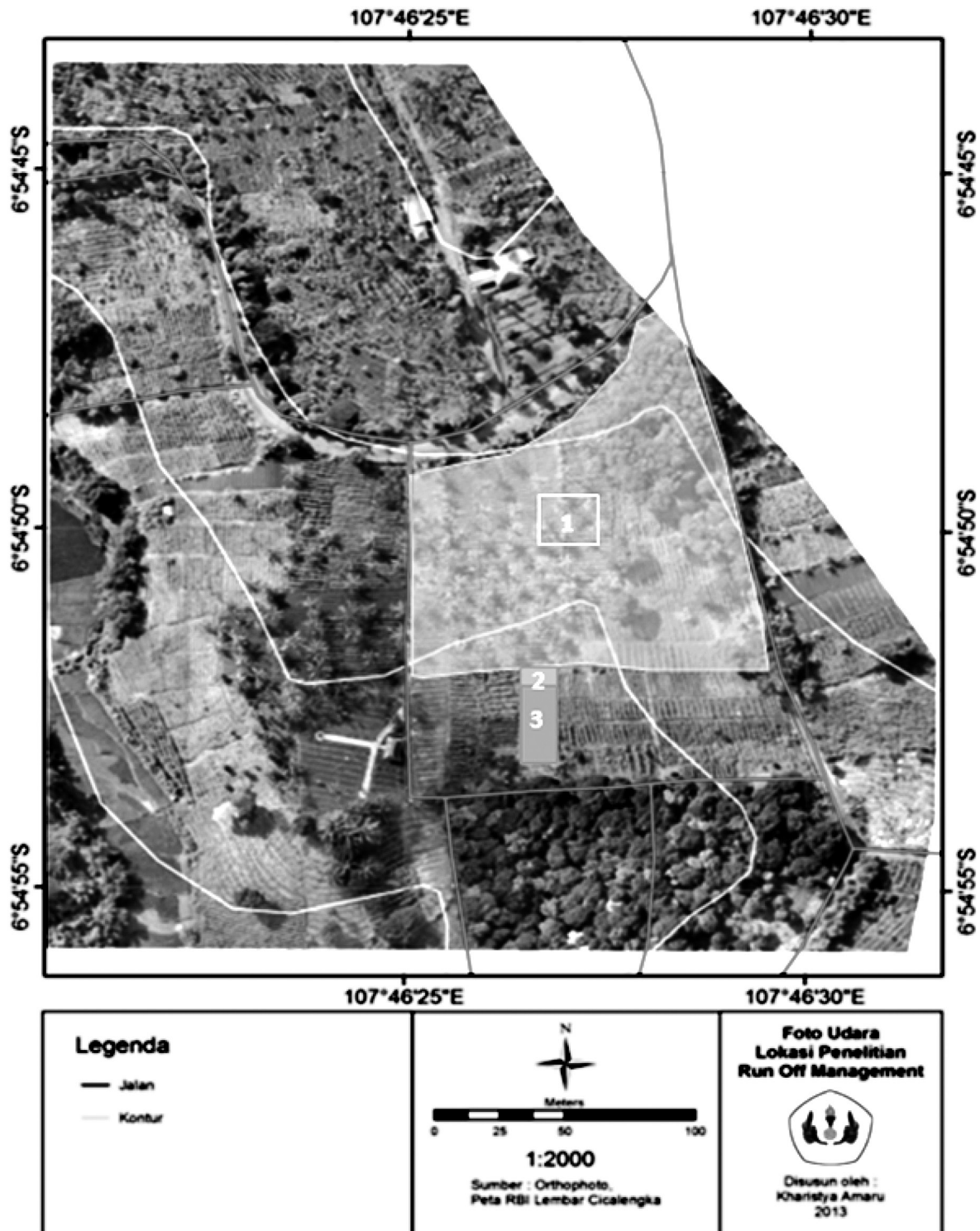
Li = Limpasan (surplus dan defisit)

Analisis neraca air tanaman menggunakan metode Thornthwaite Matter dilakukan dengan menggunakan nilai evapotranspirasi tanaman (ETC) dalam perhitungan nilai evapotranspirasi aktual (ETA) di lapangan alih alih menggunakan nilai evapotranspirasi potensial (ETP). Nilai evapotranspirasi tanaman dihitung dengan menggunakan rumus :

$$ETC = ETP \times Kc \quad (2)$$

Dimana Kc merupakan nilai koefisien tanaman sesuai dengan pola tanam yang dipilih yaitu jagung manis – jagung manis – ubi jalar dimana pola tanam tersebut merupakan pola tanam yang memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi dibandingkan pola tanam lainnya (Nurpilihan, dkk , 2015).

Evapotranspirasi potensial (ETP) dapat diperoleh dengan beberapa metode perhitungan yang berbeda. Akan tetapi, perhitungan ETP menggunakan Metode Penman-Monteith



(1) Daerah tangkapan air, (2) kolam tampungan, (3) lahan budidaya

Gambar 1. Sistem Pemanenan Air Limpasan untuk Pertanian Lahan Kering.

merupakan metode pendugaan evapotranspirasi terbaik yang direkomendasikan oleh FAO. Metode ini adalah salah satu metode pendugaan evapotranspirasi potensial yang memiliki tingkat kesalahan perhitungan pada musim panas sebesar 10%, dan 20% lebih rendah pada kondisi evaporasi rendah, sehingga dapat dikatakan sebagai metode terbaik dari sekian banyak metode yang ada. Metode *Penman-Monteith* yang digunakan terdapat dalam Allen, et al (1998) seperti pada persamaan berikut:

$$ETP = \frac{0,4018 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (3)$$

Dimana:

ETP = evapotranspirasi potensial (mm/hari)

Δ = tekanan uap jenuh (kPa/°C)

G = flux panas tanah (MJ/m²/hari).

R_n = total radiasi bersih (MJ/m²/hari)

γ = psikometrik (kPa/°C)

T = suhu rata-rata harian (°C)

U₂ = kecepatan angin pada ketinggian 2 m di atas tanah (m/det)

(e_s - e_a) = Perbedaan tekanan uap jenuh (KPa)

Analisis curah hujan wilayah dilakukan dengan menggunakan Metode Thiessen dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \frac{A_i}{A} \quad (4)$$

Dimana :

P = curah hujan rata-rata wilayah atau daerah

P_i = curah hujan di stasiun pengamatan ke-i

A_i = luas wilayah pengaruh dari stasiun pengamatan ke-i

A = luas total wilayah pengamatan

Data curah hujan diperoleh dari 8 (delapan) stasiun curah hujan yang ada di sekitar kawasan Jatinangor, yaitu: stasiun hujan Cipadung, Lapan Tanjungsari, Cicalengka, Jatiroke, Rancaekek, Cipaku-Ciparay, Cibiru dan SPMK Pedca Unpad. Data curah hujan dari dua stasiun hujan yang digunakan merupakan data hujan historis dengan lama waktu pengamatan 21 tahun dari tahun 1994 sampai dengan 2014.

Hasil dan Pembahasan

Sistem Pemanenan Limpasan untuk Pertanian

Penelitian dilaksanakan pada bulan April - November 2015 bertempat di lahan percobaan dan penelitian FTIP Unpad yang terletak di area lahan kering belakang kampus Unpad Jatinangor. Lokasi penelitian meliputi areal seluas 2,144 hektar dengan kondisi topografi bergelombang. Area lahan terbagi dalam tiga kategori yaitu daerah

tangkapan air, kolam tampungan dan daerah lahan budidaya sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1. Sistem pemanenan air limpasan permukaan dibuat berdasarkan kondisi lahan pertanian tempat dilakukan penelitian. Kolam tampungan air limpasan permukaan dibuat dengan konstruksi campuran bata semen untuk meminimalisir terjadinya rembesan karena kebocoran kolam. Kedalaman efektif air limpasan yang dapat ditampung pada kolam adalah sebesar 1,5m, dengan dimensi kolam sebesar 10m x 4m, sehingga volume air limpasan efektif yang dapat dipanen dan ditampung dalam kolam sebesar 60 m³.

Sementara itu, berdasarkan analisis pola tanam yang sebelumnya dilakukan diketahui bahwa pola tanam yang dilakukan di lahan budidaya pada jagung manis – jagung manis – ubi cilembu. Pola tanam ini dipilih berdasarkan komoditas yang biasa dikembangkan oleh petani lahan kering setempat yang memiliki nilai pendapatan yang paling tinggi. Air limpasan permukaan yang ditampung dalam kolam pemanenan digunakan sebagai sumber air irigasi pada bulan kemarau dimana tanaman membutuhkan air irigasi.

Analisis Curah Hujan Wilayah

Berdasarkan polygon Thiessen yang dibuat diketahui bahwa curah hujan wilayah rata-rata di Kampus Unpad Jatinangor 97% dipengaruhi oleh curah hujan yang diukur di Stasiun SPMK Pedca Unpad dan 3% dipengaruhi oleh curah hujan stasiun Jatiroke. Hasil analisis curah hujan menunjukkan bahwa stasiun hujan pengamat yang digunakan memiliki nilai curah hujan tahunan rata-rata sebesar 1878,24 mm untuk SPMK Pedca Unpad dan 1772.26 mm untuk stasiun hujan Jatiroke. Berdasarkan perhitungan curah hujan wilayah dengan menggunakan metode Thiessen diperoleh nilai curah hujan wilayah rata-rata tahunan sebesar 1879,69 mm. Adapun curah hujan wilayah bulanan rata-rata kampus Unpad Jatinangor berkisar antara 20,12 hingga 297,94 mm perbulan. Bulan basah dimulai dari bulan November hingga Maret berdasarkan klasifikasi iklim Oldeman(Gambar 2).

Analisis Evapotranspirasi Potensial

Hasil perhitungan ETP pada lahan penelitian menggunakan Metode Penman-Monteith yang disajikan pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai evapotranspirasi potensial pada setiap bulannya berbeda-beda, berkisar antara 3,63 – 4,74 mm/hari. Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil perhitungan nilai ETP ini diantaranya adalah suhu minimum dan maksimum, kelembaban udara, kecepatan angin, lokasi pengamatan berdasarkan geomorfologi, dan lama penyinaran matahari. Oleh karena itu, ETP terendah terjadi pada bulan Januari yang berada pada posisi musim hujan dan ETP tertinggi terjadi pada bulan September yang merupakan musim kemarau.

Tabel 1. Perhitungan ETP menggunakan Metode Penman-Monteith

Country Indonesia		Station PEDCA					
Altitude 791 m.	Latitude 6.88 °S		Longitude 107.60 °E				
Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day
January	20.0	28.6	80	164	5.5	18.2	3.98
February	19.9	28.2	81	167	5.8	18.9	4.02
March	19.9	28.6	80	140	6.1	19.0	4.01
April	19.8	29.0	81	114	6.9	19.1	3.90
May	19.6	29.2	79	119	7.3	18.2	3.72
June	18.9	29.1	77	118	7.8	17.9	3.63
July	18.3	29.3	75	132	8.5	19.2	3.91
August	18.3	29.4	71	135	8.9	21.3	4.39
September	18.8	30.0	71	157	8.3	21.9	4.74
October	19.4	29.5	76	148	6.9	20.4	4.41
November	19.9	28.9	81	129	5.5	18.2	3.89
December	19.9	28.8	80	148	6.1	19.0	4.06
Average	19.4	29.1	78	139	7.0	19.3	4.06

Tabel 2. Nilai Koefisien Tanaman Ubi Jalar dan Jagung Manis

Fase	Ubi Jalar		Jagung Manis	
	Umur Tanam (hari)	Kc	Umur (hari)	Kc
Initial	10	0.50	10	0.07
	10	0.50	10	0.07
Development	10	0.72	10	0.73
	10	0.93	10	0.85
	10	1.05		
Mid Season	55	1.15	35	1.15
Late Season	10	0.98	10	1.05
	10	0.82		
	10	0.65		
Total Pertumbuhan (hari)	135		85	

Analisis Neraca Air

Sebelum dilakukan analisis neraca air, sebelumnya ditentukan terlebih dahulu nilai koefisien tanaman untuk jagung manis dan ubi cilembu sebagaimana tertera pada Tabel 2 berikut ini. Nilai koefisien tanaman dan lama waktu pertumbuhan yang digunakan dalam analisis neraca air mengacu pada buku Manual Irrigation Modul 4 : Crop Water Requirement and Irrigation Scheduling yang dikeluarkan oleh Food and Agriculture Organization (2002) dengan penyesuaian lokasi penelitian terlebih dahulu. Dari Tabel 2 diketahui bahwa lama waktu pertumbuhan untuk tanaman ubi cilembu adalah 135 hari, dengan demikian tanaman ubi cilembu maksimum dapat ditanam selama dua kali tanam dalam setahun.

Analisis neraca air dilakukan setelah nilai koefisien tanaman ditentukan. Dalam analisis neraca air tanaman nilai evapotranspirasi yang digunakan adalah nilai evapotranspirasi tanaman yang diperoleh melalui perkalian antara nilai evapotranspirasi tanaman dan koefisien tanaman. Awal musim tanam dalam analisis neraca air lahan ditentukan pada awal bulan November, dengan pertimbangan bahwa bulan November termasuk dalam kategori bulan basah sehingga resiko kegagalan panen karena kesalahan penentuan jadwal tanam dapat dihindari.

Selain menentukan nilai koefisien tanaman, parameter lain yang harus diketahui adalah panjang akar yang nantinya digunakan dalam menghitung potensial ketersediaan air dalam tanah yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Savva dan Frenken

(2002) menyatakan bahwa kedalaman akar ubi jalar adalah antara 1 – 1.5 m, namun begitu kedalaman efektif perakaran yang mampu menyerap air tanah hanya sebesar 0.9 meter (Weaver dan Bruner, 1927) dengan nilai *maximum allowable depletion* (MAD) sebesar 65% (Allen, et.al, 1998). Dalam penelitian ini nilai MAD digunakan sebagai titik kritis pemberian air dengan potensi pengurangan hasil panen akibat cekaman air yang masih dapat ditolerir. Berbeda dengan analisis neraca air lahan yang menggunakan nilai kadar air pada kondisi titik layu permanen sebagai batas bawahnya. Hasil analisis neraca air lahan pada pola tanam jagung manis – jagung manis – ubi cilembu dapat dilihat pada Gambar 3. Daerah yang diarsir merah pada Gambar 3 menunjukkan kondisi defisit air pada lahan. Air irigasi harus diberikan untuk mengatasi kondisi defisit air di lahan akibat tidak mencukupinya air hujan di lapangan. Total defisit air yang terjadi adalah sebesar 217,42 mm selama satu tahun penanaman. Periode defisit air terjadi pada dasarian ketiga bulan Mei hingga dasarian pertama bulan September. Sebagaimana dijelaskan

sebelumnya, defisit air pada aplikasi pola tanam yang direncanakan harus dipenuhi melalui kegiatan irigasi agar tidak mengganggu proses pertumbuhan tanaman.

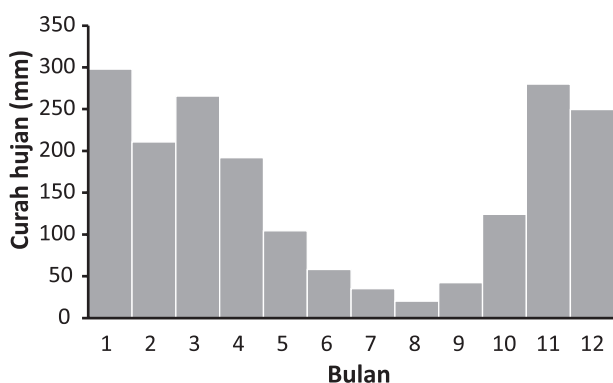
Analisis Kebutuhan Air dan Penjadwalan Irigasi

Sebuah pengelolaan irigasi yang tepat mengharuskan petani untuk menghitung kebutuhan irigasi melalui pengukuran berbagai parameter fisik. Ada yang menggunakan peralatan canggih dan ada pula yang menggunakan estimasi atau pendugaan berdasarkan pengalaman yang dimilikinya. Terdapat dua pertanyaan umum dalam pengelolaan dan penjadwalan irigasi, yaitu : “Kapan saya harus mengairi?” dan “Berapa banyak air irigasi yang harus diberikan”.

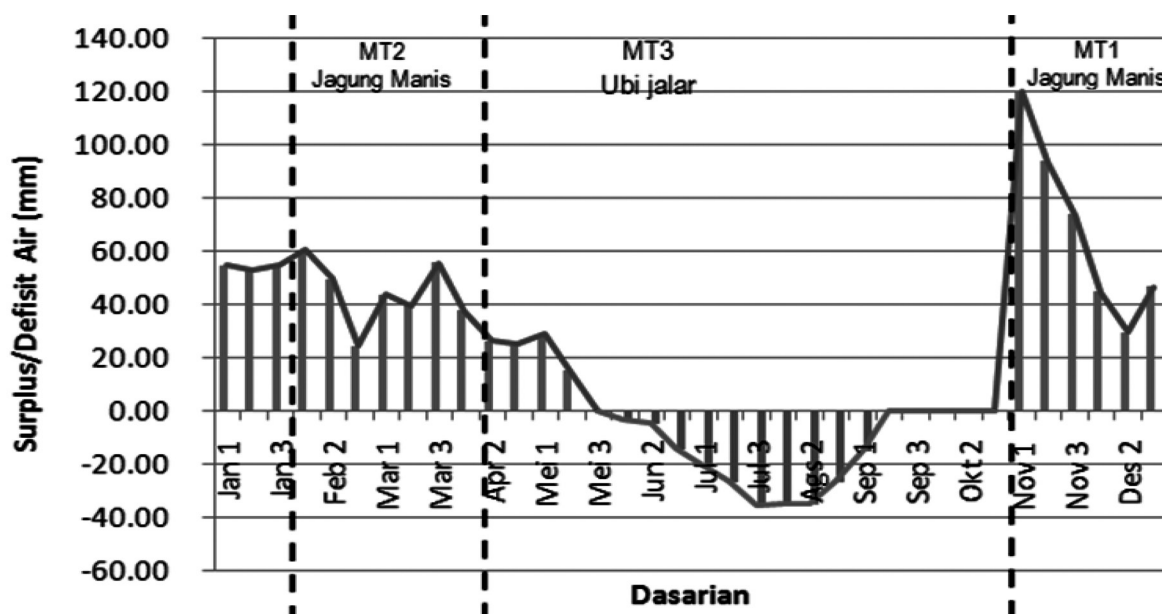
Metode penjadwalan irigasi umumnya didasarkan pada dua metode pendekatan, yaitu pengukuran tanah dan pemantauan tanaman (Dwiratna 2007). Dalam penjadwalan irigasi diperlukan pengetahuan mengenai kadar air tanah yang tersedia untuk tanaman. Dengan mengetahui kadar air tanah yang tersedia, kita dapat memperkirakan tanggal awal dimana irigasi berikutnya harus diberikan sebelum cekaman air mempengaruhi produksi tanaman.

Salah satu metode untuk menentukan penjadwalan irigasi adalah menggunakan pendekatan *water budget* atau neraca air. Dalam analisis neraca air tanaman kita dapat mengetahui nilai defisit air yang terjadi pada pola tanam yang direkomendasikan. Berdasarkan analisis neraca air tanaman diketahui bahwa pada pola tanam Jagung Manis – Jagung Manis – Ubi Cilembu terjadi periode defisit air irigasi pada dasarian ketiga bulan Mei hingga dasarian pertama bulan September. Nilai defisit air tersebut merupakan jumlah kebutuhan air irigasi yang diperlukan.

Penentuan interval irigasi atau selang waktu pemberian air dapat dilakukan berdasarkan



Gambar 2. Curah Hujan Wilayah Rata-Rata di Kampus Unpad Jatinangor Tahun 1994 - 2014



Gambar 3. Analisis Neraca Air pada Pola Tanam Jagung Manis – Jagung Manis – Ubi Jalar

Tabel 3. Jumlah Pemberian Air Irigasi dan Frekuensi Irigasi.

Dasarian	Penjadwalan Irigasi	
	Pemberian Air (mm)	Frekuensi Irigasi
Mei 3	0.40	5
Jun 1	0.63	5
Jun 2	0.97	5
Jun 3	2.91	5
Jul 1	4.13	5
Jul 2	5.32	5
Jul 3	7.13	5
Ags 1	7.02	5
Ags 2	6.98	5
Ags 3	5.36	5
Sep 1	3.03	5
Total Frekuensi Pemberian Air		55

beberapa metode, salah satunya adalah dengan sistem *fix interval*. Pada sistem *fix interval*, selang waktu pemberian air irigasi ditentukan langsung oleh petani dengan selang sama ataupun dibedakan pada setiap fase tumbuh sesuai dengan kondisi lingkungannya. *Fix interval* merupakan sistem penjadwalan irigasi yang diaplikasikan pada selang waktu tetap tidak tergantung keadaan air di daerah perakaran. Tanaman disiram sesuai dengan hasil penjadwalan irigasi dimana interval pemberian irigasinya 2 hari sekali sesuai pada fase pertumbuhannya. Alasan menggunakan interval 2 hari sekali yaitu sesuai dengan pendapat Dwiratna (2007) bahwa untuk tanaman semusim di Jatinangor, batasan maksimum interval irigasi adalah 3 hari pada kondisi kemarau tanpa hujan, lebih dari itu terjadi penurunan produksi tanaman. Tabel 3 menunjukkan jumlah air yang harus diberikan pada dengan interval dua hari sekali. Berdasarkan tabel tersebut diketahui bahwa total frekuensi irigasi yang harus diberikan selama periode defisit sebanyak 55 kali dengan puncak kebutuhan air pada dasarian ketiga bulan Juli dengan jumlah air yang harus diberikan sebesar 7,13 mm.

Berdasarkan analisis neraca air tanaman yang dilakukan, diketahui bahwa total defisit air atau total kebutuhan air irigasi yang harus diberikan adalah sebesar 217,42 mm dimana periode defisit air terjadi pada saat penanaman ubi cilembu. Tanaman ubi cilembu di lahan penelitian ditanam dalam guludan dengan luas 6 m²/guludan. Dengan asumsi jarak antar guludan sebesar 0,3 m maka jumlah guludan maksimum yang dapat dibuat adalah 44 buah. Sehingga luas bidang yang harus diairi adalah sebesar 6 m² x 44 = 264 m². Dengan demikian ketersediaan air efektif pada kolam tampungan runoff sebesar 60 m³ mampu mengairi seluruh lahan yang ditanami ubi cilembu.

Simpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Analisis neraca air di lahan penelitian menunjukkan bahwa total defisit air pada pola tanam jagung manis – jagung manis – ubi cilembu sebesar 217,42 mm dimana periode defisit air terjadi pada saat penanaman ubi cilembu pada dasarian ketiga bulan Mei hingga dasarian pertama bulan September.
2. Total frekuensi irigasi yang diberikan sebanyak 55 kali (interval irigasi 2 hari sekali) dengan puncak kebutuhan air pada dasarian ketiga bulan juli sebesar 7,13 mm.
3. Dengan luas bidang yang harus diairi adalah sebesar 264 m² (kebutuhan air 57,4 m³) maka kolam tampungan runoff sebesar 60 m³ mampu mengairi seluruh lahan yang ditanami ubi cilembu, hal ini menunjukkan bahwa sistem pemanenan air limpasan dapat meningkatkan intensitas tanam pertanian lahan kering.

Ucapan Terima Kasih

Atas terselesainya penelitian ini, Penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian RISTEK & DIKTI cq. Direktur Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Padjadjaranyang telah mendanai penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M., 1998. *Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome. Italy
- Dwiratna, S, Edy Suryadi. 2007. Pengaruh Selang Waktu Pemberian Air Terhadap Produktivitas Tanaman Semusim di Jatinangor. Laporan Penelitian Muda. Unpad. Bandung
- Dwiratna, S., C. Asdak, G. Nawawi. 2010. Model Stokastik Curah Hujan Bulanan Dan Aplikasinya Dalam Penetapan Jadwal, Dan Pola Tanam Pertanian Lahan Kering Di Kabupaten Bandung. Laporan Penelitian STRANAS. Unpad. Bandung
- Hillel, D. 1972. *Optimizing the soil physical Environment Toward Greater Crop Yields*. Academic Press. New York.
- Nurhayati. 2010. Analisis Karakteristik Iklim untuk Optimalisasi Produk Kedelai di Provinsi Lampung. Laporan Akhir Pelaksanaan Program Intensif PKPP Ristek 2010. BMKG Jakarta.
- Nurpilihan, B., Dwiratna S., Amaru., K. 2014. Analisis Rasio Luas Daerah Tangkapan Air (Catchment Area) dan Areal Budidaya Pertanian (Cultivate Area) dalam Desain Model Run Off Management

- Integrated Farming di Lahan Kering. Jurnal Teoritis dan terapan Bidang Rekayasa Sipil Vol. 21 No. 3 Desember 2014
- Nurpilihan, B., Dwiratna S., 2015. *Runoff Harvesting As One Of Appropriate Technology In Integrated Dry Land Farming*. Proceedings Of International Conference On Appropriate Technology Development. Indonesian Institute Of Sciences. Center For Appropriate Technology Development. Subang. West Java
- Savva, P. Andreas and Frenken K. 2002. *Crop Water Requirements and Irrigation Scheduling*. Harare: Irrigation Manual Module 4
- Sudjarwadi. 1979. Pengantar Teknik Irigasi. Fakultas Teknik UGM: Yogyakarta
- Thornthwaite, C.W. and J.R. Mather. 1957. *Instruction and Tables for Computing Potensial Evapotranspiration and The Water Balance*. Drexel Institute of Technology Laboratory of Climatology Vol. X No. 3. Centerton. New Jersey.
- Weaver, John E. and William Bruner. 1927. *Root Development of Vegetable Crops*. McGraw Hill, New York.

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). JTEP terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi *online*. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energy alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makassar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), Dr.Ir. Lady Corrie Ch Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si. (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Studi Tentang Pemisahan Aliran Dasar pada DAS di Wilayah UPT PSDA Pasuruan, Jawa Timur

Baseflow Separation Study at Watersheds of UPT PSDA Pasuruan, East Java

Indarto, PS Teknik Pertanian, FTP, UNEJ JI Kalimantan N0. 37 Kampus Tegalboto, Jember 68121.

Email: indarto.ftp@unej.ac.id

Elda Novita, PS Teknik Pertanian, FTP, UNEJ JI Kalimantan N0. 37 Kampus Tegalboto, Jember 68121.

Email: elida_novita.ftp@unej.ac.id

Sri Wahyuningsih, PS Teknik Pertanian, FTP, UNEJ JI Kalimantan N0. 37 Kampus Tegalboto, Jember 68121. Email: sriwahyuningsteh@yahoo.co.id

Hamid Ahmad, PS Teknik Pertanian, FTP, UNEJ JI Kalimantan N0. 37 Kampus Tegalboto, Jember 68121.

Muharjo Pudjono, PS Teknik Pertanian, FTP, UNEJ JI Kalimantan N0. 37

Kampus Tegalboto, Jember 68121

Abstract

This research aims to determine the range of parameter value and to select the appropriate method for baseflow separation. Seven (7) recursive-digital-filters (RDF) and two (2) graphical methods were used for this study. Discharge data from 6 watersheds in the administrative area of UPT PSDA Pasuruan in East Java were used to test those nine (9) algorithms. Firstly, each method was calibrate using daily discharge data for each year (annually) to separate baseflow. Then, optimal parameter values are obtained by averaging the annual values. Calibration process produce optimal parameters value for each watershed. Furthermore, validation are effectued using optimal parameter values from Pekalen watershed's to other watersheds. The result show that optimal parameter values from Pekalen could be used to separate baseflow in other watersheds. Results also recommend two algorithms (EWMA filter and fixed interval) to be used more frequently for baseflow seperation on this region.

Keywords: *calibration, baseflow separation, graphical, recursive digital filter*

Abstrak

Penelitian bertujuan untuk menentukan nilai range parameter dan memilih metode pemisahan yang dapat direkomendasikan untuk diterapkan pada DAS-DAS di wilayah provinsi Jawa Timur. Tujuh (7) metode berbasis filter atau *Recursive-Digital-Filter (RDF)* dan dua (2) jenis metode berbasis grafis digunakan dalam penelitian ini. Data debit harian (dari 1996 sd 2005) yang berasal dari 6 DAS pada wilayah UPT PSDA Pasuruan dipilih sebagai sampel pengujian. Kalibrasi dilakukan menggunakan data debit musim-kemarau (bulan Juli - September) pada tiap tahun-nya dan diperoleh kisaran nilai parameter untuk tiap metode pada masing-masing DAS. Proses validasi dilakukan dengan menggunakan nilai parameter DAS Pekalen, untuk menentukan baseflow pada DAS lain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai parameter dari DAS Pekalen dapat digunakan untuk menentukan aliran dasar (*baseflow*) pada DAS lain. Penelitian juga merekomendasikan filter EWMA dan metode grafis interval tetap (*fixed interval*) untuk digunakan di wilayah UPT PSDA Pasuruan.

Kata Kunci: Pemisahan, Aliran dasar, metode grafis, filter digital. spasi tunggal.

Diterima: 27 Januari 2016; Disetujui: 5 Maret 2016

Latar Belakang

Hall (1968, 1971) mendefinisikan aliran yang terlambat datangnya ke sungai, sebagai kontribusi dari air tanah dan aliran air dari sumber lain dan dikenal sebagai aliran dasar (*baseflow*). Aliran dasar sangat penting artinya dalam pengelolaan sumber daya air. Pada saat musim kemarau dimana

ketersediaan air di Sungai sangat terbatas (karena minim-nya input dari air hujan), maka aliran dasar menjadi sumber utama untuk suplai air bagi banyak kepentingan, misalnya: irigasi, industri, rumah tangga, lingkungan, dan *rafting*. Sebaliknya, pada saat musim hujan, perkiraan besarnya aliran dasar menjadi penting supaya kita dapat memprediksi besarnya bagian debit yang merupakan kontribusi

Tabel 2. Perbandingan karakteristik fisik DAS.

No DAS	Nama DAS	Bentuk DAS	Luas DAS (km ²)
20	Rondodingo	Memanjang	135.3
24	Rejoso	Melebar	168.1
26	Kramat	Melebar	177.4
29	Welang	Memanjang	157.3
31	Kadalpang	Memanjang	113.2
32	Pekalen	Memanjang	165.2

dari aliran cepat atau *surface run-off* atau *quickflow* yang berpotensi menghasilkan banjir.

Analisis terhadap komponen aliran dasar dari hidrograf aliran sungai dimulai sejak Boussinesq (1904), mengembangkan teori dan pengalaman empiris-nya. Kemudian dilanjutkan oleh: Maillet (1905), Horton (1933), Hall (1968; 1971), Nathan and McMahon (1990ab), Tallaksen (1995), Smakhtin (2001ab), dan (Gonzales, et al. 2009). Dari banyak metode yang ada, metode filter digital dan metode grafis digital merupakan dua metode yang cukup mudah untuk pengoperasiannya (Brodie and Hostetler. 2007; Murphy et al. 2009 ; dan Gregor, 2012).

Metode filter digital (*recursive digital filter/ RDF*) bekerja dengan mengolah data debit untuk memisahkan aliran dasar dari hidrograf. Pada proses pemisahan aliran dasar, *RDF* digunakan untuk memisahkan komponen aliran cepat (*quickflow*) yang menyerupai sinyal frekuensi tinggi, dan menyisakan komponen aliran dasar (*baseflow*) yang dianalogikan dengan seri sinyal berfrekuensi rendah. Ada banyak persamaan atau model yang telah dikembangkan untuk pemisahan aliran dasar dari hidrograf menggunakan filter digital, beberapa tercantum di dalam Tabel (1) di lampiran.

Metode filter (persamaan 1 sampai dengan 7 pada Tabel 1) bekerja dengan prinsip menghitung aliran dasar hari ke i , dengan mempertimbangkan aliran total, aliran dasar, aliran cepat pada hari sebelumnya ($i - 1$) dan *Baseflow Index*(*BFI*)

maksimal. Metode tersebut dapat menggunakan satu parameter (k atau α), dua parameter (k dan c ; *BFI* - Mak dan α) atau tiga (α , k dan c).

Metode pemisahan secara grafis juga telah dikembangkan untuk pemisahan aliran dasar. Sloto and Crouse (1996) memberikan contoh tiga metode pemisahan secara grafis: (a) metode interval tetap (*Fixed interval method*), (b) metode interval bergerak (*Sliding interval method*) dan (c) metode minimum lokal (*Local minimum method*).

Cara kerja metode minimum lokal dijelaskan oleh Sloto and Crouse (1996) sebagai berikut:

"metode minimum lokal mengevaluasi debit setiap harinya untuk menentukan apakah hari tersebut termasuk debit terendah atau tidak, dengan menggunakan interval waktu yang dinyatakan oleh: $[0.5 (2N^* - 1) \text{ hari}]$ ". Nilai N didapatkan secara empiris dari persamaan $N = A^{0.2}$, dimana A adalah luas daerah aliran sungai (DAS) dalam satuan mil².

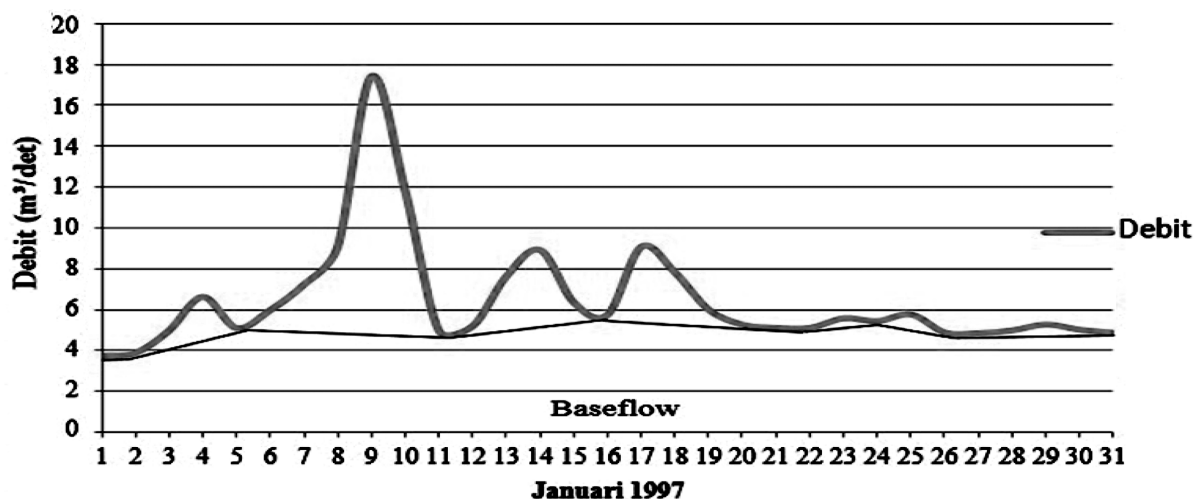
Selanjutnya debit terendah pada setiap interval dihubungkan dengan garis lurus untuk menentukan *baseflow* (Gambar 1). Pada (Gambar 1) *local minimum* terjadi pada tanggal 1, 5, 11, 16, 20, 24, 26, dan 31 Januari 1991.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji beberapa metode grafis dan metode filter tersebut untuk memperkirakan besarnya kontribusi aliran dasar pada 6 DAS di wilayah UPT PSDA Pasuruan. Kedua metode dipilih karena prinsip dan pengoperasiannya cukup mudah. Penelitian juga bertujuan untuk merekomendasikan metode mana yang tepat digunakan untuk wilayah tersebut.

Bahan dan Metode

Lokasi Penelitian dan Input Data

Penelitian dilakukan dengan mengambil sampel data pada enam DAS di wilayah administratif UPT PSDA Pasuruan (Jawa Timur), mencakup: DAS



Gambar 1. Ilustrasi metode minimum lokal, menggunakan Hidrograf DAS Pekalen untuk Januari 1997.

Tabel 3. Perbandingan karakteristik hidro-meteorologi DAS.

No. DAS	Nama DAS	Karakteristik hujan harian (mm/hari)		Karakteristik debit (m ³ /hari)		Data debit tersedia
		Maksimal	Rerata	Rerata	Maksimal	
20	Rondodingo	135.3	58.90	4.99	101.00	1996 - 2005
24	Rejoso	168.1	30.26	12.52	110.19	1996 - 2005
26	Kramat	177.4	27.77	2.62	193.03	1996 - 2005
29	Welang	157.3	47.27	3.89	32.55	1996 - 2005
31	Kadalpang	113.2	61.41	2.91	69.04	1996 - 2005
32	Pekalen	165.2	86.39	10.94	94.30	1996 - 2005

Kadalpang (20), DAS Rejoso (24), DAS Welang (26), DAS Kramat (29), DAS Pekalen (31) dan DAS Rondodingo (32) (Gambar 3).

Karakteristik fisik ke enam DAS tersebut diringkaskan dalam Tabel 2. Luas DAS bervariasi dari 113 km² sd 168 km², bentuk DAS segitiga, bulat dan memanjang (Gambar 2 dan Tabel 2).

Karakteristik hidro-meteorologi ke enam DAS tersebut diringkaskan dalam tabel (3). Data debit tersedia dari periode 1996 - 2005. Data hujan tersedia dari tahun 1997 - 2005. Hujan harian maksimal antara 95 sd 145 mm/hari. Debit harian rerata antara 2 sd 12 m³/hari, sedangkan debit maksimal tercatat antara 32 sd 193 m³/hari.

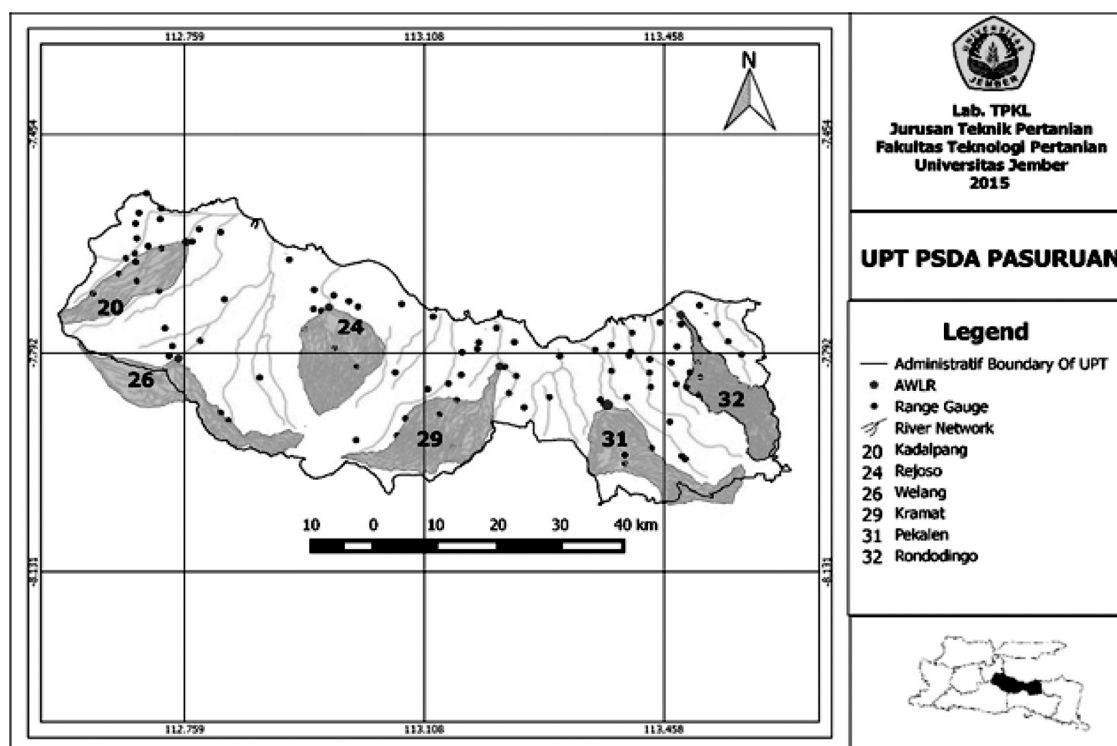
Peruntukan lahan didominasi oleh: lahan persawahan (irigasi dan tadah hujan), pemukiman, hutan, kebun dan perladangan (Tabel 4 pada lampiran). Jenis tanah utama terdiri dari: aluvial, andosol, grumusol, mediteran, regosol dan latosol (Tabel 5 pada lampiran).

Pada penelitian ini, input utama untuk proses

pemisahan hidrograf adalah data debit harian. Data debit harian diurutkan dengan excel ke dalam dua kolom dan diformat ke dalam (*.txt), selanjutnya diimport ke dalam perangkat lunak HydroOffice (Gregor, 2010, 2012).

Proses Kalibrasi

Pemisahan aliran dasar dari debit total, dilakukan dengan perangkat lunak HydroOffice (www.hydrooffice.org) (Gregor, 2010, 2012), menggunakan 7 metode filter (*One parametre, Boughthon – two parameter, Ihacres, Chapman, Lynie-Hollick, EWMA dan Eckhardt*) dan 2 dua metode berbasis grafis (*metode interval tetap dan minimum lokal*). Kalibrasi dilakukan dengan memasukan nilai parameter secara trial-error dan manual sampai menghasilkan nilai aliran dasar yang sesuai untuk tiap tahunnya. Penentuan nilai parameter dihentikan jika grafik garis (merah) pada musim kemarau atau periode dimana tidak ada hujan, berimpit dengan grafik luasan (biru) (Gambar 3).



Gambar 2. Lokasi Penelitian : Enam DAS di wilayah UPT PSDA Pasuruan.

Selanjutnya, nilai parameter optimal untuk tiap DAS ditentukan dari nilai rerata tiap tahunnya. Kalibrasi dilakukan pada setiap DAS dengan cara yang sama, sehingga didapatkan kisaran nilai parameter untuk setiap DAS dan nilai rerata (nilai optimal).

Analisis statistik hasil kalibrasi

Analisis statistik hasil kalibrasi dilakukan dengan membandingkan aliran dasar terhitung dengan debit total di sungai (terukur) pada bulan Juli sd September, dengan asumsi bahwa pada kedua bulan tersebut aliran air di Sungai hanya terdiri dari aliran dasar (*baseflow*), karena hujan tidak turun atau sangat sedikit sehingga komponen aliran cepat (*Quick flow/ DRO*) mendekati 0. Selanjutnya, digunakan selisih akar kuadrat rerata atau *Root Mean Square Error* (RMSE) sebagai berikut:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum(Q_M - Q_0)^2}}{n} \quad (\text{persamaan 8})$$

Keterangan:

Q_M : aliran dasar terhitung (m^3/detik),

Q_0 : debit terukur di Sungai (m^3/detik),

n : jumlah sampel data debit harian.

Semakin kecil nilai RMSE maka semakin ada kemiripan antara debit terhitung dan terukur, artinya: metode pemisahan dapat menghitung aliran dasar mendekati debit total yang ada di Sungai. Perhitungan RMSE periode musim kemarau dari Juli sd September. Selanjutnya, visualisasi antara debit terhitung dan terukur dilakukan dengan menggunakan *scatter plot* antara debit total di sungai (terukur) dan debit terhitung (aliran dasar) untuk

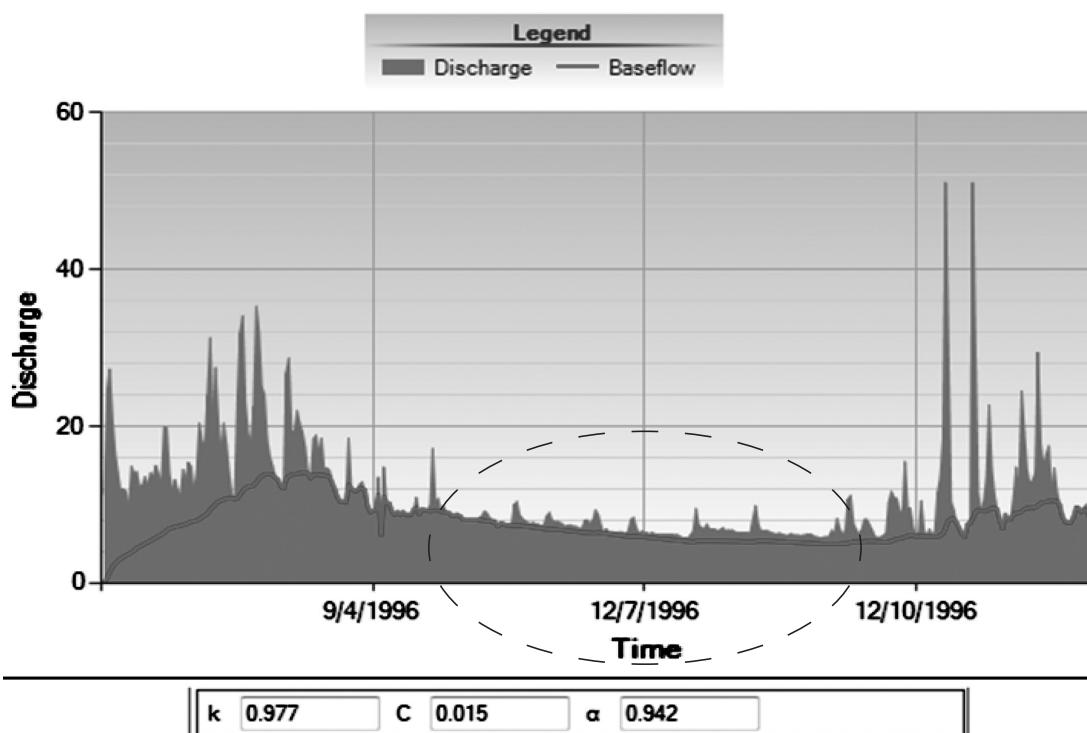
periode kalibrasi. Kinerja model dalam menghitung aliran dasar juga dapat dinilai dari koefisien regresi (koefisien determinasi) antara debit terhitung dan terukur. Koefisien determinasi yang mendekati 1, menunjukkan tingkat yang paling sesuai antara perhitungan model dengan debit terukur. Dalam hal ini, debit terukur pada musim kemarau menunjukkan tingkat aliran dasar (*Baseflow*) sungai tersebut.

Proses Validasi

Proses validasi dilakukan dengan menggunakan nilai parameter optimal (rerata) dari DAS Pekalen, dengan asumsi data DAS Pekalen lebih lengkap dari das lain yang ada di sekitarnya. Asumsi lain yang digunakan adalah bahwa ke enam DAS lokasi-nya berdekatan dan masih di dalam wilayah iklim yang sama, sehingga karakteristik umum hujan masih relatif identik.

Visualisasi FDC

Visualisasi FDC dilakukan untuk melihat hasil proses pemisahan aliran dasar dan membandingkan kinerja pemisahan dari tiap model. Pada kasus di wilayah UPT PSDA Pasuruan dimana curah hujan sangat minim atau hampir tidak ada selama musim kemarau (dalam hal ini diambil bulan paling kering antara Juli - September), maka pemisahan yang berkinerja baik akan menghitung aliran dasar pada bulan Juli - September mendekati debit terukur (debit total di Sungai), sebaliknya pada musim hujan (misalnya: periode Oktober sampai April) maka metode tersebut dapat memisahkan komponen aliran dasar dari debit total. Karena pada musim penghujan kontribusi aliran cepat dan komponen aliran selain aliran dasar sangat signifikan. Hal ini



Gambar 3. Proses kalibrasi.

Tabel 6. Rentang nilai parameter yang diuji tiap tahunnya pada semua DAS.

Nama Filter	Range Nilai Paramter yang dicoba				
	k	C	α	N	f
<i>One parameter</i>	0.80 – 0.99				
<i>Boughthon - Two parameter</i>	0.90 – 0.99	0.02 – 0.15			
IHACRES	0.90 – 0.98	0.12 – 0.15	0.10 – 0.18		
Lynie-Hollick			0.96 – 0.99		
Chapman			0.33 – 0.98		
EWMA			0.01- 0.04		
<i>Eckhardt Filter</i>			0.92 – 0.99	-	-
<i>Minimum Lokal</i>				5 - 11	0.90 – 0.95
<i>Fixed Interval</i>				10 - 30	-

Tabel 7a. Nilai parameter optimal pada masing-masing DAS (metode filter digital).

Nama DAS	<i>One parameter</i>	<i>Boughthon - Two parameter</i>		<i>Ihacres</i>		<i>Lyne-Hollick</i>	<i>Chapman</i>	<i>EWMA</i>
	k	k	C	k	C	α	α	α
Rondodingo	0.925	0.98	0.06	0.95	0.045	0.5	0.97	0.975
Rejoso	0.925	0.99	0.04	0.98	0.035	0.04	0.97	0.815
Kramat	0.989	0.98	0.052	0.95	0.035	0.04	0.97	0.915
Welang	0.952	0.99	0.05	0.98	0.025	0.04	0.98	0.985
Kadarpang	0.992	0.852	0.20	0.98	0.035	0.3	0.95	0.995
Pekalen	0.875	0.98	0.06	0.98	0.032	0.4	0.99	0.975

Tabel 7b. Nilai parameter optimal pada masing-masing DAS (metode grafis digital).

Nama DAS	<i>Local Minimum Method</i>		<i>Fixed Interval Method</i>		<i>Eckhardt Filter</i>	
	f	N	N		α	BFI _(max)
Rondodingo	0.90	10	30		0.92	0.80
Rejoso	0.95	10	30		0.98	0.80
Kramat	0.95	5	10		0.99	0.80
Welang	0.95	9	30		0.99	0.80
Kadarpang	0.94	5	19		0.95	0.80
Pekalen	0.95	11	30		0.98	0.80

dapat kita amati melalui bentuk Kurva Durasi Aliran (KDA) atau *flow duration curve (FDC)* (Indarto et al., 2013).

Hasil dan Pembahasan

Hasil Kalibrasi

Rentang nilai parameter yang didapatkan dari masing-masing metode dan diujikan pada semua DAS ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 7a dan 7b menampilkan nilai parameter optimal pada masing-masing DAS untuk setiap metode. Dalam hal ini parameter optimal adalah nilai rerata, dari nilai parameter yang dicoba pada setiap tahunnya.

Hasil Analisis statistik

Tabel 8 menampilkan contoh hasil pengujian secara statistik (nilai RMSE), yang menunjukkan selisih antara debit terhitung (aliran dasar) dan debit terukur (debit total di Sungai), untuk DAS Pekalen. Perhitungan RMSE menggunakan data bulan Juli - September dari 1996 sampai dengan 2005.

Tabel 8 menunjukkan bahwa secara umum semua metode dapat digunakan. Beberapa metode filter menghasilkan performan relatif lebih baik pada periode kalibrasi. Hal ini ditunjukkan oleh nilai RMSE yang relatif kecil ~ 0 dan nilai koefisien regresi mendekati ~ 1 .

Hasil Validasi

Tabel (9) menampilkan analisa statistik (nilai

Tabel 8. Nilai RMSE dan Koefisien determinasi (R^2) pada DAS Pekalen.

Metode	Metode RDF						Metode Grafis		
	<i>One parameter</i>	<i>Boughthon</i>	IHACRES	Lynie & Hollick	Chapman	EWMA	Eckhardt	Min	Fixed
RMSE	0.11	0.09	0.06	0.00	0.10	0.00	0.04	0.05	0.04
Koef regresi	0.95	0.10	0.77	1.00	0.04	1.00	0.91	0.75	0.46

Tabel 9. Nilai RMSE pada semua DAS, menggunakan nilai parameter optimal DAS Pekalen.

Nama DAS	Metode RDF						Metode Grafis		
	<i>One parameter</i>	<i>Boughthon</i>	IHACRES	Lynie & Hollick	Chapman	EWMA	Eckhardt	Min	Fixed
Rondodingo	0.05	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.02	0.04	0.05
Rejoso	0.21	0.08	0.13	0.01	0.21	0.01	0.06	0.07	0.08
Kramat	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03
Welang	0.05	0.02	0.03	0.02	0.05	0.01	0.02	0.02	0.02
Kadalpang	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
Pekalen	0.11	0.04	0.10	0.00	0.10	0.00	0.04	0.05	0.04

RMSE) hasil perhitungan aliran dasar pada semua DAS. Dalam hal ini, nilai parameter optimal yang sudah dikalibrasi pada DAS Pekalen, digunakan untuk melakukan simulasi (menghitung) nilai aliran dasar pada DAS lainnya. Selanjutnya, hasil perhitungan aliran dasar selama bulan Juli - September (dari 1996 sd 2005), digunakan untuk menghitung nilai RMSE dan hasilnya ditampilkan dalam Tabel 9.

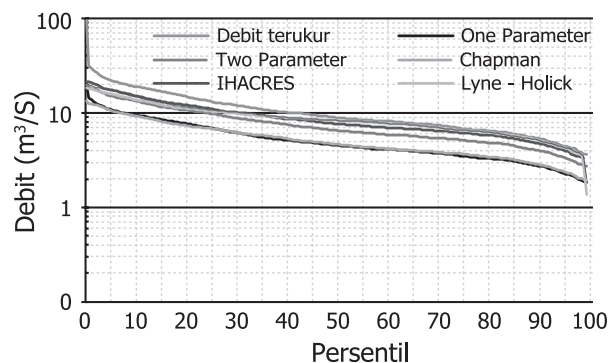
Tabel (9) menunjukkan bahwa penerapan setting nilai parameter DAS Pekalen pada DAS yang lain, dapat menghasilkan nilai RMSE lebih kecil atau lebih besar. Nilai RMSE tertinggi 0.21 (masih lebih dekat ke nilai NOL daripada ke nilai 1). Dapat dikatakan bahwa secara prinsip nilai parameter yang dikalibrasi pada DAS Pekalen, dapat digunakan untuk pemisahan aliran dasar pada DAS Rondodingo (DAS 32), Kramat (DAS

29), Welang (DAS 26), dan Kadalpang (DAS 20). Hal ini ditunjukkan oleh nilai RMSE yang menjadi lebih kecil (hasil cenderung positif). Sebaliknya, pada kasus DAS Rejoso. Faktor lokasi mungkin berpengaruh. DAS dengan lokasi yang berdekatan cenderung memiliki karakteristik hujan dan debit yang identik, sehingga penggunaan nilai parameter yang sama menghasilkan kinerja yang relatif sama.

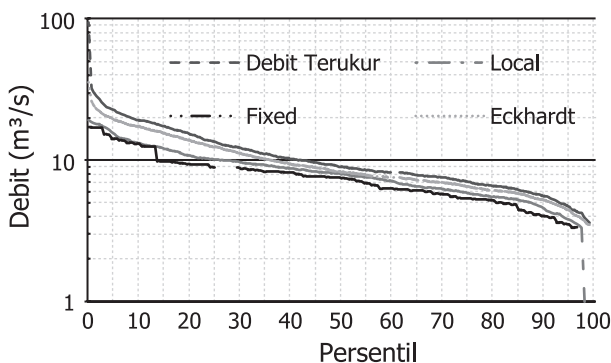
Visualisasi melalui FDC

Gambar (4), menampilkan grafik KDA (kurva durasi aliran) atau *Flow Duration Curve (FDC)* untuk membandingkan antara debit terukur (aliran dasar) yang dihitung dengan masing-masing metode dan debit terukur (debit total di Sungai) sepanjang periode 1996 – 2005. Contoh grafik KDA ditampilkan untuk DAS Pekalen.

Secara umum, KDA menggambarkan distribusi



KDA untuk metode filter



KDA untuk metode grafis dan filter Eckhardt

Gambar 4. Perbandingan hasil pemisahan aliran dasar: metode filter dan metode grafis

frekuensi kejadian debit yang lebih dari batas tertentu (Indarto et al., 2013). Sumbu X menggambarkan frekuensi kejadian debit lebih dari batas tertentu (%) dan sumbu Y menggambarkan besarnya debit sebagai batas untuk menentukan frekuensi debit $\geq$ batas tersebut.

Dalam hal ini, debit besar akan tergambar pada bagian sisi kiri-atas bidang grafik (dimana debit besar, frekuensi kejadian rendah/jarang). Sementara grafik bagian kanan-bawah menggambarkan debit kecil, yang umumnya sering terjadi sehingga frekuensi kejadian tinggi. Kurva pada kolom kiri (metode filter) menunjukkan perbandingan antara debit terukur (debit total) dengan debit aliran dasar yang dihitung dengan enam (6) metode filter (one parameter, boughthon-two parameter, IHACRES, Lynie-Hollick, Chapman dan EWMA). Pada kolom kanan ditampilkan perbandingan antara kurva debit terukur dengan debit terhitung (aliran dasar) yang dihitung menggunakan dua metode grafis (minimum lokal / *local minimum*, dan *fixed interval*) dan filter *Eckhardt*.

Metode pemisahan yang bekerja dengan baik akan menghasilkan grafik yang berimpit antara debit terukur dan debit terhitung, pada bagian kanan-bawah (debit kecil), karena debit kecil identik dengan debit pada saat tidak ada hujan (musim kemarau) atau periode dimana kontribusi aliran dasar maksimal.

Sebaliknya, metode pemisahan aliran dasar yang handal juga harus dapat memisahkan aliran dasar dari debit terukur (debit total) pada bagian kiri-atas grafik. Hal ini menunjukkan bahwa pada kejadian debit besar, komponen aliran dasar hanya merupakan sebagian kecil dari debit yang terukur di Sungai. Pada musim penghujan dimana terjadi debit besar, umumnya aliran di Sungai disumbang oleh komponen aliran cepat (*quick flow*). Oleh karena itu, jika diplot antara aliran dasar dan debit total di sungai, akan terpisah kurva-nya. Debit terukur menunjukkan kurva yang semakin naik (pada sisi kiri-atas) sebaliknya kurva aliran dasar akan lebih rendah dan terpisah. Hal ini ditunjukkan oleh sebagian besar metode yang digunakan dalam penelitian ini.

Visualisasi melalui Hidrograf Aliran

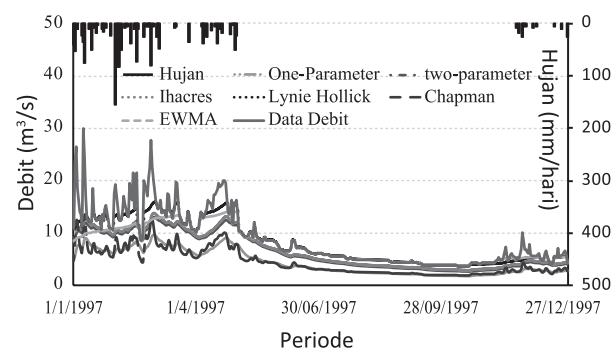
Visualisasi untuk membandingkan hidrograf aliran total di sungai atau debit terukur dengan debit aliran dasar hasil perhitungan menggunakan enam (6) metode filter pada DAS pekalen ditampilkan pada gambar (5). Terlihat bahwa metode filter *Lynie-Hollick* dan *EWMA* mengestimasi aliran dasar pada musim kemarau relatif mendekati debit terukur di Sungai. Sebaliknya, pada musim penghujan aliran dasar dihitung relatif tinggi. Kedua metode merespon bahwa besar hujan yang jatuh pada saat musim hujan, berpengaruh positif terhadap infiltrasi dan meningkatnya aliran air tanah (groundwater). Selanjutnya, peningkatan air tanah

akan menyumbang terhadap kenaikan aliran dasar di Sungai. Hal ini juga ditunjukkan oleh terpisahnya KDA pada gambar 4. Sebaliknya, metode one-parameter cenderung menghitung aliran dasar pada level yang konstan antara musim kemarau dan penghujan. Adapun, tiga (3) metode lainnya (*Boughthon – two parameter*, *Ihacres*, dan *Chapman*) cenderung mengestimasi aliran dasar lebih rendah.

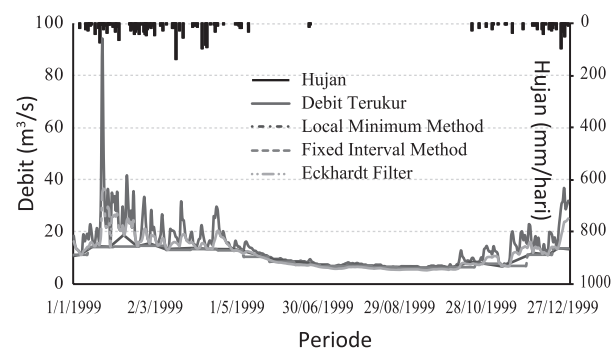
Visualisasi yang sama untuk dua metode grafis (minimum lokal dan interval tetap) dan filter *Eckhardt* pada DAS Pekalen ditampilkan oleh gambar 6. Terlihat bahwa metode filter *Eckhardt* dan metode minimum lokal cenderung memprediksi aliran dasar lebih tinggi pada saat kejadian banjir besar (Januari - Mei 1997), sementara metode interval tetap (*fixed interval*) menghitung aliran dasar lebih rendah dari dua metode tersebut.

Nilai Baseflow Index (BFI)

Indek aliran dasar (IAD) atau *Baseflow index (BFI)* menyatakan perbandingan besarnya aliran dasar terhadap debit total di Sungai (*Institute of Hydrology, 1980*). IAD menunjukkan proporsi (*rasio*) antara aliran dasar terhadap debit aliran total di Sungai. Menurut Tallaksen and Van Lannen (2004), nilai IAD yang berkisar 0.9 menunjukkan DAS yang *permeabel*. Nilai IAD yang tinggi menggambarkan DAS yang memiliki jenis aliran relatif stabil (*stable flow regime*) dan DAS tersebut mampu memberikan suplai air ke Sungai, meskipun pada kondisi musim kemarau yang cukup panjang. Nilai IAD yang rendah (antar 0.15 – 0.2) menunjukkan DAS yang



Gambar 5. Pemisahan aliran dasar DAS Pekalen zoom: 1 Januari - 31 Desember 1997



Gambar 6. Hasil pemisahan aliran dasar pada DAS Pekalen Zoom: 1 Jan – 31 Des 1999

Tabel 10. Ringkasan statistik nilai BFI (Baseflow Index) rerata 1996 sd 2005.

Metode	DAS yang diuji					
	Rondodingo	Rejoso	Kramat	Welang	Kadalpang	Pekalen
<i>One parameter</i>	0.54	0.5	0.57	0.52	0.58	0.51
<i>Two parameter</i>	0.88	0.82	0.85	0.83	0.8	0.83
<i>IHACRES</i>	0.78	0.70	0.80	0.74	0.8	0.74
<i>Chapman</i>	0.98	0.50	0.91	0.50	0.94	0.92
<i>Lynie & Hollick</i>	0.50	0.94	0.52	0.91	0.50	0.50
<i>EWMA</i>	0.99	0.93	0.9	0.9	0.93	0.94
<i>Eckhardt</i>	0.82	0.81	0.84	0.86	0.82	0.83
<i>Minimum Lokal</i>	0.77	0.89	0.70	0.79	0.67	0.84
<i>Fixed Interval</i>	0.83	0.86	0.75	0.84	0.73	0.87

impermeabel dengan debit aliran yang cepat hilang (*flashy flow regime*). Pada penelitian ini *BFI* dihitung setiap hari (tiap interval waktu) sepanjang periode data debit yang digunakan (1996 sd 2005). Tabel (10) meringkaskan *BFI* rerata dari semua metode yang digunakan pada semua DAS.

Metode Grafis (minimum lokal dan interval tetap) cenderung menghasilkan nilai *BFI* rerata tinggi. Hal ini karena metode grafis memperkirakan aliran dasar dari satu kejadian hidrograf ke lainnya dengan mempertimbangkan nilai debit terendah pada setiap interval. Pada musim penghujan, interval kejadian debit juga menghasilkan debit terendah yang cukup besar, sehingga kontribusi terhadap aliran dasar juga dihitung besar. Metode one parameter, Ihacres dan minimum local cenderung menghasilkan nilai *BFI* yang lebih rendah dibanding metode lainnya. Nilai *BFI* rerata yang tinggi menunjukkan DAS dengan ketersediaan air baik musim kemarau maupun penghujan yang cukup baik, sementara *BFI* rerata yang rendah menunjukkan DAS dengan kontribusi aliran dasar yang cukup rendah. Dari tabel 10 terlihat bahwa enam metode (two parameter, ihacres, EWMA, Eckhardt, minimum lokal, dan interval tetap) menghasilkan perhitungan *BFI* rerata lebih dari 0.7 dan konsisten pada semua DAS. Sementara tiga metode (one parameter, Chapman, dan lyne Hollick) cenderung menghasilkan nilai *BFI* rerata rendah dan cenderung tidak stabil.

Pada kasus DAS-DAS di UPT PSDA Pasuruan, metode filter (*Lynie-Hollick*, *EWMA*) dan metode grafis (interval tetap) dapat memisahkan aliran dasar pada musim penghujan dan mengestimasi aliran dasar musim kemarau lebih tepat dibanding metode lainnya, hal ini didukung oleh visualisasi grafik KDA dan hidrograf. Selanjutnya, tiga metode filter (*one parameter*, *Boughthon-two parameter* dan *Ihacres*) cenderung mengestimasi aliran dasar lebih rendah, baik pada musim kemarau maupun musim penghujan. Metode filter Eckhardt dan minimum lokal cenderung mengestimasi aliran dasar lebih tinggi dari metode lain.

Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum baik metode filter maupun metode grafis dapat digunakan untuk mengestimasi aliran dasar pada wilayah tersebut. Beberapa metode cenderung mengestimasi aliran dasar lebih tinggi dan yang lain cenderung mengestimasi lebih rendah. Hasil penelitian merekomendasikan metode EWMA dan Fixed Interval untuk digunakan di wilayah UPT PSDA Pasuruan. Hasil penelitian juga menunjukkan perhitungan nilai *BFI* rerata yang relatif cukup tinggi > 0.7 dan stabil pada semua DAS. Ketidakstabilan perhitungan nilai *BFI* rerata lebih disebabkan oleh faktor metode yang digunakan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan pada Dinas Pengairan Provinsi Jawa Timur, DP2M-DIKTI, para mahasiswa PS-TEP dan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Brodie, R., and S. Hostetler. 2007. An overview of tools for assessing groundwater-surface water connectivity. Bureau of Rural Sciences, Canberra. ross.s.brodie@brs.gov.au.
- Boussinesq, J., 1904. Recherches thoretique sur l'rcoulement des nappes d'eau infiltrés dans le sol et sur le debit des sources. J. Math. Pure Appl., 10 (5th series), 5-78. Cited by Hall.
- Boughton, W.C. 1993. A hydrograph-based model for estimating water yield of ungauged catchments. Institute of Engineers Australia National Conference. Publ. 93/14, 317-324.
- Chapman, T.G., and A.I. Maxwell. 1996. Baseflow Separation - Comparison Of Numerical Methods With Tracer Experiments. Water Resour. Hobart : Institute of Engineers Australia.

- Chapman, T.G. 1991. Comment on evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses, by R.J. Nathan and T.A. McMahon. *Water Resources Research*, 27(7), 1783-1784.
- Chapman T.G., and A.I. Maxwell. 1996. Baseflow separation – comparison of numerical methods with tracer experiments. Institute Engineers Australia National Conference. Publ. 96/05, 539-545.
- Eckhardt, K. 2005. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes* 19, 507-515.
- Eckhardt, K., 2008. A comparison of base flow indices, which were calculated with seven different base flow separation methods. *J. Hydrol.*, 352, 168–173.
- Gonzales, A.L., J. Nonner, J. Heijkers and S. Uhlenbrook. 2009. Comparison of different base flow separation methods in a lowland Catchment. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13, 2055–2068, 2009. www.hydrol-earth-syst-sci.net/13/2055/2009/.
- Gregor, M., 2012. Hydrooffice User Manual version 2012. <http://hydrooffice.org>
- Hall, F. R., 1968. Baseflow recessions – a review. *Water Resources Research* 4(5), 973-983.
- Hall, A.J., 1971. Baseflow recessions and the baseflow hydrograph separation problem. *Hydrology papers* 1971, The Institution of Engineers, Australia, pp: 159 – 170.
- Horton, R.E., 1933. The role of infiltration in the hydrological cycle. *Trans. Am. Geophys. Union*, 14, 446-460.
- INSTITUTE OF HYDROLOGY, 1980. Low flow studies. Res. Rep. 1. Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- Indarto, W. Suhardjo, P.S. Agung. 2013. Physical properties and flow Duration Curves of 15 Watersheds in East Java. *Agritech*. Vol 33, No. 4, November 2013.
- Jakeman, A.J. and G.M. Hornberger. 1993. How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model. *Water Resources Research* 29, pp2637-2649.
- Lyne, V., and M. Hollick. 1979. Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. Institute of Engineers Australia National Conference. Publ. 79/10, 89-93.
- Murphy, R., Z. Graszekiewicz, P. Hill, B. Neal, R. Nathan, To. Ladson. 2009. Australian rainfall and runoff revision. Project 7: baseflow for catchment simulation. Stage 1 report – volume 1 - selection of approach. AR&R Report Number, P7/S1/004, ISBN: 978-085825-9218, Engineers Australia, Engineering House 11, National Circuit, Barton ACT 2600.
- Mau, D.P., and T.C. Winter. 1997. Estimating ground-water recharge from streamflow hydrographs for a small mountain watershed in a temperate humid climate. New Hampshire, USA. *Ground Water*, 35(2), 291-304.
- Nathan R.J. and T.A. McMahon. 1990a. Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analysis. *Water Resources Publications : USA*. 26(7):1465-1473.
- Nathan R.J. and T.A. McMahon. 1990b. Estimating low flow characteristics in ungauged catchments. *Water Res. Manage.* 6 85-100.
- Sloto, R.A., M.Y. Crouse. 1996. HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations, Report 96-4040 Pennsylvania, 46 p.
- Smakhtin V.U. 2001a. Estimating continuous monthly baseflow time series and their possible applications in the context of the ecological reserve. *Water SA* 27(2) 213-217.
- Smakhtin, V.U. 2001b. Low flow hydrology: a review. *J Hydrology* 240, 147-186.
- Tallaksen, L.M., 1995. A review of baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology* 165:349-370.
- Tallaksen, L.M., H.A.J. van Lanen eds., 2004. *Hydrological Drought—Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Developments in Water Science, 48. Amsterdam, Elsevier Science B.V, ISBN 0-444-51688-3, pp. 579.

LAMPIRAN

Tabel 1. Beberapa metode RDF untuk memisahkan aliran dasar dan menghitung BFI

Nama Filter	Persamaan Filter	Referensi
One-parameter algorithm	$q_{b(i)} = \frac{k}{2-k} q_{b(i-1)} + \frac{1-k}{2-k} q_{(i)} \quad (\text{persamaan 1})$	Chapman and Maxwell (1996)
Boughton two-parameter algorithm	$q_{b(i)} = \frac{k}{1+C} q_{b(i-1)} + \frac{C}{1+C} q_{(i)} \quad (\text{persamaan 2})$	Boughton (1993); Chapman and Maxwell (1996)
IHACRES two-parameter algorithm	$q_{b(i)} = \frac{k}{1+C} q_{b(i-1)} + \frac{C}{1+C} (q_{(i)} + \alpha_q q_{(i-1)}) \quad (\text{persamaan 3})$	Jakeman and Hornberger (1993)
Lyne & Hollick algorithm	$q_{f(i)} = \alpha q_{f(i-1)} + (q_{(i)} - q_{(i-1)}) \frac{1+\alpha}{2} \quad (\text{persamaan 4})$	Lyne and Hollick (1979), Nathan and McMahon (1990 ab)
Chapman algorithm	$q_{f(i)} = \frac{3\alpha-1}{3-\alpha} q_{f(i-1)} + \frac{2}{3-\alpha} (q_{(i)} - \alpha q_{(i-1)}) \quad (\text{persamaan 6})$	Chapman (1991); Mau and Winter (1997)
Eckhardt Filter	$q_{b(i)} = \frac{(1 - BFI_{max}) \alpha q_{(i-1)} + (1 - \alpha) BFI_{max} \times q_i}{1 - \alpha BFI_{max}} \quad (\text{persamaan 7})$	Eckhardt (2005)

Keterangan :

- $q_{(i)}$: nilai aliran total pada hari ke i
 $q_{b(i)}$: nilai aliran dasar pada hari ke i
 $q_{f(i)}$: nilai aliran cepat atau *quick flow/direct run off* pada hari ke i
 $q_{(i-1)}$: nilai aliran total pada hari ke $(i - 1)$
 $q_{b(i-1)}$: nilai aliran dasar pada hari ke $(i - 1)$
 $q_{f(i-1)}$: nilai aliran cepat pada hari ke $(i - 1)$
 k : parameter filter ~ konstanta resesi
 α : parameter filter
 C : parameter filter.
 BFI_{max} : Nilai BFI (*baseflow index maksimum*).

Tabel 4. Jenis tata guna lahan

Tata Guna Lahan	Persentase per luas DAS (%)					
	DAS Rondodingo	DAS Rejoso	DAS Kramat	DAS Welang	DAS Kadalpang	DAS Pekalen
Hutan	31	8.6	1.5	37.7	10.2	27.6
Kebun	7	17.5	24.6	28.6	7.7	7.8
Ladang	10.6	43.3	57.9	17.2	13.6	48.9
Pemukiman	5.6	4.2	4.4	10.8	13.4	1.8
Sawah irigasi	11.9	7.7	2.7	5.5	38.6	3.8
Semak belukar	29.7	17.4	2.4	5.9	9.4	8.4

Tabel 5. Jenis tanah enam DAS di wilayah UPT PSDA Pasuruan

Jenis Tanah	DAS Rondodingo	DAS Kramat	DAS Welang	DAS Kadalpang	DAS Pekalen
Aluvial	1.0	-	-	16.9	-
Andosol	40.4	47.9	42.4	45	0.5
Grumusol	29.7	31.5	20	30.1	14.3
Mediteran	23.3	11.3	46.5	8	82.9
Regosol	5.4	9.3	10.9	-	-
Latosol				2.3	11.8