

*Technical Paper*

## **Pengembangan Mesin Penanam dan Pemupuk Jagung Terintegrasi dengan Pengolahan Tanah Alur**

### *Development of an Integrated Machine for Corn Planting, Fertilizing and Strip Tillage*

Agustami Sitorus, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Institut Pertanian Bogor.

Email: [at.sitorus@gmail.com](mailto:at.sitorus@gmail.com)

Wawan Hermawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Email: [w\\_hermawan@ipb.ac.id](mailto:w_hermawan@ipb.ac.id)

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

Email: [iwan\\_radit@yahoo.com](mailto:iwan_radit@yahoo.com)

#### **Abstract**

*The prototype of integrated corn planter and fertilizer applicator for strip tillage has been developed. The development was done by using wheel axis of hand tractor for driven rotor fertilizer applicator and metering device corn planter. Planting furrows were made into two furrows on a single pass with strip tillage. The objective of this study was to develop and to conduct performance test of the corn planting and fertilizing for strip tillage. Stationer test result showed that the fertilizer applicator and corn planter performance could be metering 20.71 g/m NPK fertilizer and 1-3 seeds of corn per planting hole respectively. Field test result showed that the fertilizer applicator and corn planter performance could be metering 15.88 g/m NPK fertilizer and 1-2 seeds of corn per planting hole respectively. Mean seed spacing was 21.5 cm which was longer than the theoretical seed spacing (20 cm). Fertilizer and seed hopper capacity were 16.53 kg and 1kg respectively. Effective fieldcapacity was 0.147 ha/h (low-1) and 0.350 ha/h (low-2) and efficiency for respective speed was 76.24% and 83.78%.*

**Keywords:** *intergrated machine, corn planter, fertilizer applicator, strip tillage*

#### **Abstrak**

Prototipe mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dengan pengolahan tanah tipe alur telah dikembangkan. Pengembangan dilakukan menggunakan poros roda traktor sebagai penggerak poros penjatah pupuk dan benih. Alur tanam dibuat menjadi dua alur tanam dalam satu lintasan dengan pengolahan tanah tipe alur. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan dan menguji mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dengan pengolahan tanah tipe alur. Hasil pengujian stasioner menunjukkan bahwa unit pemupuk dapat menjatah pupuk 20.71 g/m alur tanam dan unit penanam dapat menjatah 1-3 per lubang tanam. Hasil pengujian di lapangan untuk unit pemupuk menunjukkan bahwa unit pemupuk dapat menjatah pupuk 15.88 g/m dan unit penanam dapat menjatah 1-2 benih per lubang tanam. Jarak tanam rata-rata dari benih tersebut adalah 21.5 cm dimana jarak tanam ini masih lebih besar dari jarak tanam teoritis yakni sebesar 20 cm. Hopper pupuk dapat menampung pupuk NPK 16.53 kg dan hopper benih dapat menampung jagung 1 kg. Kapasitas lapangan efektif ( $K_{LE}$ ) mesin adalah 0.147 ha/jam (*low-1*) dan 0.350 ha/jam (*low-2*) dengan efisiensi berturut turut 76.24% dan 83.78%.

**Kata kunci:** mesin terintegrasi, p-enanam jagung, pemupuk, pengolahan tanah alur

*Diterima: 03 Maret 2015; Disetujui: 07 Juli 2015*

#### **Pendahuluan**

Jagung (*Zea mays*) merupakan salah satu tanaman sereal yang strategis dan bernilai ekonomis. Peluang pengembangan tanaman ini sangat besar karena kedudukannya sebagai sumber utama karbohidrat dan protein setelah beras. Selain menjadi tanaman pangan, jagung juga

merupakan pakan bagi ternak. Hal ini menjadikan jagung sebagai salah satu komoditas penting di Indonesia. Luas lahan budidaya jagung di Indonesia terus mengalami penurunan rata-rata sebesar 0.3% pertahun dari tahun 2010 hingga 2013 sedangkan target produksi jagung tahun 2014 diperkirakan naik 0.2% (BPS2014), sehingga untuk menunjang keberhasilan peningkatan produksi tersebut

memerlukan penerapan teknologi yang salah satunya adalah penerapan teknologi mekanisasi dalam budidaya jagung.

Proses budidaya jagung memiliki beberapa tahap yaitu (1) persiapan lahan (pengolahan tanah, pemberian pupuk awal dan pembuatan guludan), (2) proses budidaya (penanaman benih), (3) perawatan dan (4) panen dengan umur tanam hingga panen selama tiga bulan. Pada proses persiapan lahan dan proses budidaya jagung setidaknya membutuhkan 10 tenaga kerja per ha (Pitoyo dan Sulistyosari, 2006). Sebagai contoh dalam pembuatan guludan dengan menggunakan cangkul setidaknya dibutuhkan 176 jam untuk luas lahan satu ha. Pada proses penanaman setidaknya diperlukan 20 hari kerja petani per ha (Hendriadi *et al.*, 2008). Tetapi jika proses budidaya dilakukan dengan alat tanam yang terintegrasi traktor roda dua maka waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pengolahan tanah, pemupukan dan penanaman adalah 7.7 jam per ha luas lahan (Hermawan, 2011). Hal ini cukup efisien dalam memangkas waktu dan biaya operasional selama proses budidaya.

Pengintegrasian proses penting dilakukan untuk meningkatkan kinerja dari penggunaan traktor tangan dalam budidaya jagung. Beberapa bagian kerja yang dapat digabungkan tanpa mengurangi keberhasilan dari proses budidaya jagung diantaranya adalah proses pengolahan tanah, pemupukan dan penanaman. Prototipe mesin yang terintegrasi tersebut telah berhasil didesain dan telah ditingkatkan kinerja melalui beberapa modifikasi (Syafri, 2010; Hermawan, 2011). Prototipe mesin tersebut dapat melakukan proses pengolahan tanah menggunakan pisau rotari dengan lebar kerja 75 cm dan membuat guludan. Pemupukan awal dilakukan dengan tiga jenis pupuk. Pupuk ditempatkan di samping benih yang ditanam. Penanaman dilakukan satu alur dalam satu lintasan dengan jarak tanam 20 cm dalam barisan dan 75 cm antar baris. Mekanisme penjataan pupuk dan penjataan benih menggunakan transmisi rantai-sproket dari roda bantu.

Kendala utama yang dihadapi pada prototipe sebelumnya adalah terjadinya kemacetan pada penjataan pupuk dan benih disebabkan oleh beban yang harus diatasi oleh roda bantu. Oleh sebab itu dilakukan pengembangan mesin penanam jagung terintegrasi guna meningkatkan lagi kinerjanya. Beberapa hal yang dapat dikembangkan yaitu (1) sumber putaran penjataan pupuk dan benih menggunakan poros roda traktor, (2) penggunaan metode pengolahan tanah tipe alur, (3) penggunaan metode penanaman jajarlegowo (100×50)×20cm, (4) peningkatan kapasitas unit pemupuk dan menggunakan pupuk NPK, (5) pemupukan dilakukan dengan cara penebaran di dalam tanah, (6) penambahan jumlah alur tanam dalam satu lintasan traktor. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji mesin penanam dan

pemupuk jagung terintegrasi dengan pengolahan tanah tipe alur.

## Bahan dan Metode

### Tahapan Perancangan

Penelitian ini dilakukan berdasarkan kaidah perancangan (pengembangan) dengan beberapa tahapan: (1) mengidentifikasi kinerja mesin sebelumnya, (2) merumuskan ide perancangan hasil identifikasi, (3) mengukur karakteristik benih jagung dan pupuk NPK, (4) menganalisis komponen mesin yang akan dikembangkan, (5) pembuatan gambar kerja mesin penanam dan pemupuk, (6) pembuatan (fabrikasi) mesin penanam dan pemupuk dan (7) menguji kinerja mesin pemupuk dan penanam yang dikembangkan.

### Alat dan Bahan

Peralatan utama yang diperlukan dalam kegiatan pengembangan mesin ini meliputi (1) peralatan untuk membuat mesin dan (2) instrumen untuk pengujian kinerja di lapangan. Peralatan untuk membuat mesin adalah (1) peralatan bengkel konstruksi, (2) mesin perbengkelan dan pengerjaan logam, (3) meteran, jangka, busur derajat dan pita ukur, (4) komputer dan perlengkapannya. Peralatan/instrumen untuk pengujian kinerja di lapangan adalah (1) timbangan digital tipe DJ-A1000, (2) *tachometer* tipe DT-1236L, (3) *stopwatch*, (4) meteran dan pita ukur, (5) instrumen pengukuran kondisi tanah (penetrometer tipe SR-2, *ring sample*).

Bahan yang digunakan untuk konstruksi mesin adalah (1) plat baja berbagai ukuran, (2) plat *stainless*, (3) baut dan mur berbagai jenis, (4) sproket dan rantai berbagai ukuran, (5) *pillowblock* dengan berbagai ukuran, (6) besi poros berbagai ukuran, dan (7) bahan habis pakai untuk pengujian (bahan bakar, pupuk NPK dan benih jagung).

### Rancangan Fungsional

Secara keseluruhan konsep pengembangan mesin penanam dan pemupuk jagung dengan pengolahan tanah alur dapat dilihat pada Gambar 1. Komponen yang melakukan kerja sesuai dengan fungsi dari mesin yang dirancang sebagai berikut:

- a. Pisau rotari berfungsi untuk melakukan pemotongan dan pengolahan tanah sekaligus mencampurkan tanah dengan pupuk yang dijatahkan.
- b. Rangka mesin berfungsi sebagai tempat melekatnya *hopper* benih dan pupuk. Rangka mesin kemudian digandengkan pada titik gandeng yang ada diatas dek rotari.
- c. Sistem transmisi berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan sistem penggerak dari poros roda traktor ke poros pupuk dan poros benih.
- d. Pembuka alur dan penyalur benih berfungsi

untuk membuka alur tanam dan menyalurkan benih.

- e. *Hopper* berfungsi sebagai wadah untuk menampung benih atau pupuk yang akan diaplikasikan.
- f. *Metering device* berfungsi untuk mengatur penjataan benih atau pupuk sesuai dengan kebutuhan.

**Sumber Putaran Penjatah Pupuk dan Benih**

Penjatah pupuk dan penjatah benih diputar oleh tenaga putar poros roda traktor (Gambar 2). Poros roda traktor menghasilkan torsi yang dibutuhkan untuk memutar poros unit pemupuk dan poros unit penanam. Poros roda traktor diberi sproket dan rantai sebagai transmisi ke poros pupuk dan poros benih. Perancangan transmisi ini dilakukan tanpa mengubah posisi apapun dari traktor. Hal ini dilakukan agar tidak mengganggu kinerja dari traktor.

**Sistem Penjataan Pupuk**

Sistem penjataan pupuk disesuaikan dengan kebutuhan pupuk awal dari tanaman jagung. Pemupukan awal menurut Touchton dan Karim (1985) dapat meningkatkan hasil panen jagung. Selain hal tersebut diketahui bahwa dosis pemupukan awal untuk tanaman jagung adalah 22.4 kg N/ha, 22.4 kg P/ha dan 11.2 kg S/ha atau

setara dengan 150 kg pupuk NPK jenis phonska (Mullins *et al.*, 1997). Hal ini menjadi dasar dalam penentuan dosis pupuk yang akan dijatahkan. Untuk menentukan dosis pupuk per meter alur tanam maka digunakan Persamaan 1.

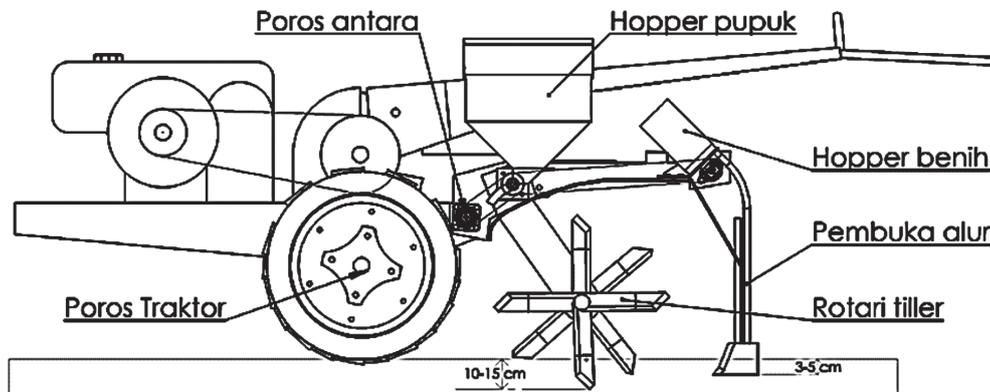
$$P_{p1m} = \frac{D_p \times a}{10} \tag{1}$$

Dalam hal ini  $P_{p1m}$  adalah jumlah pupuk yang dijatahkan per meter panjang alur tanam (g/m),  $D_p$  adalah dosis pupuk NPK (kg/ha) dan  $a$  adalah jarak antar baris tanaman (m).

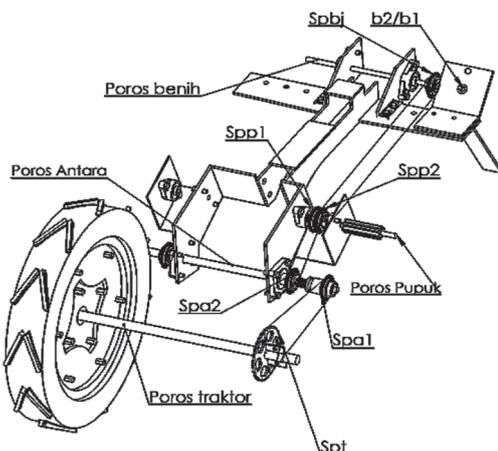
Jumlah pupuk yang dijatahkan per putaran rotor penjatah dipengaruhi oleh rasio transmisi rantai-sproket dan tingkat kemacetan roda penggerak. Tingkat kemacetan roda penggerak diduga adalah berupa *sliding* dari roda traktor. Jumlah celah rotor dan volume rotor dirancang setelah memperoleh dosis pupuk yang dijatahkan menggunakan Persamaan 2.

$$P_{1prt} = P_{p1m} \times (\pi \times D_{rt} \times (1 + k_{rp})) \times \frac{S_{pa1}}{S_{pt}} \times \frac{S_{pp1}}{S_{pa2}} \tag{2}$$

Dalam hal ini  $P_{1prt}$  adalah jumlah pupuk yang harus dijatahkan per putaran rotor penjatah (g),  $D_{rt}$  adalah diameter roda traktor (m),  $k_{rp}$  adalah tingkat kemacetan roda penggerak (desimal),  $S_{pa1}$  adalah jumlah gigi sproket-1 poros antara,  $S_{pa2}$  adalah



Gambar 1. Sketsa modifikasi tampak samping.



Gambar 2. Sitem transmisi dari poros roda traktor sampai poros benih.

**Keterangan :**

- $S_{pt}$  : Sproket poros traktor
- $S_{pa1}$  : Sproket-1 poros antara
- $S_{pa2}$  : Sproket-2 poros antara
- $S_{pp1}$  : Sproket-1 poros pupuk
- $S_{pp2}$  : Sproket-2 poros pupuk
- $S_{pbj}$  : Sproket benih
- $b_2/b_1$  : Rasio bevel gear

jumlah gigi sproket-2 poros antara,  $S_{pt}$  adalah jumlah gigi sproket roda traktor,  $S_{pp1}$  adalah jumlah gigi sproket poros pupuk.

Proses pemupukan awal menggunakan metode penebaran di dalam tanah (*broadcast incorporated*). *Hopper* pupuk diletakkan diatas dek rotari dengan saluran pengeluaran didepan pisau rotari. Pupuk yang dijatahkan rotor penjatah akan jatuh di depan pisau rotari dan akan teraduk bersama dengan tanah ketika pisau rotari mengolah tanah. Hal ini menjadikan pupuk tersebar di alur pengolahan tanah yang akan ditanami dengan benih jagung. *Hopper* pupuk dirancang pada sisi kanan dan kiri diatas dek rotari.

**Sistem Penjatahan Benih**

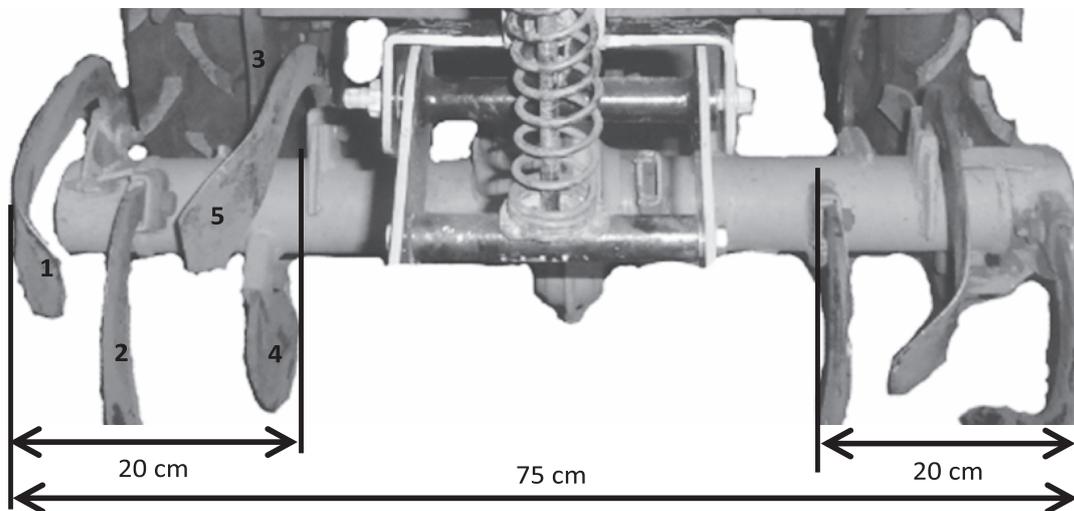
Sistem penjatahan benih dilakukan dengan menggunakan sistem transmisi yang terhubung dengan poros pupuk sebelah kiri (Gambar 2). Penjatahan benih harus memperhatikan aspek jarak tanam dan kedalaman penempatan benih. Kedalaman penempatan benih yang umum digunakan adalah 2.5-5 cm (Hendriadi *et al.*, 2008). Jarak tanam yang akan diterapkan menggunakan sistem jarak tanam jajarlegowo 2:1 yang mampu meningkatkan produktivitas jagung (Srihartono *et al.*, 2013). Jarak tanam benih dalam satu baris adalah 20 cm. Jarak tanam ini menjadi dasar

dalam penentuan jumlah celah dan jumlah gigi sproket yang akan digunakan. Jumlah gigi sproket dan jumlah celah penjatah benih yang didesain ditentukan menggunakan Persamaan 3.

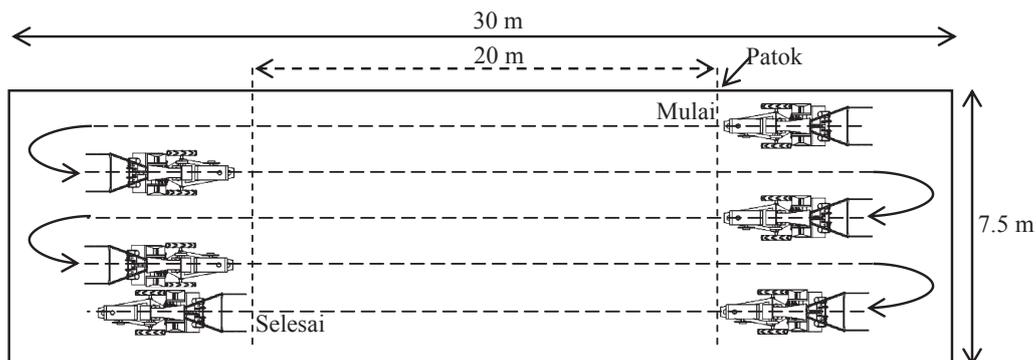
$$J_{ib} = \frac{(\pi \times D_{rt} \times (1 + k_{rp})) \times \frac{S_{pbl}}{S_{rt}} \times \frac{S_{pp1}}{S_{pb2}} \times \frac{S_{pbj}}{S_{pp2}} \times \frac{b_2}{b_1}}{J_c} \quad (3)$$

Dalam hal ini  $J_{tb}$  adalah jarak tanam benih (m),  $D_{rt}$  adalah diameter roda traktor (m),  $k_{rp}$  adalah tingkat kemacetan roda penggerak (desimal),  $S_{pp2}$  adalah jumlah gigi sproket2 poros pupuk,  $S_{pbj}$  adalah jumlah gigi sproket2 benih jagung,  $b_2$  adalah jumlah gigi *bevel gear* pada poros penjatah benih,  $b_1$  adalah jumlah gigi *bevel gear* pada poros penjatah benih dan  $J_c$  adalah jumlah celah penjatah benih.

Pembuka alur yang akan digunakan adalah tipe *shoe*. Hal ini didasarkan pada ketepatan kedalaman penanaman benih, tipe pembuka alur *shoe* lebih tepat dibanding tipe *shovel* dan tipe *hoe* (Darmora dan Pandey, 1994). Pembuka alur ini akan membuka alur tanam dengan kedalaman 3-5 cm dan lebar alur 2 cm. Hasil penanaman dengan menggunakan tipe pembuka alur *shoe* pada kondisi tanah gembur dapat menempatkan benih sehingga benih dapat tertanam di dalam tanah.



Gambar 3. Pisau rotari yang digunakan.



Gambar 4. Layout lahan uji mesin penanam jagung terintegrasi

### Pengolahan Tanah

Pengolahan tanah alur dilakukan dengan cara memodifikasi jumlah pisau rotari dengan tetap mempertimbangkan kestabilannya. Metode pengolahan tanah minimum dipilih karena metode ini masih lebih baik dari pada metode tanpa pengolahan tanah pada tanaman jagung (Fabrizzi *et al.*, 2004). Sedangkan hasil yang diperoleh dari pengolahan tanah penuh tidak berbeda signifikan dari metode pengolahan tanah minimum (Castellini dan Domenico, 2012). Oleh sebab itu, mesin yang dikembangkan menggunakan pengolahan tanah minimum tipe alur. Modifikasi pisau rotari yang dilakukan adalah dengan caranya mengatur pisau rotari menjadi lima buah dari sisi kanan dan lima buah dari sisi kiri seperti pada Gambar 3. Hal ini akan menjadikan pengolahan tanah terkonsentrasi pada sisi kanan dan kiri dari traktor.

### Metode Pengujian

Pengujian terhadap mesin yang dirancang dilakukan dalam dua tahap yaitu uji stasioner dan pengujian di lapangan. Uji stasioner dilakukan untuk mengukur tingkat keseragaman unit penjatah benih dan dosis penjatahan pupuk. Pengujian dilakukan dengan cara mendongkrak roda traktor hingga traktor tidak dapat bergerak maju ketika mesin dihidupkan. Mesin dihidupkan dan diatur putaran mesin hingga 1800 rpm. Jumlah pupuk dan benih yang dijatahkan oleh masing-masing unit ditampung dan diukur.

Pengujian di lapangan dilakukan setelah mendapatkan tingkat keseragaman yang baik pada pengujian stasioner. Pengujian di lapangan terdiri dari (1) pengukuran keseragaman jarak tanam dan kedalaman penempatan benih, (2) pengukuran dosis penjatahan pupuk di lapangan, (3) pengukuran hasil pengolahan tanah meliputi lebar dan kedalaman pengolahan tanah dan (4) pengukuran kapasitas lapangan teoritis dan efektif dengan kecepatan *low-1* dan *low-2*.

Pengukuran kapasitas lapangan teoritis dan kapasitas lapangan efektif dilakukan dengan cara seperti berikut: (1) disiapkan lahan uji seperti pada Gambar 5, (2) dicatat waktu mulai kerja, (3) dilakukan pengukuran kecepatan maju dengan ulangan, (4) dicatat waktu untuk menyelesaikan seluruh petakan, (5) dihitung kecepatan maju traktor ( $V_t$ ) dengan mengukur waktu tempuh ( $t_{20}$ ) dalam jarak antar patok 20 meter. Kapasitas lapangan teoritis ( $K_{LT}$ ), kapasitas lapangan efektif ( $K_{LE}$ ) dan efisiensi lapangan ( $E_t$ ) dapat dihitung menggunakan Persamaan 4-7.

$$K_{LE} = \frac{A \times 60}{t \times 10^4} \quad (4)$$

$$K_{LT} = 0.36 \times L_t \times V_t \quad (5)$$

$$E_t = \frac{20}{t_{20}} \quad (6)$$

$$E_t = \frac{K_{LE}}{K_{LT}} \times 100\% \quad (7)$$

Dalam hal ini  $K_{LE}$  adalah kapasitas lapangan efektif (ha/jam),  $K_{LT}$  adalah kapasitas lapangan teoritis (ha/jam),  $A$  adalah luas lahan petakan ( $150 \text{ m}^2$ ),  $t$  adalah waktu kerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu petakan (menit),  $L_t$  adalah jarak antar baris tanaman,  $V_t$  adalah kecepatan maju traktor (m/s),  $t_{20}$  adalah waktu tempuh pada jarak 20 m (s),  $E_t$  adalah efisiensi lapangan (%).

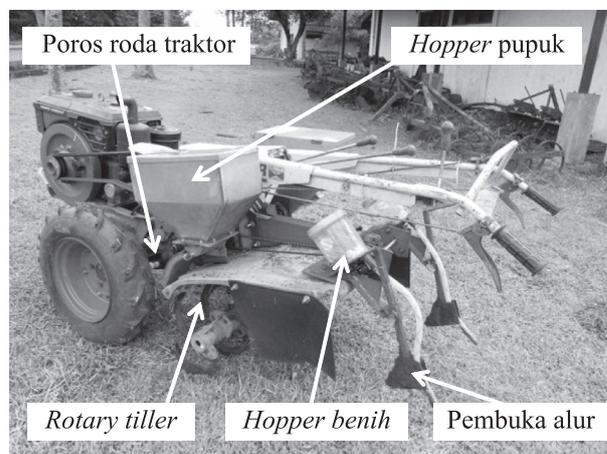
## Hasil dan Pembahasan

### Karakteristik Pupuk dan Benih

Hasil pengukuran dari beberapa karakteristik pupuk NPK yang mempengaruhi perancangan adalah rata-rata diameter pupuk NPK adalah 4.1 mm dengan gaya potong maksimum sebesar 2.14 N. *Angle of repose* dan *bulk density* dari pupuk NPK yaitu  $30.65^\circ$  dan  $0.914 \text{ g/cc}$ . Karakteristik dari benih jagung jagung hibrida yang mempengaruhi perancangan yang juga diukur adalah rata-rata panjang, lebar dan tebal yaitu 9.10 mm, 7.92 mm dan 6.15 mm dengan gaya potong maksimum sebesar 53.81 N. *Angle of repose* dan *bulk density* dari benih jagung hibrida yaitu  $28.22^\circ$  dan  $0.757 \text{ g/cc}$ .

### Hasil Perancangan dan Uji Kinerja Mesin

Kapasitas lapangan efektif ( $K_{LE}$ ) dari mesin yang dirancang pada kecepatan *low-1* (1.28 km/jam) adalah 0.147 ha/jam dan *low-2* (2.79 km/jam) adalah 0.35 ha/jam. Efisiensi lapangan pada masing-masing kecepatan adalah 76.24% (*low-1*) dan 83.78% (*low-2*). Rata-rata waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pengolahan tanah, pemupukan dan penanaman dengan menggunakan mesin yang dikembangkan adalah 4 jam per ha. Waktu operasi ini 3.7 jam lebih singkat dibandingkan dengan mesin yang dirancang Hermawan (2011) pada luasan yang sama. Peningkatan kapasitas



Gambar 5. Prototipe mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi.

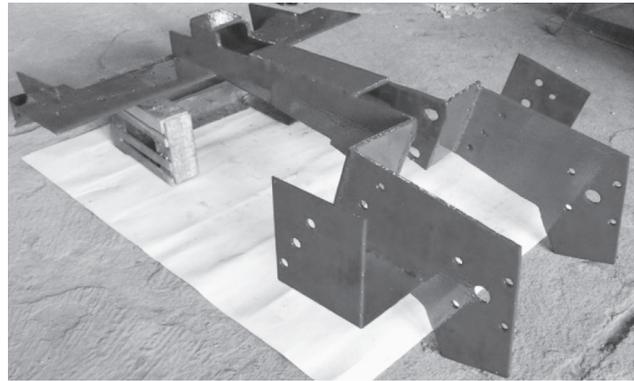
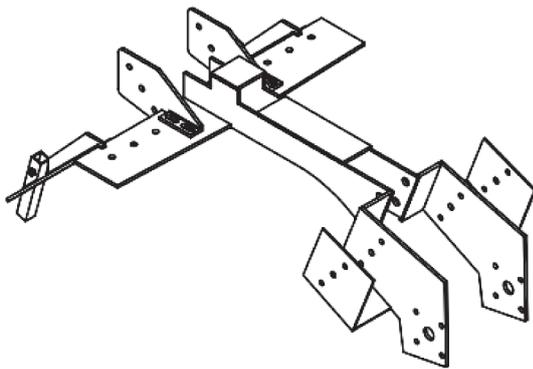
lapangan efektif ini disebabkan oleh penambahan jumlah alur tanam dalam sekali lintasan.

Mesin penanam dan pemupuk terintegrasi ini dirancang untuk tidak mengganggu dan mengurangi kinerja dari traktor. Oleh sebab itu diperlukan rangka untuk melekatnya unit penanam dan pemupuk tersebut seperti pada Gambar 6. Rangka ini dirancang sedemikian rupa agar dapat menopang unit pemupuk dan penanam.

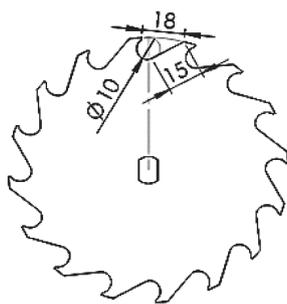
Berdasarkan hasil pengujian karakteristik pupuk dan benih jagung yang dilakukan maka dirancang rotor pupuk tipe *edge cell* (tipe ini paling baik untuk menjatah pupuk pada mesin pemupuk jagung (Ichniarsyah *et al.*, 2013), penjatahbenih tipe lempeng bercelah, *hopper* pupuk dan *hopper* benih seperti pada Gambar 7a-7d. Perancangan ini telah dimaksimalkan sesuai dengan luasan dari dek rotari sehingga tidak mengganggu kinerja dari traktor. Unit pemupuk terdiri dari dua unit *hopper* pemupuk masing-masing dapat menampung pupuk NPK seberat 16.53 kg. Kapasitas pupuk ini lebih besar dengan yang telah dirancang sebelumnya

yakni total dapat menampung pupuk urea, TSP dan KCL sebesar 5.84 kg (Syafri, 2010). Dimensi ukuran *hopper* benih didesain sehingga mampu menampung 1 kg benih. Keseluruhan mekanisme tersebut ditopang oleh rangka dari mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi yang telah dipasang.

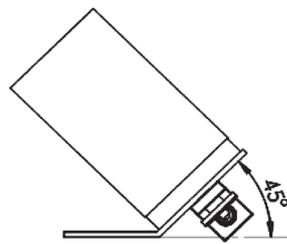
Mekanisme untuk menggerakkan poros rotor pupuk dan poros penjatah benih berasal dari poros roda traktor. Poros roda traktor diberi sproket dengan jumlah gigi 28 seperti pada Gambar 8. Poros antara diberi 2 buah sproket dengan masing-masing jumlah gigi sproket adalah 18. Poros pupuk diberi 2 buah sproket dengan masing-masing jumlah gigi sproket adalah 14. Poros benih diberi 1 buah sproket dengan jumlah gigi sproket adalah 18. Keseluruhan poros yang didesain menggunakan sistem transmisi rantai-sproket. Poros antara diberi mekanisme kopling untuk menghentikan proses pemupukan dan penanaman. Untuk mentransformasikan gerakan vertikal ke gerakan horizontal dari poros benih akan digunakan *bevel gear* dengan perbandingan 13:33.



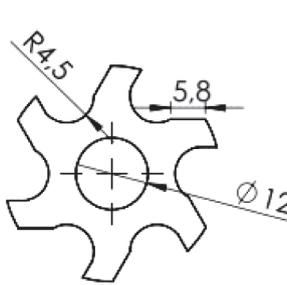
Gambar 6. Rangka alat.



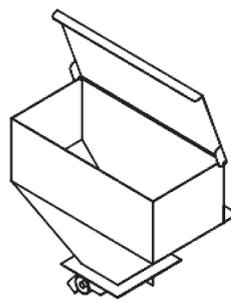
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 7. (a) Metering device benih (b) hopper benih (c) rotor pupuk (d) hopper pupuk.

Keseluruhan mekanisme ini dihitung menggunakan Persamaan 3.

**Kinerja Unit Pemupuk**

Hasil pengujian kinerja unit pemupuk (Gambar 9) diperoleh bahwa penjataan pupuk konsisten dengan perhitungan teoritis walaupun ada penurunan dosis dalam pengujian di lapangan. Penurunan dosis saat pengujian di lapangan diduga akibat dari perubahan kelembapan pupuk NPK. Perubahan ini menyebabkan pupuk NPK bersifat adesif terhadap rotor pupuk sehingga celah rotor mengalami penyumbatan oleh butiran halus pupuk. Perhitungan teoritis rotor pupuk dapat menjatah pupuk NPK 21.81 g/m alur tanam dengan panjang rotor 10 cm. Pengujian kinerja unit pemupuk dilakukan pada variasi panjang bukaan rotor pupuk 5 cm, 7.5 cm dan 10 cm. Hasil pengujian variasi panjang bukaan rotor pupuk diperoleh bahwa panjang bukaan rotor pupuk 8.97 cm adalah yang paling mendekati dengan dosis pupuk yang digunakan yaitu 150 kg/ha. Berdasarkan pemenuhan kriteria syarat pemupukan awal jagung diatas, dapat disimpulkan bahwa kinerja unit pemupuk telah memenuhi kriteria perancangan.

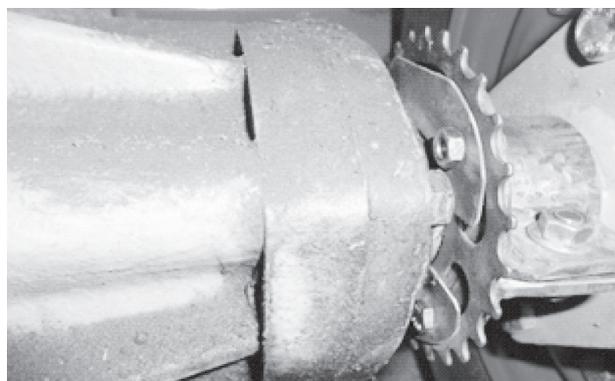
**Kinerja Unit Penanam**

Hasil pengujian penjataan stasioner dan lapangan dari unit penanam ditunjukkan pada Gambar 10. Hasilnya penjataan menunjukkan

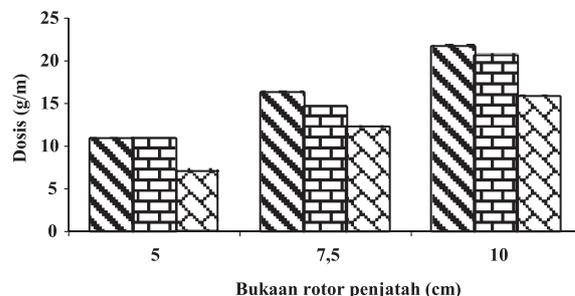
bahwa jumlah benih yang dijatahkan lebih kecil dari dua benih per lubang tanam adalah 85% pada pengujian stasioner. Pengujian di lapangan tidak ditemukan jumlah benih yang dijatahkan lebih dari dua benih per lubang tanam. Perbedaan yang terjadi antara penjataan unit penanam kanan dan kiri diduga dipengaruhi oleh tidak sama persisnya celah penjataan kiri dan kanan pada proses pabrikasinya. Jarak tanam rata-rata dalam baris, kedalaman penanaman, jarak alur tanam dan persentase benih yang tumbuh setelah 14 HST adalah masing-masing 21.5 cm, 5.25 cm, 52 cm dan 84.6%. Terpenuhinya kriteria syarat penanaman jagung (jarak tanam (100×50)×20 cm) menunjukkan bahwa kinerja dari unit penanam telah memenuhi kriteria perancangan.

**Kinerja Unit Pengolahan Tanah**

Hasil pengukuran kinerja pengolahan tanah diukur berdasarkan lebar pengolahan dan perubahan kondisinya tanahnya. Lebar pengolahan tanah adalah 20 cm dengan perubahan kondisi tanah seperti pada Tabel 1. Pengolahan tanah alur yang ditunjukkan oleh mesin ini diharapkan dapat menurunkan tahanan penetrasi tanah dan *bulk density* tanah. Tahanan penetrasi tanah hasil pengolahan tanah alur pada kedalaman 5 cm adalah 205.67 kPa. Bengough *et al.* (2005) menyebutkan bahwa, tahanan penetrasi tanah yang memperlambat pertumbuhan akar tanaman jagung

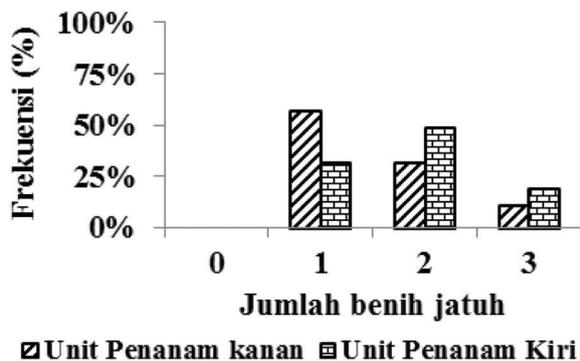


Gambar 8. Sproket pada poros roda traktor.

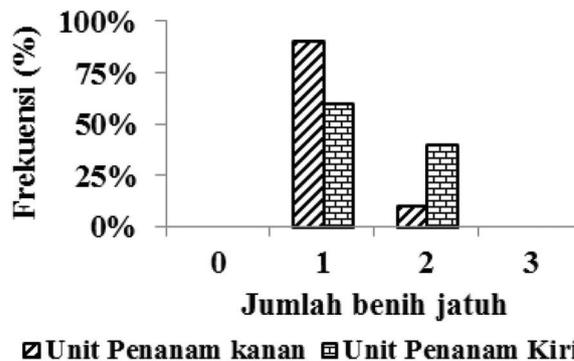


Legend: Perhitungan Teoritis, Pengujian Stasioner, Pengujian Lapangan

Gambar 9. Hasil penjataan pupuk NPK



(a)



(b)

Gambar 10. Pengujian keseragaman penjataan benih jagung (a) stasioner (b) lapangan

Tabel 1. Data kondisi tanah saat pengujian dan sesudah pengujian prototipe mesin

Kedalaman (cm)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )		Tahanan penetrasi tanah (kPa)	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
0-5	0.98	0.94	314.01	205.67
5-10	1.01	0.87	730.67	297.34
-15	1.04	0.94	1314.01	597.34

adalah 310-520 kPa. Tercapainya tahanan penetrasi tanah lebih kecil dari tahanan penterasi tanah yang mengganggu pertumbuhan akar tanaman jagung menunjukkan bahwa kinerja dari unit pengolahan tanah telah memenuhi kriteria perancangan.

### Simpulan dan Saran

#### Simpulan

1. Pengembangan mesin penanam dan pemupuk jagung dengan dua alur tanam dalam satu lintasan yang terintegrasi dengan pengolahan tanah alur telah dikembangkan dan diuji kinerjanya. Unit penjatah pupuk dan benih menggunakan tenaga putar poros roda traktor.
2. Kapasitas *hopper* dari satu unit pemupuk dan penanam adalah 16.53 kg dan 1kg.
3. Hasil pengujian kinerja unit pemupuk stasioner dan lapangan adalah 21.71 g/m alur dan 15.88 g/m alur.
4. Hasil pengujian kinerja unit penanam stasioner dapat menjatah 1-3 benih per lubang tanam dan pengujian di lapangan dapat menjatah 1-2 benih per lubang tanam.
5. Hasil pengujian terhadap kinerja mesin diperoleh kapasitas lapangan efektif ( $K_{LE}$ ) pada kecepatan *low-1* adalah 0.147 ha/jam dengan efisiensi 76.24% dan pada kecepatan *low-2* adalah 0.35 ha/jam dengan efisiensi 83.78%.

#### Saran

Pemupukan awal menggunakan pupuk NPK direkomendasikan untuk dilakukan pada kondisi pupuk yang tidak lembab untuk menghindari terjadinya kelengketan antara rotor dengan pupuk yang dapat mengurangi dosis penjatahan.

### Daftar Pustaka

Bengough, A.G., Bransby M.F., Hans J., McKenna S.J., Roberts T.J., Valentine T.A. 2006. Root responses to soil physical conditions; growth dynamics from field to cell. *Journal of Experimental Botany*.2:437-447.

Biro Pusat Statistik. 2014. Produksi padi, jagung dan kedelai. BPS. Jakarta.

Castellini, M., Domenico V. 2012. Impact of conventional and minimum till age on soilhydraulic conductivity in typical cropping system insouthern Italy. *Journal Soil & Tillage Research*. 124:47-56.

Darmora, D.P., Pandey K.P. 1994. Evaluation of performance of furrow openers of combined seed and fertiliser drills. *Journal Soil & Tillage Research*. 34:127-139.

Fabrizzi, K.P., Garcia F.O., Costa J.L., Picone L.I. 2004. Soilwater dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the Aouthern Pampas of Argentina. *Journal Soil & Tillage Research*. 81: 57-69.

Hendiadi, A., Firmasnyah I.U., Aqil M. 2008. Teknologi mekanisasi budidaya jagung. Balai Besar Pengembanagn Mekanisasi pertanian. Serpong.

Hermawan, W. 2011. Perbaikan desain mesin penanam dan pemupuk jagung bertenaga traktor tangan. *Jurnal Keteknikn Pertanian*. 25 (1): 9-18.

Ichniarsyah, A.N., Wawan H., Tineke M. 2014. Analisis kebutuhan torsi penjatah pupuk butiran tipe *edge-cell* untuk mesin pemupuk jagung. *Agritech*. 34(1): 102-111.

Mullins, G.L., Alley S.E., Reeves D.W. 1997. Tropical maize response to nitrogen and starter fertilizer under strip and conventional tillages ystems in southern Alabama. *Journal Soil & Tillage Research*. 45:1-15.

Pitoyo, J., Sulistyosari N. 2006. Alat penanam jagung dan kedelai untuk permukaan bergelombang. *Prosiding seminar Mekanisasi pertanian*. BBP MEKTAN. Bogor 75-81.

Srihartono, E., Budiarti S.W., Suwarti. 2013. Penerapan sistem tanam jararlegowo jagung hibrida untuk peningkatan produktivitas di lahan inceptisols Gunungkidul. *Seminar nasional serealia*.

Syafri, E. 2010. *Disain mesin penanam jagung terintegrasi dengan penggerak traktor roda dua [tesis]*. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

Touchton, J.T., Karim F. 1985. Corn growth and yield responses to starter fertilizers in conservation-tillage system. *Journal Soil & Tillage Research*. 7:135-144.

*Technical Paper*

## **Analisis Laju Pencucian Tanah Salin dengan Menggunakan Drainase Bawah Permukaan**

### *Analysis of The Rate of Saline Soil Leaching by Using Subsurface Drainage*

Nibras Nasyirah, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan IPB, Kampus IPB Dramaga, Bogor.  
Email: [nibrasnasyirah@gmail.com](mailto:nibrasnasyirah@gmail.com)

Dedi Kusnadi Kalsim, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan IPB, Kampus IPB Dramaga, Bogor.  
Email: [dkalsim@yahoo.com](mailto:dkalsim@yahoo.com)

Satyanto Krido Saptomo, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan IPB, Kampus IPB Dramaga, Bogor.  
Email: [saptomo.sk@gmail.com](mailto:saptomo.sk@gmail.com)

#### **Abstract**

*Leaching process with subsurface drainage is needed to solve the salinity problem. This research was conducted to determine the leaching rate of saline soil by contaminants flow in the soil experiments, and determine the accuracy of ILRI's formula (1994) that used in the calculation. Data was collected in some experiments, the experimental of soil physical properties, salt contamination, and soil leaching. The experiments showed the different leaching time to reduce concentration to the desired level, 0.07, 0.13, and 0.08 days, respectively for the percolation rate 1035.73, 1614.12, and 1888.52 mm/day. It is influenced by concentration of dissolved salts ( $C_t$ ), rate of percolation ( $q$ ), water storage in field capacity ( $W_{fc}$ ), and permeability ( $K$ ). However there is has a differentiation between an experiment and calculating result, so for this condition needs a development of formula that issued by ILRI (1994) with adding a correction coefficient for  $W_{fc}$  value, 0.076, 0.078, and 0.042 for experiments 1, 2, and 3, so the calculation results may approach by the real condition.*

**Keywords:** *leaching soil, salinity, salt, soil, sub-drainage*

#### **Abstrak**

Proses pencucian dengan drainase bawah permukaan diperlukan dalam menangani masalah salinitas di lahan pertanian. Tujuan penelitian ini adalah menentukan laju pencucian garam dalam tanah melalui percobaan aliran kontaminan dalam tanah, dan mengetahui keakuratan formula yang digunakan dalam menentukan laju pencucian. Tahapan pengumpulan data terdiri atas percobaan sifat fisik tanah, kontaminasi garam, dan pencucian tanah. Hasil percobaan menunjukkan bahwa setiap laju perkolasi membutuhkan waktu pencucian yang berbeda untuk menurunkan konsentrasi sampai tingkat yang diinginkan, yaitu 0.07, 0.13 dan 0.08 hari untuk laju perkolasi 1035.73, 1614.12, dan 1888.52 mm/hari. Hal ini dipengaruhi oleh konsentrasi garam terlarut ( $C_t$ ), laju perkolasi ( $q$ ), kemampuan tanah dalam menyimpan ( $W_{fc}$ ) dan meloloskan air ( $K$ ). Namun hasil tersebut berbeda bila dihitung secara teori, sehingga untuk kondisi tanah dan metode yang digunakan seperti dalam proses penelitian perlu adanya pengembangan terhadap formula yang dikeluarkan oleh ILRI (1994), yaitu dengan menambahkan koefisien koreksi untuk nilai  $W_{fc}$  sebesar 0.076, 0.078, dan 0.042 untuk percobaan 1, 2, dan 3 guna memperoleh hasil perhitungan yang lebih sesuai dengan kondisi sebenarnya.

**Kata kunci:** drainase bawah permukaan, garam, pencucian tanah, salinitas, tanah

*Diterima: 12 Maret 2015; Disetujui: 13 Juli 2015*

#### **Pendahuluan**

Lahan pertanian yang kerap mengalami masalah salinitas adalah lahan dengan bahan induk yang mengandung deposit garam, wilayah pesisir yang

terkena pengaruh pasang surut air laut, dan wilayah dengan iklim mikro yang memiliki tingkat evaporasi melebihi tingkat curah hujan tahunan (Tan 2000, dalam Rusd 2011). Gejala yang terlihat pada tanah salin adalah munculnya kerak putih di permukaan

tanah akibat evaporasi dan pertumbuhan yang tidak normal, seperti daun yang mengering di bagian ujung dan gejala khlorosis (Sipayung 2003). Hal ini sesuai dengan Simbolon dkk (2013) dan Slinger *and* Tenison (2005) yang menyatakan kadar garam akan mempunyai dampak bagi pertumbuhan tanaman.

Masalah salinitas terjadi ketika tanah mengandung garam terlarut dalam jumlah yang cukup tinggi sehingga mengganggu pertumbuhan tanaman. Adanya penimbunan garam di daerah perakaran menyebabkan berkurangnya kemampuan tanaman dalam menyerap air. Selain itu, penyerapan unsur penyusun garam dalam jumlah yang berlebih akan menyebabkan keracunan bagi tanaman. Salinitas yang dikombinasikan dengan kondisi tata air yang buruk, dapat menghilangkan kesuburan tanah secara permanen.

Saat ini masalah salinisasi tanah di Indonesia terjadi sebagai akibat dari bencana tsunami di Provinsi NAD yang menyebabkan rusaknya lahan pertanian akibat intrusi air laut dan terendapnya lumpur berkadar garam tinggi di permukaan tanah. Hasil pengamatan Balai Penelitian Tanah, Bogor menunjukkan bahwa terdapat sekitar 29,000 ha lahan persawahan yang mengalami kerusakan dengan tingkatan yang bervariasi. (Rachman *et al.* 2008). Pada dasarnya setiap tanaman memiliki respon yang berbeda terhadap derajat salinitas. Bagi tanaman padi, kandungan garam sebagai nilai salinitas tanah sebesar 4 mS/cm mampu mengakibatkan penurunan hasil tanaman sebesar 10%. Jika salinitas tanah di atas 10 mS/cm akan mengakibatkan penurunan hasil tanaman yang semakin besar, yaitu mencapai 50% dari kondisi normal (FAO 2005).

Pengembalian potensi lahan yang mengalami penurunan produktivitas akibat kandungan garam yang tinggi, salah satunya dapat dilakukan melalui pencucian (*leaching*) lahan untuk mengurangi pengaruh negatif bahan beracun yang berbahaya bagi tanaman. Pencucian akan baik bila air cukup tersediabai dari hujan maupun air pasang. Namun



Gambar 1. Kotak percobaan aliran dalam tanah.

untuk kondisi wilayah dengan tingkat curah hujan rendah, sulit jika mengandalkan air hujan dalam pencucian. Pada lahan pertanian pasang surut, kemungkinan sulit untuk mengandalkan air pasang dalam pencucian lahan, mengingat tingginya kadar garam yang terkandung dalam air pasang. Pencucian lahan dengan menggunakan drainase bawah permukaan dapat menjadi solusinya.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan laju pencucian garam pada tanah dengan cara percobaan aliran kontaminan dalam tanah dan mengetahui keakuratan dari formula yang digunakan dalam menentukan laju pencucian. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi mengenai reklamasi lahan tercemar terutama oleh garam dan mengurangi dampak pencemaran tanah dan airtanah.

## Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan dengan percobaan laboratorium mencakup pengujian sifat fisika tanah, dan percobaan pencucian tanah. Penelitian yang dilakukan melalui percobaan laboratorium ini terdiri atas tiga tahapan, yaitu tahap pengumpulan data primer, tahap pengolahan data, dan tahap analisis.

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kotak percobaan aliran air dalam tanah yang dilengkapi pipa PVC berpori sebagai drainase bawah permukaan. Pengukuran hantaran listrik (EC), dilakukan dengan menggunakan sensor Decagon 5TE, yang sekaligus merekam kadar air tanah volumetrik dan temperature yang kemudian akan direkam oleh Decagon Em50 *data logger*. Alat-alat lain yang digunakan adalah neraca analitik, *stopwatch*, meteran, gelas ukur 250 ml, wadah plastik, ring *sampler*, oven, *personal computer*, kalkulator, dan alat tulis, dengan bahan berupa tanah dengan teksur pasir, garam sebagai kontaminan, dan air sebagai pencuci.

### Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan diawali dengan pemasangan pipa sepanjang 1 m dengan diameter 1" pada kotak percobaan. Pipa yang digunakan memiliki lubang-lubang dengan diameter lubang 3.5 mm dan jarak antar lubang 5 cm, sebagai jalan keluar air pencucian yang berberkolasi. Pipa horizontal tersebut disambung dengan pipa vertical yang terhubung dengan udara luar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Selanjutnya tanah dimasukkan ke dalam kotak percobaan dengan ketebalan 40 cm.

### Pengujian Fisika Tanah

Contoh tanah diambil dengan bantuan ring *sampler*, dan dilakukan pengujian dengan

menggunakan *falling head permeameter* untuk mendapatkan konduktivitas tanah (Hillel, D. 2004). Selain itu dilakukan analisis laboratorium untuk memperoleh nilai porositas, bobot isi, dan kapasitas lapang tanah. Persamaan yang digunakan dalam analisis ini adalah sebagai berikut.

$$K = 2.3 \times \left( \frac{al}{AT} \right) \times \log \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \quad (1)$$

Dimana K: konduktivitas hidraulik (m/hari), a: luas penampang pipa (m<sup>2</sup>), l: tinggi tanah (m), A: luas penampang tanah (m<sup>2</sup>), T: waktu air meresap (hari), h<sub>1</sub>: tinggi dari garis awal air sampai dasar ring (m) dan h<sub>2</sub>: tinggi dari garis bawah air sampai dasar ring (m).

$$\eta = 100 - V_s \quad (2)$$

$$V_s = \frac{(W - V)}{(G_s - 1)} \quad (3)$$

Dengan  $\eta$ : porositas (%), V<sub>s</sub>: volume padatan (cm<sup>3</sup>), W: berat tanah dengan air (gram), V: volume padatan dengan air (cm<sup>3</sup>) dan G<sub>s</sub>: 2,64 gram/cm<sup>3</sup>

$$BD = \frac{BK}{V_{\text{tanah}}} \quad (4)$$

$$\Theta_{fc} = \frac{BB - BK}{BK} \times BD \quad (5)$$

Dengan BD: bobot isi (gram/cm<sup>3</sup>), BK: berat kering tanah (gram), V tanah: volume tanah (cm<sup>3</sup>),  $\Theta_{fc}$ : kadar air pada kondisi kapasitas lapang (% volume tanah), BB: berat tanah dengan air (gram), BK: berat kering tanah (gram) dan BD: bobot isi (gram/cm<sup>3</sup>)

### Kontaminasi Garam

Percobaan kontaminasi garam dilakukan dengan memberikan larutan garam dengan konsentrasi di dalam tanah yang dapat menyebabkan gangguan bagi sebagian besar tanaman, yaitu setara dengan *electro-conductivity* (EC) tanah diatas 4 mS/cm (7.8 mS/cm untuk percobaan 1, 12.03 dan 11.8 mS/cm untuk percobaan 2 dan 3), hingga mencapai kondisi jenuh. Dalam kondisi kebasahan di atas kapasitas lapang, larutan akan mengalir secara gravitasi ke bawah dan keluar melalui pipa berpori. Selanjutnya dilakukan pengukuran EC pada contoh uji tanah yang telah dikontaminasi dengan menggunakan sensor dan *data logger* untuk mengetahui nilai hantaran listrik, kelembaban tanah, dan suhu. Konsentrasi garam yang terbaca pada alat tersebut kemudian dijadikan konsentrasi awal garam (C<sub>0NaCl</sub>).

### Pencucian Tanah

Pencucian tanah dilakukan dengan memberikan air bersih secara terus menerus guna menjaga tanah tetap dalam kondisi jenuh, hingga data logger menunjukkan penurunan EC sampai pada batas aman. Selama proses pencucian, laju aliran dijaga agar tetap konstan dengan cara mengatur katup

keluarnya air. Pengukuran laju aliran air pencucian dilakukan untuk mengetahui perkolasi yang terjadi. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran hantaran listrik pada tanah (ECe) selama proses pencucian, kemudian diplotkan pada grafik untuk mengetahui hubungan penurunan konsentrasi garam terhadap waktu.

Selain melalui pengukuran langsung, hubungan penurunan konsentrasi garam terhadap waktu juga diperoleh dari persamaan yang dituliskan oleh ILRI (1994), yaitu sebagai berikut.

$$C_t = C_i + (C_0 - C_i)e^{-ft/T} \quad (6)$$

$$T = \frac{W_{fc}}{q} \quad (7)$$

Dengan C<sub>0</sub>: konsentrasi garam dalam tanah saat t=0 (mS/cm), C<sub>t</sub>: konsentrasi garam dalam tanah saat t (mS/cm), C<sub>i</sub>: konsentrasi air pencuci (mS/cm), t: waktu yang dibutuhkan dalam proses pencucian (hari), T: waktu yang dibutuhkan garam untuk keluar dari badan tanah (hari), f: efisiensi pencucian (%), W<sub>fc</sub>: jumlah air yang tersimpan pada kondisi kapasitas lapang (cm) dan q: laju perkolasi dalam tanah (cm/hari)

Berdasarkan asumsi bahwa jenis saluran drainase bawah permukaan yang digunakan di lapangan adalah jenis *sheetpipe*, maka dalam perencanaan pemasangan saluran drainase dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan Hooghoudt (ILRI 1994).

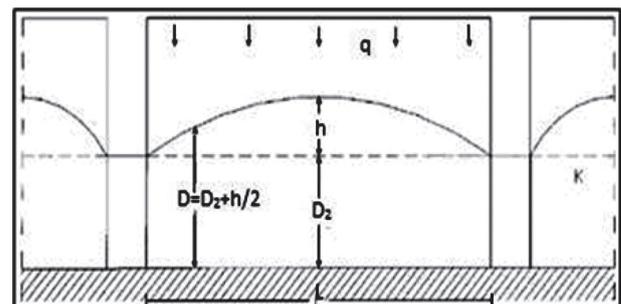
$$L^2 = \frac{8KDh}{q} \quad (8)$$

Dengan L: jarak antar subdrain (mm), K: hantaran hidraulik (mm/hari), D: rata-rata ketebalan daerah aliran (mm), h: tinggi muka airtanah di atas saluran drainase (mm) dan q: laju perkolasi (koefisien drainase) dalam tanah (mm/hari).

Jumlah air yang perlu diberikan pada setiap proses pencucian dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut.

$$V = q \times A \times t \quad (9)$$

Dengan V: volume air pencucian (mm<sup>3</sup>), q: laju perkolasi dalam tanah (mm/hari), A: luas lahan



Gambar 2. Ilustrasi subdrain dan daerah aliran air dalam tanah. (Sumber : ILRI 1994)

Tabel 1. Hasil pengujian kontaminasi garam.

Pengujian	Air						Tanah					
	Masukan			Keluaran			EC		VWC		T	
	V in	Konsentrasi garam	EC	V out	Konsentrasi garam	EC	Port 1	Port 2	Port 1	Port 2	Port 1	Port 2
	(ml)	(ppt)	(mS)	(ml)	(ppt)	(mS)	(mS/cm)		(m /m )		(°C)	
1	3250	6.2	11.05	3430	0.3	0.88	0.72	0.89	0.21	0.22	32.4	32.4
			12.75			0.95						
2	3250	13.8	23.23	3112	0.6	1.22	1.77	1.86	0.26	0.28	33.6	32.9
			27,05			1.35						
3	3250	17.4	32.58	2830	0.5	0.99	4.06	3.85	0.28	0.34	30.8	30.9
			34.26			1.12						

(mm<sup>2</sup>) dan t: waktu yang dibutuhkan dalam proses pencucian (hari). Selanjutnya dihitung debit air yang harus dikeluarkan melalui saluran drainase guna menjaga tinggi muka air di dalam tanah dengan persamaan berikut.

$$Q = q \times L \times B \tag{10}$$

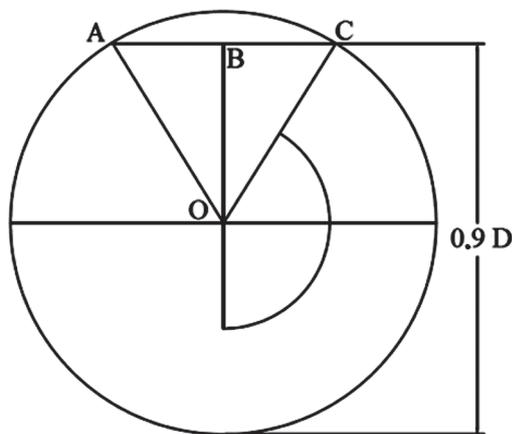
Dengan Q: debit penggelontoran (mm<sup>3</sup>/hari), q: laju perkolasi (mm/hari), L: jarak antar saluran drainase (mm) dan B: panjang saluran drainase (mm).

**Identifikasi Kesesuaian Formula Laju Pencucian**

Identifikasi dilakukan dengan metode coba dan ulang hingga mendapatkan nilai kesalahan terkecil antara data percobaan dengan perhitungan menggunakan persamaan yang dituliskan oleh ILRI (1994). Persamaan yang digunakan dalam menentukan kesalahan adalah persamaan berikut.

$$E = \sum_{i=1}^n (x - y)^2 \tag{11}$$

Dengan E: kesalahan, x: data hasil percobaan, y:



Gambar 3. Aliran dalam pipa tidak penuh. (Sumber: Nasjono et al. 2007)

data hasil perhitungan dan n: jumlah data.

**Saluran Drainase Bawah Permukaan**

Ukuran yang dibutuhkan pada saluran drainase bawah permukaan dapat diketahui dari besarnya debit yang harus dikeluarkan pipa selama proses pencucian, sedangkan untuk laju aliran di dalam pipa diketahui dengan menggunakan persamaan Manning. Koefisien kekasaran Manning (n) yang digunakan adalah untuk pipa jenis PVC. Aliran yang terjadi di dalam pipa dianggap tidak penuh atau hanya terisi 90% (0.9 D), seperti yang terdapat pada Gambar 3.

Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk memperoleh ukuran saluran drainase.

$$\theta = 180 - \cos^{-1}\left(\frac{0.9D - 0.5D}{0.5D}\right) \tag{12}$$

$$R = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{\sin(2\theta)}{(2\theta)}\right) D \tag{13}$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \tag{14}$$

$$A = \frac{Q}{V} \tag{15}$$

Dengan Q: debit air yang dikeluarkan saluran drainase (cm<sup>3</sup>), V: laju aliran dalam pipa (cm/detik), A: luas penampang aliran (cm<sup>2</sup>), R: jari-jari hidraulik (cm) dan S: kemiringan saluran drainase

**Hasil dan Pembahasan**

**Pengujian Fisika Tanah**

Tekstur merupakan karakter fisik tanah yang perlu diketahui, karena dapat menunjukkan sifat fisik dan kimia suatu tanah, seperti daya sorpsi tanah terhadap zat pencemar. Hasil pengujian sifat fisika tanah di laboratorium menunjukkan tanah memiliki tekstur pasir dengan nilai hantaran hidraulik rata-rata sebesar 4.3 m/hari, porositas 41.6%, bobot isi 1.3 g/ml, dan kapasitas lapang 25.2% dari volume tanah.

**Pencucian Tanah Salin**

Menurut Ayers dan Westcot (1976), salinitas pada umumnya bersumber pada tanah dan air dalam tanah. Nilai salinitas air dalam tanah dapat mempengaruhi derajat salinitas tanah yang diukur pada suhu standar. Semakin tinggi konsentrasi garam yang diberikan, maka hantaran listrik pada contoh uji tanah (ECe) akan semakin meningkat. Adanya perbedaan nilai salinitas air sebelum dan setelah keluar dari profil tanah menunjukkan adanya proses pengendapan garam di dalam tanah, seperti yang terdapat pada Tabel 1.

Percobaan pencucian tanah dilakukan dengan menggunakan air bersih, sebagai simulasi dari air hujan atau air irigasi. Pada pengujian pertama, tanah dalam kondisi jenuh dan sedikit tergenang yang menyebabkan volume air keluar lebih besar dari volume air yang diberikan untuk percucian.

Hasil percobaan pencucian tanah menghasilkan adanya anomali data berupa peningkatan nilai salinitas selama proses pencucian, seperti yang tersaji pada Gambar 4. Hal ini menunjukkan bahwa garam yang berada di permukaan tanah memerlukan waktu untuk mengalami perkolasi hingga mencapai daerah sensor yang terdapat pada kedalaman 5 cm di bawah permukaan tanah dan menunjukkan peningkatan nilai salinitas.

**Identifikasi Kesesuaian Formula Laju Pencucian**

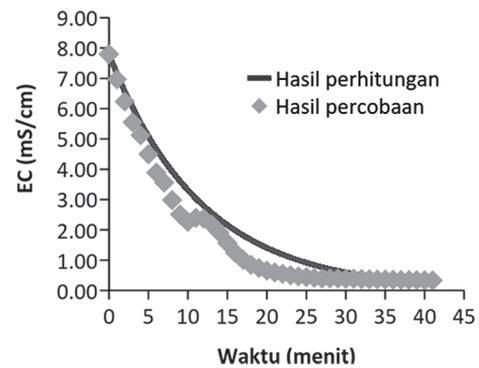
Hasil analisis menunjukkan bahwa untuk kondisi tanah dan metode yang digunakan seperti dalam proses penelitian, ditemukan adanya perbedaan antara waktu pencucian yang dihasilkan dari percobaan dengan perhitungan menggunakan persamaan yang dikeluarkan ILRI (1994). Perbedaan tersebut tersaji pada Gambar 5 hingga 7.

Perbedaan ini mengindikasikan adanya parameter lain yang mempengaruhi proses pencucian, berupa koefisien koreksi yang mengarah pada kemampuan tanah dalam menyimpan air pada kondisi kapasitas lapang ( $W_{fc}$ ), yaitu 0.076, 0.078, dan 0.042 untuk percobaan 1, 2, dan 3. Bila mengacu pada persamaan yang dituliskan ILRI

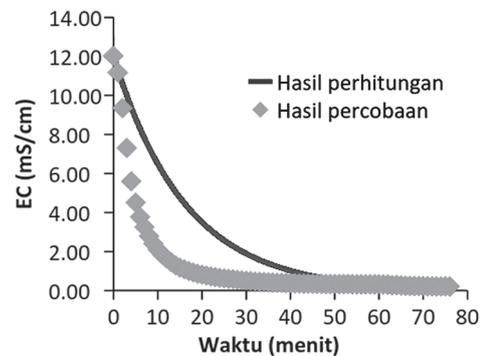
(1994), maka konsentrasi garam dan laju perkolasi merupakan data primer yang diperoleh dari proses pengujian, sedangkan nilai efisiensi ( $f$ ) diasumsikan bernilai 1 yang berarti seluruh air yang diberikan keluar melalui proses pencucian. Gambar 8 hingga 10, menunjukkan perbandingan hasil antara percobaan dan perhitungan dengan menggunakan koreksi.

**Drainase Bawah Permukaan**

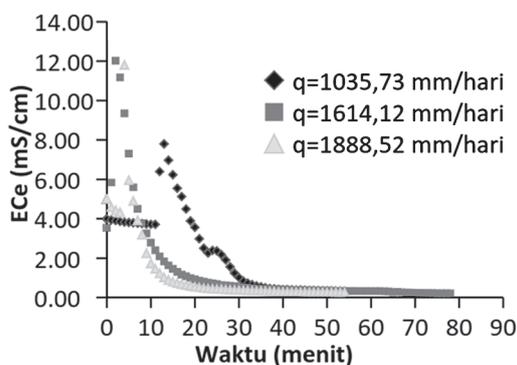
Pada analisis jenis tanah yang digunakan adalah pasir, lempung, dan liat, dengan masing-masing memiliki hantaran hidraulik 12.5, 1, dan 0.2 m/hari, dengan laju perkolasi 1.301 m/hari untuk



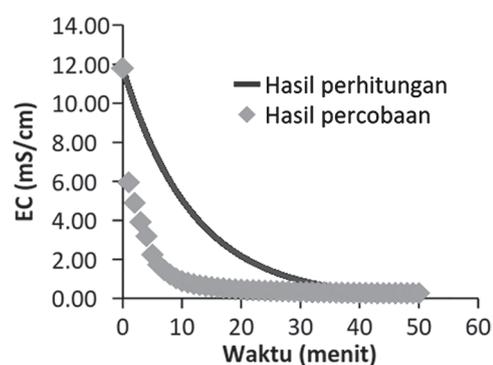
Gambar 5. Perbedaan waktu pencucian untuk  $q= 1035.73$  mm/hari.



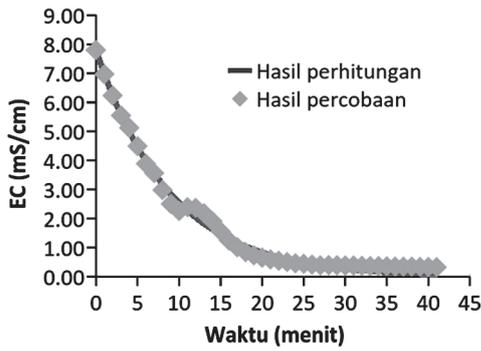
Gambar 6. Perbedaan waktu pencucian untuk  $q= 1614.12$  mm/hari.



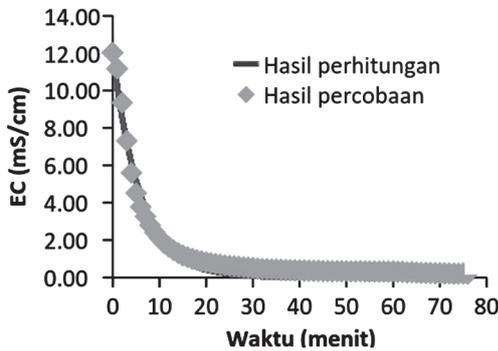
Gambar 4. Perubahan nilai hantaran listrik tanah selama proses pencucian.



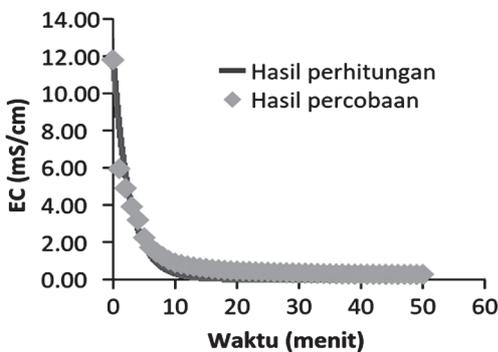
Gambar 7. Perbedaan waktu pencucian untuk  $q= 1888.52$  mm/hari.



Gambar 8. Perbedaan waktu pencucian untuk  $q=1035.73$  mm/hari dengan koefisien koreksi.



Gambar 9. Perbedaan waktu pencucian untuk  $q=1614.12$  mm/hari dengan koefisien koreksi.



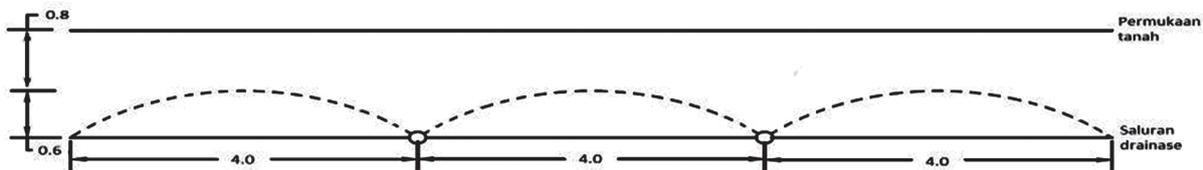
Gambar 10. Perbedaan waktu pencucian untuk  $q=1888,52$  mm/hari dengan koefisien koreksi.

tanah pasir, 0.749 m/hari untuk jenis tanah lempung dan 0.150 m/hari untuk jenis liat. Bila ketiga jenis tanah merupakan tanah salin yang akan melalui proses pencucian, dengan asumsi luas lahan 100 m x 100 m, konsentrasi garam awal ( $C_0$ ) pada tanah 41 mS/cm, konsentrasi garam pada air pencuci 0.1 mS/cm, dan target penurunan konsentrasi garam 2 mS/cm, maka dapat diketahui lamanya waktu pencucian, jumlah air pencucian, hingga ukuran diameter saluran drainase bawah permukaan yang dibutuhkan.

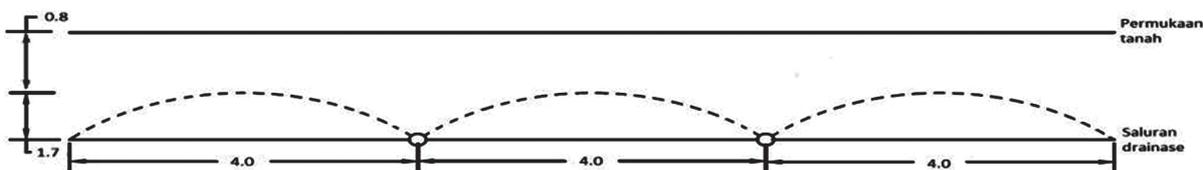
Analisis diawali dengan menetapkan jarak antar saluran drainase sebesar 4 m, lebar area drainase 100 m, dan kedalaman saluran drainase. Kedalaman saluran drainase ditentukan berdasarkan kedalaman perakaran tanaman, jika jenis tanaman diasumsikan berupa tanaman dengan kedalaman perakaran 60 cm, maka muka airtanah dijaga berada pada 80 cm dari permukaan tanah. Kemudian tinggi hidraulik diatas saluran drainase untuk setiap jenis tanah dapat diperoleh, yaitu 0.64 m untuk tanah pasir, dan 1.73 m untuk tanah jenis lempung dan liat, sehingga diperoleh kedalaman saluran drainase yang tepat yaitu 1.4 m untuk tanah pasir, dan 2,5 m dari permukaan tanah untuk tanah lempung dan liat, seperti yang terlihat pada Gambar 11 dan 12.

Lamanya waktu pencucian berbeda untuk ketiga jenis tanah karena adanya perbedaan kemampuan meloloskan air ( $K$ ) untuk setiap jenis tanah. Hasil analisis menunjukkan bahwa tanah pasir membutuhkan waktu pencucian yang lebih singkat, yaitu 2.3 jam, sedangkan tanah lempung dan liat masing-masing membutuhkan 1.5 dan 16 hari untuk mencapai batas salinitas aman (dengan asumsi waktu operasi 10 jam per hari).

Laju perkolasi juga mempengaruhi jumlah air yang harus diberikan dan dikeluarkan selama proses pencucian. Tanah pasir dengan laju perkolasi tetinggi membutuhkan air pencuci dengan volume terkecil, yaitu 1.2 liter, sedangkan tanah lempung dan liat membutuhkan 4.6 dan 9.9 liter air. Hal sebaliknya ditemukan pada jumlah air



Gambar 11. Ilustrasi saluran drainase bawah permukaan tanah jenis pasir.



Gambar 12. Ilustrasi saluran drainase bawah permukaan tanah jenis lempung dan liat.

yang harus dikeluarkan guna menjaga tinggi muka air tanah, yaitu tanah pasir membutuhkan debit penggelontoran yang lebih besar dibandingkan dengan kedua jenis tanah lainnya. Tanah pasir membutuhkan 0.52 liter/hari, sedangkan untuk tanah lempung dan liat membutuhkan 0.3 dan 0.06 liter/hari untuk penggelontoran. Namun diperoleh hasil yang berbeda jika menggunakan faktor koreksi yaitu sebesar 0.08. Jumlah waktu pencucian dan air pencuci yang dibutuhkan menjadi lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil perhitungan tanpa menggunakan faktor koreksi.

Hasil analisis mengenai spesifikasi saluran drainase menunjukkan bahwa proses pencucian pada tanah pasir membutuhkan ukuran saluran drainase berdiameter lebih besar, yaitu 10.6 cm. Untuk jenis tanah lempung dan liat masing-masing dibutuhkan saluran drainase berdiameter 8.6 dan 4.7 cm. Namun bila disesuaikan dengan ukuran yang ada di pasaran, maka ukuran saluran drainase yang dibutuhkan adalah 4" (pasir), 3" (lempung), dan 1.5" (liat). Perbedaan ukuran diameter pipa dipengaruhi oleh jumlah air yang harus dikeluarkan dari ketiga jenis tanah.

### Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa salah faktor penentu dari laju pencucian adalah sifat fisik tanah, mengingat adanya perkolasi yang mempengaruhi laju pencucian. Selain itu, berdasarkan perbedaan hasil yang diperoleh dari percobaan dan perhitungan, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat parameter lain yang mempengaruhi proses pencucian selain parameter yang terdapat pada persamaan ILRI (1994). Parameter tersebut mengarah pada nilai  $W_{fc}$ , yaitu untuk kondisi tanah dan metode yang digunakan seperti dalam proses penelitian, untuk itu diperlukan koefisien koreksi  $W_{fc}$  sebesar 0.076, 0.078, dan 0.042 untuk percobaan 1, 2, dan 3, guna mendapatkan hasil yang lebih sesuai dengan kondisi yang terjadi di laboratorium.

### Daftar Pustaka

- Ayers R S, Westcot D W. 1976. Water Quality for Agriculture. Rome (IT): FAO Pr [ILRI] International Institut for Land Reclamation and Improvement. 1994. Drainage Principles and Application. Ritzema HP, editor. Netherlands (NL): ILRI Pr.
- Hillel, D. 2004. Introduction to Environmental Soil Physics. Academic Press. San Diego.
- Nasjono JK, Triatmadja R, Yuwono N. 2007. Formulasi Sistem Pipa Berpori Bawah Tanah Dan Penerapannya. Jakarta (ID): Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- [FAO] United Nation Food and Agriculture of Organization. 2005. 20 Things To Know About The Impact of Salt Water on a Agriculture Land in Aceh. Rome (IT)
- [ILRI] International Institut for Land Reclamation and Improvement. 1994. Drainage Principles and Application. Ritzema HP, editor. Netherlands (NL): ILRI Pr.
- Rachman A, Erfandi D, Ali MN. 2008. Dampak Tsunami Terhadap Sifat-Sifat Tanah Pertanian di NAD dan Strategi Rehabilitasinya. Jurnal Tanah Dan Iklim no.28/2008. ISSN 1410 – 7244. Hal 28.
- Rusd AMI. 2011. Pengujian toleransi padi (*Oryza sativa* L.) terhadap salinitas pada fase perkecambahan [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Simbolon, R., E.H. Kardhinata, Y. husni. 2013. EVALUASI TOLERANSI TANAMAN KEDELAI (*Glycine max* (L.) Merrill) GENERASI M3 HASIL RADIASI SINAR GAMMA TERHADAP SALINITAS. Jurnal Online Agroekoteknologi Vol.1, No.3, Juni 2013 ISSN No. 2337- 6597
- Sipayung R. 2003. Stres Garam Dan Mekanisme Toleransi Tanaman [skripsi]. Medan (ID): Universitas Sumatera Utara.
- Slinger D, Tenison K. 2007. Salinity Glove Box Guide: NSW Murray & Murrumbidgee Catchments. New South Wales: NSW Department of Primary Industries.

Halaman ini sengaja dikosongkan

*Technical Paper*

## **Pemodelan Daya Pengadukan selama Proses Dehidrasi Osmotik Irisan Mangga dalam Larutan Gula**

### *Modelling of Agitation Power during Osmotic Dehydration Process of Mango Slices in Sugar Solution*

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

Fibula Yudisaputro, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor  
Hiroshi Nabetani, National Food Research Institute, Tsukuba, Japan

#### **Abstract**

*This study discusses mathematical model of agitation power due to the change of sugar solution concentration during the process of mango slices osmotic dehydration. The sugar solution agitation was performed in several levels of rotational speed to correlate the power number with the Reynolds number. Then, the obtained model was used to calculate the power consumption for various temperature and initial rotational speed of shaft. The results showed that the correlation can be used for various conditions of shaft rotational speed and solution concentration. Osmotic dehydration for 8 hours at conditions of 30-50°C with rotational speed of 143-525 rpm results in solution dilution from 61°Bx to 50.5-52.5°Bx. Temperature of 30°C with initial shaft rotational speed of 500 rpm results in power consumption ten times higher than that of 50°C and 148 rpm. Moreover, power consumption reduction up to 80% of initial energy consumption due to the dilution of the sugar solution during the osmotic dehydration process was obtained.*

**Keywords:** *mathematical model, power consumption, Reynolds number, osmotic dehydration*

#### **Abstrak**

Studi ini membahas tentang model matematika daya pengadukan akibat perubahan konsentrasi larutan gula selama proses dehidrasi osmotik irisan mangga. Pengadukan larutan gula dilakukan pada berbagai tingkat kecepatan putaran dan konsentrasi untuk mendapatkan hubungan antara bilangan daya dan bilangan Reynolds. Selanjutnya model yang diperoleh digunakan untuk menghitung konsumsi daya pada berbagai kondisi suhu dan kecepatan putaran awal pengadukan. Hasil studi menunjukkan bahwa korelasi dalam persamaan pangkat dapat digunakan. Dehidrasi osmotik dalam waktu 8 jam pada kondisi suhu 30-50°C dan kecepatan putaran 143-525 rpm telah mengakibatkan pengenceran larutan menjadi dari 61°Bx menjadi 50.5-52.5°Bx. Aplikasi model tersebut pada suhu 30°C dan kecepatan putaran awal 500 rpm memberikan konsumsi daya yang mencapai 10 kali lebih besar dibandingkan pada suhu 50°C dan kecepatan putaran awal 148 rpm. Terjadi penurunan konsumsi daya sampai pada 80% dari konsumsi energi awalnya akibat adanya perubahan konsentrasi larutan selama dehidrasi osmotik berlangsung.

**Kata kunci:** model matematik, konsumsi daya, bilangan Reynolds, dehidrasi osmotik

*Diterima: 24 Maret 2015; Disetujui: 22 Juli 2015*

#### **Pendahuluan**

Dehidrasi osmotik merupakan proses pengeluaran air dari suatu bahan dengan cara merendam bahan di dalam larutan osmo-aktif (larutan osmotik). Teknik ini digunakan untuk menurunkan kadar air banyak jenis produk pertanian termasuk buah-buahan. Sistem dehidrasi osmotik pada prinsipnya merupakan reaktor sederhana yang

terdiri dari tangki, sub sistem pengadukan mekanik yang terdiri dari *impeller* dan motor penggerak, dan juga pemanas. Pengadukan mekanik pada proses dehidrasi osmotik merupakan operasi penting untuk menciptakan keseragaman konsentrasi larutan dan meningkatkan koefisien pindah pindah panas dan massa pada permukaan bahan yang bersentuhan dengan larutan sehingga laju perpindahan massa (air) dapat berlangsung secara memadai. Reynaldy

*et al.* (2005) melaporkan bahwa penggunaan kecepatan pengadukan 100, 500 dan 1000 rpm pada tangki larutan dengan diameter 20 cm dan tinggi larutan 28 cm mempengaruhi *water loss* (kehilangan air) dan *solid gain* (peningkatan padatan) pada dehidrasi osmotik buah apel. Gheybi *et al.* (2013) menyatakan pengaruh interaksi konsentrasi larutan dan agitasi terutama pada bilangan Re 5000-15000 terhadap kehilangan air pada dehidrasi osmotik melon (*honeydew*). Tonon *et al.* (2007) mendapatkan bahwa kecepatan putaran pengaduk mempengaruhi koefisien pindah massa air pada dehidrasi osmotik tomat tetapi tidak pada koefisien pindah massa solidnya.

Peningkatan laju perpindahan massa terutama dikontribusikan oleh terbentuknya aliran turbulen serta suhu larutan. Jenis aliran yang dapat diciptakan sangat bergantung pada peran pengadukan. Pentingnya pengadukan ini menjadi bertambah ketika jumlah bahan yang direndam dalam larutan osmotik ini meningkat, dimana pengadukan juga berfungsi untuk memindahkan posisi larutan sehingga konsentrasi dan juga suhu larutan menjadi lebih seragam.

Jenis pengadukan yang digunakan dalam industri pengolahan umumnya dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu propeller, turbin dan kayuh. Turbin propeller membuat aliran larutan yang melalui impeller bergerak searah dengan sumbu putar, sedangkan turbin dan kayuh membuat aliran yang melalui impeller bergerak ke arah radial/tangensial. Pada penelitian ini pengaduk tipe kayuh (jangkar) digunakan untuk pengadukan pada proses dehidrasi osmotik irisan mangga.

Kebutuhan daya pengadukan bergantung pada jenis dan kondisi larutan, geometri dan dimensi sistem serta jenis, ada tidaknya penghalang (termasuk penggunaan *baffle*), posisi sumbu dan kecepatan putar *impeller*. Sebagaimana pada perancangan reaktor pengadukan lainnya, dalam perancangan sistem dehidrasi osmotik, adalah penting untuk mengembangkan model matematik hubungan antara faktor-faktor penentu ini dengan kebutuhan daya pengadukan. Furukawa *et al.* (2012) memodelkan hubungan antara bilangan daya ( $N_p$ ) dan bilangan Reynolds (Re) untuk berbagai tipe impeller dengan cukup akurat tetapi kompleks. McCabe *et al.* (1999) merangkum model-model hubungan kedua parameter tadi ke dalam model korelasi pangkat yang lebih sederhana.

Selama proses dehidrasi osmotik, kerapatan dan viskositas larutan osmotik dapat berubah akibat perpindahan massa (air) dan zat terlarut (gula) dari atau ke bahan yang dikeringkan. Hal ini terjadi terutama pada dehidrasi osmotik dengan rasio bahan terhadap larutan yang tinggi, dimana jumlah air yang keluar relatif tinggi sehingga dapat mengencerkan larutan secara signifikan. Perpindahan massa tersebut dan sistem pengadukan tersebut saling mempengaruhi sehingga perubahan kebutuhan

daya dan kecepatan putar selama proses tersebut akan terjadi. Untuk mengaplikasikan daya yang sesuai terutama pada skala yang lebih besar dari sistem dehidrasi osmotik, pemodelan perubahan kecepatan putar daya pengadukan selama pengeringan penting untuk dilakukan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan model matematik daya pengadukan selama proses dehidrasi osmotik irisan mangga yang menggunakan larutan gula sebagai larutan osmotik.

## Bahan dan Metode

### Model Dehidrator Osmotik

Dehidrator osmotik yang didisain pada penelitian ini disajikan pada Gambar 1. Dehidrator osmotik ini terdiri dari tangki produk dan tangki pemanas (keduanya berbentuk silindris) dan sistem pengaduk (*impeller* dan motor DC). Larutan osmotik bersama produk ditempatkan di dalam tangki produk, sedangkan air yang kemudian dipanaskan ditempatkan pada tangki pemanas. Tangki produk yang digunakan memiliki tinggi 18 cm dengan diameter 18 cm pada bagian atasnya dan 14 cm pada bagian bawahnya. Tangki produk ditempatkan di tengah tangki pemanas dimana tinggi muka larutannya lebih rendah dibandingkan tinggi muka air panas sehingga suhu larutan akan terpanaskan secara seragam. Suhu air panas diatur menggunakan termostat bimetal. Tipe *impeller* yang digunakan adalah tipe kayuh dengan diameter 8.5 cm.

### Pembuatan Larutan Osmotik

Konsentrasi awal larutan yang digunakan pada penelitian ini adalah 61<sup>o</sup>Bx. Larutan osmotik dibuat dengan melarutkan gula dalam aquades. Sejumlah gula ditambahkan secara perlahan ke aquades yang dipanaskan pada suhu  $\pm 60^{\circ}\text{C}$  dan konsentrasinya diukur menggunakan refraktometer. Penambahan dihentikan ketika konsentrasi larutan yang diukur mencapai 61<sup>o</sup>Bx.

### Prosedur Percobaan Kebutuhan Daya

Pengukuran daya pengadukan pada berbagai kecepatan pengadukan dan berbagai konsentrasi larutan dilakukan secara terpisah dari percobaan pertama. Variasi tiga tingkat tegangan catu daya rendah, sedang dan tinggi digunakan pada larutan gula 62<sup>o</sup>Bx. Selanjutnya larutan diencerkan secara bertahap dengan interval 2<sup>o</sup>Bx sampai dengan konsentrasi 48<sup>o</sup>Bx. Daya pengadukan didekati dari pengukuran daya motor dengan mengukur tegangan dan arus listrik menggunakan volt meter dan ampere meter pada setiap tingkat konsentrasi yang dipilih. Percobaan dilakukan pada suhu 30<sup>o</sup>C. Masing-masing pengujian dilakukan dengan dan tanpa menggunakan produk.

**Bilangan Reynolds dan Bilangan Daya**

Dalam pemodelan sistem pengadukan ini, digunakan parameter-parameter tak berdimensi yang mencakup bilangan Reynolds (Re) dan bilangan daya ( $N_p$ ) yang masing-masing didefinisikan sebagai (McCabe, et al., 1993):

$$Re = \frac{\rho D^2 N}{\mu} \tag{1}$$

Dan

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 D^5} \tag{2}$$

dengan

D = diameter impeller (m)

P = daya yang digunakan yang didekati dari daya motor listrik yang digunakan (W)

N = kecepatan putar poros pengaduk (putaran/s)

$\rho$  = kerapatan larutan (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  = viskositas dinamik (kg/m-s)

Kerapatan dan viskositas kinematik ( $\nu$ ) larutan gula dihitung dari Chenlo et al. (2001) yang masing-masing dinyatakan sebagai:

$$\frac{\rho}{\rho_w} = (1 + am)^b \tag{3}$$

Dan

$$\frac{\nu}{\nu_w} = 1 + em \exp\left(\frac{m^f}{gT_R + h}\right) \tag{4}$$

dimana besarnya konstanta-konstanta pada persamaan (3) dan (4) adalah a = 0.867, b = 0.164, e = 0.730, f = 1.10, g = 8.345 dan h = -7.042, sedangkan viskositas dinyatakan sebagai

$$\nu_w = 0.09607 \times 10^{-6} \exp\left(\frac{2.9}{T_R}\right) \text{ dimana } T_R = \frac{T(K)}{273.1}$$

$N_p$  dan Re yang diperoleh dikorelasikan dalam sebuah persamaan non linier pangkat dengan

bentuk:

$$N_p = cRe^d \tag{5}$$

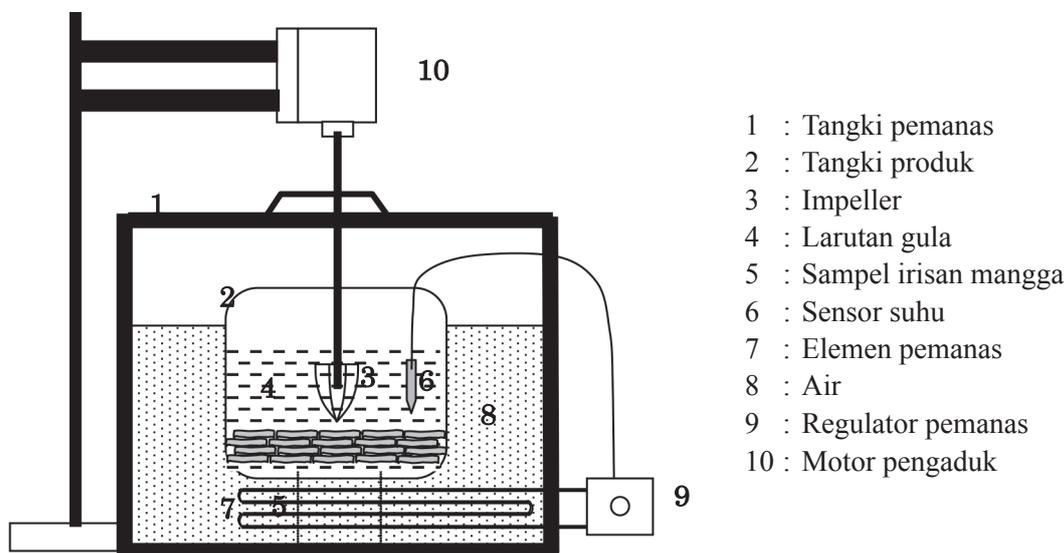
dimana c dan d adalah konstanta-konstanta. Metode regresi non linier kuadrat galat terkecil dalam *tool solver* Microsoft Excel yang didasarkan pada algoritma *Generalized Reduced Gradient* digunakan untuk mendapatkan konstanta c dan d tersebut berdasarkan data yang diperoleh.

**Prosedur Percobaan Dehidrasi Osmotik**

Buah mangga yang telah dicuci, dibersihkan dan dikupas kulitnya diiris dengan ukuran 3 x 3 x 1 cm. Sampel sebanyak 6 buah diambil secara acak untuk mengetahui berat awal. Untuk keperluan pengukuran kadar air, 3 sampel di antaranya dimasukkan ke dalam oven dan 3 sampel lainnya digunakan untuk pengukuran kehilangan air dan peningkatan padatan.

Percobaan dilakukan dalam 9 kombinasi dari tiga suhu larutan yaitu 30, 40 dan 50°C dan tiga tingkat kecepatan pengadukan larutan awal rendah (140-143 rpm), sedang (290-295 rpm) dan tinggi (480-488 rpm). Kecepatan putar diukur menggunakan tachometer. Untuk seluruh percobaan digunakan larutan osmotik 61°Bx sebanyak 2000 ml. Selanjutnya tangki larutan osmotik dimasukkan ke tangki pemanas. Suhu larutan dijaga konstan sedangkan kecepatan pengadukan dapat berubah sesuai perubahan kondisi larutan. Sebanyak sampel ± 700 g dimasukkan ke dalam larutan sehingga perbandingan berat sampel-larutan kira-kira 1:3.

Proses dehidrasi osmotik dilakukan selama 8 jam dan perubahan konsentrasi larutan selama proses diukur menggunakan refraktometer pada menit ke 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300, 360, 420, dan 480. Untuk menghindari perubahan jumlah sampel di dalam tangki larutan, pengukuran kadar air tidak dilakukan selama



Gambar 1. Skema dehidrator osmotik.

proses. Pada menit ke 480, 3 sampel yang telah diberikan penanda sebelumnya diukur berat dan kadar airnya sehingga dapat dihitung kehilangan air dan peningkatan padatan.

**Kehilangan Air dan Peningkatan Padatan**

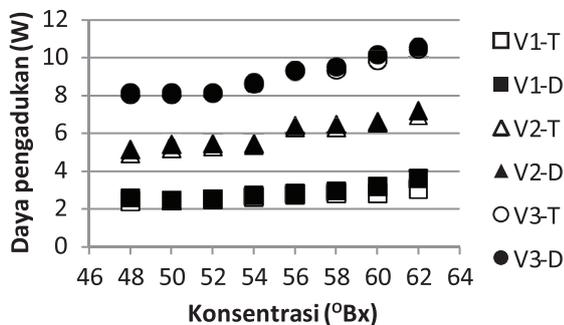
Kehilangan air (WL) merupakan rasio berat air yang keluar ke bahan terhadap berat awalnya, sedangkan peningkatan padatan (SG) merupakan rasio berat padatan (gula) yang masuk ke bahan dibandingkan berat awalnya. Untuk mencegah pengurangan jumlah sampel selama dehidrasi osmotik, WL dan SG hanya ditentukan pada kondisi setelah dehidrasi osmotik selesai (setelah menit ke 480). WL dan SG masing-masing dihitung menggunakan (Souza et al., 2007):

$$WL = \frac{W_i M_i - W_f M_f}{W_i} \times 100 \tag{6}$$

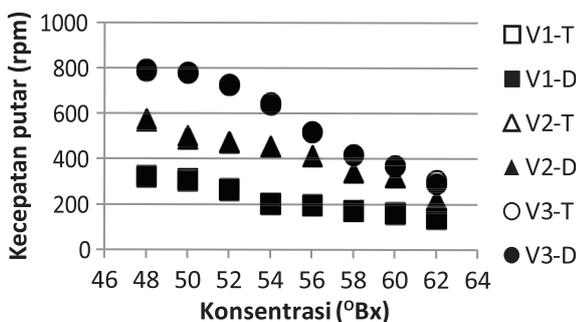
$$SG = \frac{W_f(1 - M_f) - W_i(1 - M_i)}{W_i} \times 100 \tag{7}$$

dimana

- M<sub>i</sub> = kadar air awal (%b.b.)
- M<sub>f</sub> = kadar air setelah 480 menit (%b.b.)
- W<sub>i</sub> = berat sampel awal (g)
- W<sub>f</sub> = berat sampel setelah 480 menit (g)



Gambar 2. Daya pengadukan pada berbagai konsentrasi larutan dan kecepatan putar awal dengan dan tanpa produk.



Gambar 3. Kecepatan putar pengaduk pada berbagai konsentrasi larutan dan kecepatan putar awal dengan dan tanpa produk.

**Hasil dan Pembahasan**

**Perubahan Daya Motor dan Kecepatan Putaran Pengaduk**

Perubahan daya dan kecepatan putaran pengaduk pada tangki larutan gula tanpa produk dan dengan produk pada berbagai konsentrasi larutan diamati untuk tiga tingkat tegangan catu daya motor yaitu 1.89 ± 0.07 V, 2.95 ± 0.05 V dan 3.60 ± 0.07 V. Tiga tingkatan tegangan catu daya ini ditujukan untuk memberikan tiga tingkat kecepatan putaran pada konsentrasi tertentu. Masing-masing tingkat kecepatan putaran ini tentu memberikan tingkat konsumsi daya yang berbeda.

Gambar 2 dan 3 secara berturut-turut menunjukkan perubahan daya dan kecepatan putaran pengaduk untuk wadah larutan tanpa dan dengan produk. Pada konsentrasi larutan gula yang tinggi kebutuhan daya pengaduk menjadi besar dan kecepatan putar menjadi lebih rendah dan hal ini berlaku pada ada atau tidaknya produk untuk semua tingkat kecepatan awal putaran. Hal ini disebabkan oleh peningkatan viskositas dan densitas larutan gula sejalan dengan peningkatan konsentrasi, dimana pada viskositas yang tinggi torka yang dibutuhkan oleh impeller untuk membuat gerakan fluida akan meningkat. Pada konsentrasi 48-52°Bx kebutuhan daya relatif sama untuk ketiga tingkat catu daya motor yakni kira-kira kurang dari 80% kebutuhan daya pada 62°Bx, walaupun kecepatan putarannya lebih dari dua kali kecepatan putaran pada 62°Bx. Perubahan keduanya pada selang konsentrasi tersebut lebih landai dibandingkan pada konsentrasi yang lebih tinggi. Peningkatan torka akan sangat besar pada konsentrasi larutan yang tinggi yang ditunjukkan oleh meningkatnya daya sedangkan kecepatan putaran menurun. Perbedaan kecepatan putaran antar tingkat konsentrasi yang lebih signifikan terjadi pada tingkat tegangan catu daya yang lebih tinggi. Walaupun demikian, selisih daya yang dikonsumsi antar tingkat konsentrasi hampir sama pada kecepatan putaran sedang dan tinggi.

Fenomena dan pola yang terjadi pada kebutuhan daya pengadukan dan kecepatan putaran impeller antara tanpa dan dengan produk sangat mirip dengan besar yang hampir sama. Pada larutan dengan produk, besarnya kebutuhan daya hanya sedikit yang lebih tinggi dengan perbedaan kurang dari 5% kecuali pada 60 dan 62°Bx, sedangkan kecepatan putarannya sedikit lebih rendah yakni kurang dari 5% untuk seluruh tingkat konsentrasi. Adanya produk tidak membuat gerakan larutan dalam tangki terhambat secara signifikan. Hal ini dapat disebabkan oleh celah yang dapat dilalui aliran larutan cukup besar, sehingga disipasi daya untuk pengadukan tidak signifikan.

Data konsentrasi digunakan untuk menghitung viskositas dan selanjutnya bersama-sama dengan kecepatan putaran digunakan untuk menghitung

Tabel 1. Perlakuan yang digunakan untuk percobaan dehidrasi osmotik.

Perlakuan	T(°C)	N (rpm)
T1N1	30	143-153
T1N2	30	290-315
T1N3	30	488-517
T2N1	40	143-156
T2N2	40	295-318
T2N3	40	485-521
T3N1	50	140-158
T3N2	50	293-324
T3N3	50	480-525

bilangan Reynolds. Korelasi antara bilangan daya dan bilangan Reynolds menyatakan hubungan antara friksi dengan gaya inersia dari larutan. Gambar 4 memperlihatkan plot untuk antara bilangan daya dan bilangan Reynolds pada berbagai tingkat kecepatan untuk dengan dan tanpa produk.

Dengan menggabungkan untuk berbagai tingkat kecepatan, perhitungan menggunakan *non-linear least square* memberikan persamaan antara bilangan daya terhadap bilangan Reynolds untuk wadah tanpa dan dengan produk masing-masing adalah:

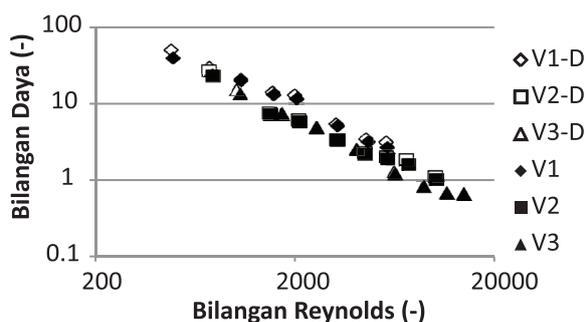
$$N_p = 62025.2 Re^{-1.186} \tag{8}$$

dan

$$N_p = 157580.4 Re^{-1.304} \tag{9}$$

Walaupun koefisien-koefisien pada kedua persamaan di atas berbeda, akan tetapi perbedaan ini cukup kecil. Hal ini lebih jelas dari Gambar 2 dan Gambar 3 yang memperlihatkan perbedaan antara kecepatan awal jauh lebih mempengaruhi dibandingkan dengan dan tanpa produk.

Gambar 4 memperlihatkan plot pada grafik log-log membentuk kurva linier sampai pada bilangan Reynolds lebih dari 10000, walaupun ada kecenderungan gradien kurva melandai pada tingkat kecepatan putaran yang paling tinggi.



Gambar 4. Plot antara bilangan daya dan bilangan Reynolds.

Foucault et al. (2005) memodelkan pencampuran menggunakan turbin koaksial (yang terdiri dari turbin *Rushton* dan jangkar) untuk fluida Newtonian menggunakan korelasi pangkat akan tetapi hanya sesuai untuk bilangan Reynolds kurang dari 10000. Begitu pula hasil penelitian dari Furukawa et al. (2012). Pada bilangan Reynolds yang relatif tinggi, sebagaimana kebanyakan hasil pengujian (McCabe et al., 1999) bilangan daya relatif konstan.

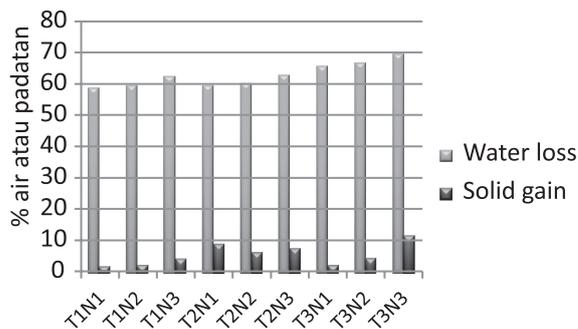
Perubahan bilangan Reynolds akibat perubahan viskositas larutan bergantung pada kecepatan putaran awal ( $N_0$ ) yang diberikan. Penggunaan *non-linear least square* biasa akan membuat error pada bilangan Re rendah menjadi relatif besar. Karena pendugaan untuk bilangan Re yang rendah sangat penting, maka untuk mendapatkan model hubungan antara Re dan kedua parameter tersebut dilakukan *non-linear least square* berbasis error relatif. Persamaan yang diperoleh untuk menyatakan hubungan tersebut pada pengadukan larutan gula dengan produk dinyatakan sebagai:

$$Re = (-1.713 \times 10^{-5} + 4.806 \times 10^{-7} N_0) v^{1.558} \tag{10}$$

**Perubahan Konsentrasi Larutan Selama Dehidrasi Osmotik**

Selama proses dehidrasi osmotik, air dari mangga akan keluar menuju larutan gula dan sebaliknya gula akan meninggalkan larutan menuju sampel akibat perbedaan tekanan osmotiknya. Sehubungan dengan perbandingan berat sampel-larutan yang relatif tinggi yaitu kira-kira 1:3 maka jumlah air yang keluar dari sampel cukup besar untuk mempengaruhi konsentrasi larutan. Untuk menghindari penurunan jumlah sampel selama proses, kehilangan air dan peningkatan padatan diamati hanya pada akhir proses. Pada percobaan ini, tingkat suhu dan tingkat kecepatan putaran disajikan pada Tabel 1.

Gambar 5 memperlihatkan kehilangan air dan peningkatan padatan selama proses dehidrasi osmotik. Kehilangan air untuk seluruh kondisi cukup tinggi yaitu berkisar dari 59 - 70% sedangkan peningkatan padatan jauh lebih rendah dibandingkan kehilangan air yaitu kurang dari 2-12%. Sebagai catatan, pada proses ini larutan



Gambar 5. Kehilangan air dan peningkatan padatan pada akhir dehidrasi osmotik.

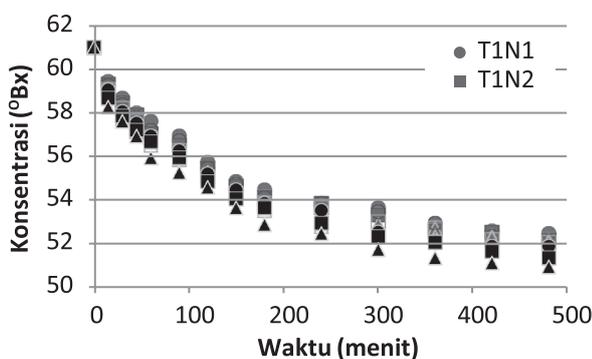
Tabel 2. Parameter  $C_f$  dan  $k$  pada berbagai kondisi percobaan.

Perlakuan	$C_f$ (°Bx)	$k$ (1/menit)	$R^2$
T1N1	52,55	0,00840	0,991
T1N2	52,48	0,00920	0,989
T1N3	52,43	0,01069	0,987
T2N1	52,49	0,00907	0,984
T2N2	52,43	0,01027	0,986
T2N3	52,28	0,01131	0,984
T3N1	51,97	0,00922	0,985
T3N2	51,78	0,00998	0,982
T3N3	51,32	0,01088	0,978

terencerkan akibat kehilangan air dan peningkatan padatan. Pada konsentrasi konstan 66°Bx dehidrasi osmotik dapat mencapai 65% dalam waktu 5 jam (Nelwan et al., 2013).

Kedua perpindahan ini menyebabkan terjadinya penurunan konsentrasi larutan. Gambar 6 memperlihatkan penurunan konsentrasi selama proses untuk tiga tingkat suhu dan tingkat catu daya motor dari konsentrasi awal 61°Bx menjadi konsentrasi akhir 52.5 – 50.9°Bx. Penurunan konsentrasi yang curam pada awalnya akan semakin landai sejalan dengan waktu proses. Hal ini disebabkan oleh penurunan *driving force* air dari produk ke larutan yang cukup signifikan akibat penurunan konsentrasi larutan dan penurunan kadar air dari produk. Selain itu selama proses ini terjadi peningkatan kecepatan putar impeller akibat penurunan viskositas dari larutan.

Sebagaimana yang dapat diduga, semakin tinggi suhu dan kecepatan putaran, konsentrasi akhir larutannya semakin rendah. Gambar 5 terutama untuk data kehilangan air juga mendukung hal yang sama yaitu peningkatan suhu dan kecepatan meningkatkan data kehilangan air yang berlangsung. Peningkatan suhu meningkatkan proses difusi air sehingga laju air yang keluar dari produk, akan tetapi walaupun perbedaan jumlah air dari kehilangan air antara suhu 30 dan 50°C mencapai lebih dari 10%, perbedaan konsentrasi larutan gula selama proses



Gambar 6. Penurunan konsentrasi selama dehidrasi osmotik.

yang dihasilkan tidak terlalu besar. Kecepatan putaran impeller juga mempengaruhi kehilangan air sehingga menurunkan konsentrasi larutan gula selama proses. Pada semua tingkat suhu, secara konsisten konsentrasi larutan sedikit lebih rendah pada kecepatan putaran yang lebih tinggi selama proses dehidrasi. Selain menyeragamkan konsentrasi larutan, koefisien pindah massa menjadi lebih besar pada kecepatan pengadukan yang tinggi sehubungan dengan gerakan fluida yang lebih intensif pada permukaan produk.

Sebuah model eksponensial yang analog dengan persamaan pendinginan Newton digunakan untuk memodelkan untuk penurunan konsentrasi larutan selama dehidrasi osmotik. Model tersebut dinyatakan sebagai:

$$\frac{C - C_f}{C_0 - C_f} = \exp(-kt) \tag{11}$$

dimana  $C$  adalah konsentrasi larutan pada waktu  $t$ ,  $C_0$  adalah konsentrasi awal,  $t$  adalah waktu proses sedangkan  $k$  dan  $C_f$  merupakan konstanta yang masing-masing menyatakan laju dan konsentrasi akhir yang dicapai pada kondisi tersebut. Dengan menggunakan regresi non-linier kuadrat galat terkecil dalam *tool solver* Microsoft Excel maka diperoleh  $k$  dan  $C_f$  untuk masing-masing kondisi percobaan yang dirangkum pada Tabel 2. Model yang digunakan dapat menduga perubahan konsentrasi dengan baik dimana nilai  $R^2$  untuk keseluruhan perlakuan lebih dari 0.978. Perlu diingat bahwa nilai-nilai parameter tersebut tentu sangat mungkin berubah terutama pada kondisi rasio air terhadap sampel yang berbeda. Dapat dilihat kecenderungan penurunan  $C_f$  dan peningkatan  $k$  terhadap peningkatan suhu dan kecepatan. Nilai  $k$  yang tinggi yang dikombinasikan dengan  $C_f$  yang rendah menunjukkan laju penurunan konsentrasi yang semakin besar.

### Simulasi Perubahan Daya Selama Dehidrasi Osmotik

Karena tingkat tegangan catu daya tidak diubah selama proses, sebagaimana yang dijelaskan sebelumnya penurunan konsentrasi larutan terhadap waktu mengakibatkan penurunan viskositas sehingga menyebabkan perubahan kecepatan putaran motor pengaduk dan daya yang dikonsumsi secara gradual. Untuk melihat perubahan tersebut simulasi dilakukan untuk kondisi yang sama dengan percobaan, akan tetapi kecepatan putaran porosnya tidak dipertahankan. Kecepatan putaran poros awal diberikan dari rata-rata pada kolom 3 Tabel 1 yang diberikan menggunakan simbol N01 – N03 (Gambar 7 dan 8) yang bersesuaian dengan N1 – N3 pada Tabel 1, sedangkan simbol T1-T3 pada gambar tersebut menyatakan suhu yang sama dengan Tabel 1. Gambar 7a memperlihatkan bilangan  $Re$  terhadap waktu yang meningkat akibat penurunan viskositas

dan peningkatan kecepatan putaran poros. Peningkatan terutama terjadi pada awal proses ketika viskositasnya masih cukup tinggi karena penurunan viskositas cukup besar.

Gambar 7b memperlihatkan konsumsi daya yang cukup besar pada kecepatan putaran awal poros yang tinggi dan suhu yang rendah. Viskositas yang masih tinggi menyebabkan tahanan pada impeller menjadi besar. Sejalan dengan penurunan konsentrasi, konsumsi daya menurun kira-kira sampai 80% dari konsumsi awalnya untuk hampir seluruh perlakuan. Peningkatan suhu sangat mempengaruhi penurunan viskositas sehingga konsumsi daya yang dibutuhkan secara signifikan lebih rendah ketika suhu ditingkatkan sebesar 10°C.

Gambar 5 telah memperlihatkan bahwa efek suhu dan kecepatan terhadap perbedaan kehilangan air maksimum kira-kira mencapai 10% tetapi Gambar 8 memperlihatkan bahwa daya putaran poros yang dibutuhkan dapat mencapai 10 kalinya. Fenomena yang demikian cukup menarik sebagai dasar untuk melakukan kajian pada proses *intermittent* untuk maksud optimasi penggunaan daya pengadukan.

### Simpulan

Model korelasi antara bilangan daya dan bilangan Reynolds dalam bentuk persamaan pangkat sesuai untuk larutan gula 48-62°Bx dalam tangki silindris untuk dehidrasi osmotik irisan mangga. Selain itu dengan menggunakan *non-linear least square* berbasis error relatif telah dikembangkan model hubungan antara bilangan Reynolds yang mewakili perubahan kecepatan putaran terhadap viskositas larutan dan kecepatan awal putaran. Dehidrasi

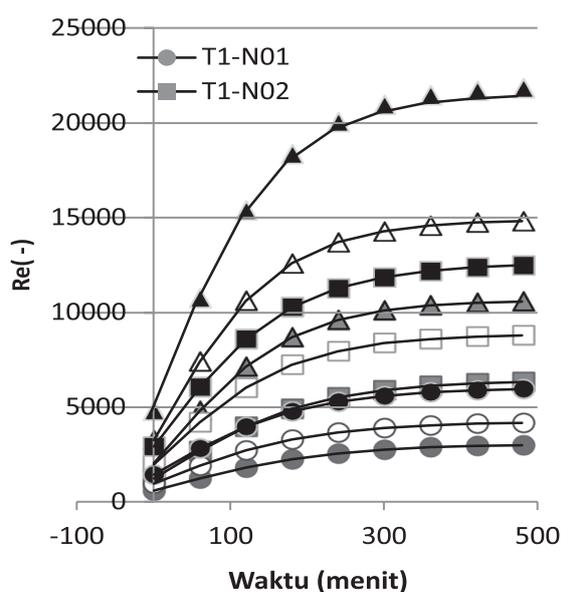
osmotik dalam waktu 8 jam dengan larutan awal 61°Bx dan kondisi suhu 30-50°C dan kecepatan putaran 143-525 rpm telah memberikan kehilangan air 59-70% yang mengakibatkan pengenceran larutan menjadi 50.5-52.5°Bx. Selanjutnya hasil model pada dehidrasi osmotik dengan kondisi tersebut memberikan konsumsi daya pada suhu 30°C dan kecepatan putaran awal 500 rpm mencapai 10 kali lebih besar dibandingkan pada suhu 50°C dan kecepatan putaran awal 148 rpm. Konsumsi daya menurun sampai pada 80% dari konsumsi energi awalnya sejalan dengan terjadinya perubahan konsentrasi larutan selama dehidrasi osmotik berlangsung.

### Ucapan Terima Kasih

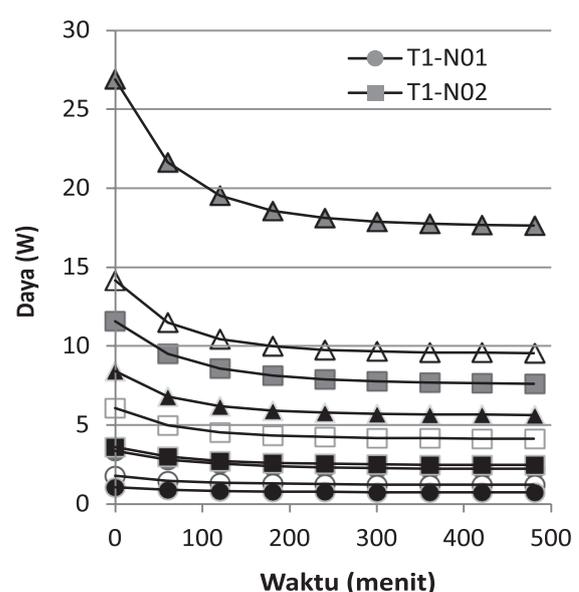
Penelitian ini didanai melalui program penelitian UNU-Kirin Follow-up Research dengan no. Kontrak 600 UU-2010-536.

### Daftar Pustaka

- Chenlo, F., R. Moreira, G. Pereira and A. Ampudia. Viscosities of aqueous solutions of sucrose and sodium chloride of interest in osmotic dehydration processes. *Journal of Food Engineering* 54 (2002) 347–352
- Foucault, S., G. Ascanio, and P. A. Tanguy. Power Characteristics in Coaxial Mixing: Newtonian and Non-Newtonian Fluids. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2005, 44, 5036-5043
- Furukawa, H. Y. Kato, Y. Inoue, T. Kato, Y. Tada and S. Hashimoto. Correlation of Power Consumption



(a)



(b)

Gambar 7. Simulasi perubahan: (a) bilangan Re dan (b) konsumsi daya selama dehidrasi osmotik.

- for Several Kinds of Mixing Impellers. *International Journal of Chemical Engineering* Volume 2012. doi:10.1155/2012/106496
- Gheybi F., R.A. Rahman, J. Bakar and S.H.A. Aziz. 2013. Optimization Of Osmotic Dehydration Of Honeydew Using Responce Surface Methodology. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 5(19): 2308-2317.
- McCabe, W.L., J.C. Smith and P. Harriot. 1993. *Unit Operations of Chemical Engineering* 5th ed., McGraw Hill Inc., New York.
- Nelwan, L.O., M. Jannah and H. Nabetani. Kinetics model of Osmotic Dehydration of Uncoated and Chitosan-coated Mango. *The International Symposium on Agricultural and Biosystem Engineering (ISABE) 2013: A21-1 – A21-10*
- Reynaldy, S., H.E. Wibowo dan N. Indrawati. 2005. Dehidrasi Osmotik Apel: Pengaruh pengadukan, konsentrasi larutan gula dan waktu perendaman. *Jurnal Ilmiah Nasional Widya Teknik* vol.4 no.2
- Souza J.S., Medeiros, M.F.D., Magalhaes, M.M.A., and Fernandes, F.A.N. 2007. Optimization of osmotic dehydration of tomatoes in a ternary system followed by air-drying. *Journal of Food Engineering* 83: 501-509.
- Tonon, R.V., Baroni, A.F and Miriam D. Hubinger. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. *Journal of Food Engineering* 82 (2007) 509–517

*Technical Paper*

## **Pengembangan Model Pendugaan Kadar Hara Tanah Melalui Pengukuran Daya Hantar Listrik Tanah**

*Model Development for Estimating Soil Nutrient Levels Using Soil Electrical Conductivity Measurement*

Hasbi Mubarak Suud, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Institut Pertanian Bogor,  
Email: [hasbi.mubarak@gmail.com](mailto:hasbi.mubarak@gmail.com)

M. Faiz Syuaib, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor  
I Wayan Astika, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor

### **Abstract**

*The key of precision farming is the right decision in terms of time, quality, quantity, and specific location in the farming activities. Soil electrical conductivity (EC) is a variable that is both practical and efficient to implement precision farming. Several methods of EC measurement for precision farming have been developed and applied in precision farming, but inaccuracy on the interpretation of measurement result frequently encountered due to complexity of soil conditions and various geospatial condition. This paper presents a study on EC interpretation by focusing on interaction between moisture content, soil density, and soil N, P, K ratio which affect soil EC measurement. Soil samples of various levels of water, compaction, and N, P, K ratio are measured using a soil box resistivity. The levels of moisture contents were divided into low moisture content that have moisture content less than 20% and high moisture content that have moisture content more than 20%, while the levels of soil compaction were divided into high density condition and low density condition. Regression equations for N, P, and K ratio prediction have been generated and the coefficient of determination ( $R^2$ ) were obtained ranging between 0.6 and 0.89 for low moisture content and 0.81 and 0.95 for high moisture content.*

**Keywords:** soil electrical conductivity, nutrient level, EC measurement

### **Abstrak**

Kegiatan pertanian presisi menitikberatkan pada ketepatan waktu, kualitas, kuantitas, dan spesifik lokasi pada kegiatan usaha pertanian. Nilai daya hantar listrik tanah (EC) dapat digunakan sebagai variabel pendugaan kondisi tanah yang praktis dan efisien dalam aplikasi pertanian presisi. Beberapa metode pengukuran EC tanah telah banyak dibuat dan dikembangkan dalam lingkup pertanian presisi namun hasil pengukurannya masih sulit diinterpretasi untuk menjelaskan kondisi suatu lahan diakibatkan sifat tanah yang kompleks dan kondisi geospasial lahan yang bervariasi. Penelitian ini menitikberatkan pada studi pengaruh berbagai tingkat kadar air, kepadatan tanah, dan rasio kadar hara N, P, dan K terhadap hasil pengukuran nilai EC. Sampel tanah dengan berbagai tingkat kepadatan tanah, kadar air, dan kadar hara potensial N, P, K diukur nilai EC nya menggunakan kotak ukur resistivitas tanah. Kadar air sampel tanah dibagi dalam dua tingkat yaitu tingkat kadar air tinggi dengan kisaran kadar air lebih dari 20% dan pada tingkat kadar air rendah dengan kisaran kadar air kurang dari 20%. Tingkat kepadatan tanah dibagi dalam dua level yaitu tingkat kepadatan tinggi dan tingkat kepadatan rendah. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang didapatkan dari persamaan regresi pendugaan kadar N, P, dan K cukup baik yaitu antara 0.6 hingga 0.89 pada tingkat kadar air rendah dan 0.81 hingga 0.95 pada tingkat kadar air tinggi.

**Kata kunci:** daya hantar listrik tanah, kadar hara tanah, pengukuran EC

*Diterima: 06 April 2015; Disetujui: 27 Juli 2015*

### **Pendahuluan**

Aplikasi sistem pertanian presisi dalam kegiatan produksi pertanian bertujuan untuk mendapatkan

hasil yang optimum dan mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan sehingga terwujud kegiatan pertanian yang berkelanjutan. Sistem pertanian presisi memanfaatkan informasi dan

teknologi untuk mengidentifikasi dan menganalisa keragaman spasial dan temporal pada lahan pertanian. Kecepatan dan ketepatan pengambilan informasi menjadi poin penting dalam aplikasi sistem pertanian. Salah satu metode yang berkembang dalam sistem pertanian presisi untuk mengambil informasi kondisi lahan adalah melalui pengukuran nilai soil electrical conductivity atau daya hantar listrik tanah (EC). Daya hantar listrik tanah adalah kemampuan tanah untuk menghantarkan arus listrik. Daya hantar listrik tanah terjadi karena eksistensi kandungan garam bebas yang terdapat pada kadar air tanah dan kandungan ion dapat ditukar yang terdapat pada permukaan partikel padat tanah (Rhoades *et al.* 1999). Pengukuran EC tanah untuk pendugaan kondisi tanah memiliki beberapa kelebihan antara lain kemudahan operasional, biaya operasional rendah, dan lebih cepat dibandingkan dengan metode pengukuran tanah lainnya (Farahani *et al.* 2005).

Nilai EC tanah memiliki korelasi dengan kadar hara Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K). Namun seringkali tingkat korelasi dan hubungan nilai EC tanah memiliki tingkat variasi yang besar sehingga sulit untuk melakukan interpretasi hasil pengukuran dengan tepat. Corwind dan Lesch (2003) menyatakan bahwa sifat kehandalan dari pemetaan spasial nilai EC tanah telah diketahui dan dipahami secara luas, namun interpretasi kondisi tanah melalui pengukuran EC tanah masih sering salah dipahami dan diartikan. Tantangan terbesar dalam mengaplikasikan pengukuran EC untuk memprediksi kondisi suatu lahan bukan pada teknik pemetaan nilai EC nya, melainkan pada pemahaman yang mendalam terhadap tingkat variabilitas spasial dan temporal dari nilai EC itu sendiri dan pemahaman yang mendalam terhadap interaksi yang kompleks antara berbagai parameter sifat tanah dengan nilai EC tanah.

Eigenberg *et al.* (2002) telah meneliti bahwa nilai EC memiliki korelasi terhadap kadar N-tersedia tanah dengan koefisien korelasi ( $r$ ) bervariasi antara 0.48 hingga 0.86 dan memiliki korelasi terhadap kadar P dengan koefisien korelasi bervariasi antara -0.23 hingga 0.6 pada berbagai kondisi tanah. Tarr *et al.* (2003) juga telah meneliti bahwa nilai EC tanah dan kadar Kalium (K) memiliki korelasi yang cukup kuat dengan nilai koefisien korelasi lebih dari 0.5 dan nilai EC tanah memiliki korelasi yang lemah terhadap kadar fosfor (P) dengan nilai koefisien korelasi kurang dari 0.1. Tingkat korelasi nilai EC dengan kadar N, P, dan K memiliki nilai yang bervariasi disebabkan karena adanya variabel lain yang mempengaruhi nilai EC dalam tanah. Variabel yang memiliki variasi tinggi dan mempengaruhi nilai EC untuk pendugaan kondisi tanah antara lain adalah tingkat kadar air tanah dan tingkat kepadatan tanah. Variasi tingkat kadar air dan kepadatan tanah pada suatu lahan dapat disebabkan karena perbedaan topografi, vegetasi,

dan pengolahan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji lebih dalam interaksi variabel rasio kadar hara, rasio kadar air, dan kepadatan tanah dalam mempengaruhi hasil pengukuran nilai EC.

## Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret hingga September 2014. Pengukuran EC pada penelitian ini dilakukan pada berbagai variasi sampel tanah yang telah diberi perlakuan pemupukan, pemberian air, dan kepadatan tanah. Sampel tanah diambil di lahan laboratorium lapangan Siswadi Supardjo IPB dan analisa kadar air dan kadar hara pada sampel tanah dan pupuk dilakukan di Laboratorium Tanah, Departemen Ilmu tanah dan Sumber Daya Lahan IPB.

### Bahan

Sampel tanah dikeringkan dan diayak hingga memiliki kadar air dan tekstur yang seragam. Sampel tanah yang telah dikeringkan lalu diberi perlakuan dengan berbagai variasi dan kombinasi perlakuan penambahan air dan pemupukan. Perlakuan pemupukan meliputi pemupukan urea, KCl, dan SP36 dengan rasio pemupukan sebesar 0.1%, 0.2%, 0.4%, 1%, 2%, 4%, 6%, dan 10%. Perlakuan penambahan air berupa penambahan air aquades pada sampel tanah hingga mencapai kadar air perlakuan sebesar 3.6%, 8.6%, 18.6%, 33.6%, 48.6%, dan 63.6%. Perlakuan penambahan air dan pemupukan pada sampel tanah kering tersebut dikombinasikan sehingga terdapat 148 sampel tanah dengan berbagai variasi tingkat kadar air dan pemupukan yang siap diukur nilai EC nya.

### Metode Pengukuran EC

Pengukuran EC tanah dilakukan pada selang waktu tiga hari setelah perlakuan pemupukan dan pemberian air. Pengukuran EC tanah dilakukan dengan menggunakan metode kotak ukur resistivitas tanah. Metode kotak ukur resistivitas tanah telah banyak digunakan untuk mengukur nilai daya hantar listrik tanah ataupun resistivitas listrik tanah seperti dilakukan oleh Abidin *et al.* (2013) yang meneliti hubungan kadar air tanah dengan nilai resistivitas listrik tanah. Metode kotak ukur resistivitas tanah juga digunakan untuk mengukur daya hantar listrik tanah dalam analisa karakteristik korosi logam dalam tanah (Ahmad, 2006). Selain itu metode kotak ukur resistivitas ini dapat diaplikasikan menggunakan arus listrik DC dari baterai secara langsung yang dihubungkan dengan volt meter dan ampere meter (McMiller, 2012). Pada penelitian ini, hasil pengukuran nilai EC menggunakan metode kotak ukur resistivitas ini telah dibandingkan sebelumnya dengan hasil pengukuran EC menggunakan instrumen soil EC tester HI98331 Hanna Instrumen pada rentang nilai

EC dari 0 S/m hingga 0.4 S/m dan menunjukkan nilai EC yang sama dengan koefisien korelasi (r) mencapai 0.96.

Kotak ukur resistivitas tanah pada penelitian ini terbuat dari bahan flexiglass dengan ketebalan 5 mm. Arus listrik dialirkan melalui plat elektroda yang terbuat dari plat baja stainless. Tegangan listrik diukur menggunakan volt meter yang dihubungkan pada pin probe yang terbuat dari batang kuningan dengan diameter 5 mm. Jarak antar pin probe ditentukan sebesar 12 cm, jarak antar plat elektroda sebesar 22 cm, dan luas plat elektroda sebesar 12 cm<sup>2</sup>.

Kotak ukur yang telah terisi oleh sampel tanah yang akan diukur dihubungkan pada catu daya aki dengan spesifikasi tegangan listrik 12 V dan kapasitas 3,5 AH. Ampere meter disusun seri dengan catu daya dan dua plat elektroda untuk pembacaan arus listrik masuk seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Besarnya nilai EC dihitung dengan persamaan (1) :

$$EC = \frac{L}{A} \times \frac{1}{V} \tag{1}$$

dimana L adalah jarak antar pin probe (m), A adalah luas plat elektroda (m<sup>2</sup>), I adalah arus listrik yang terbaca pada ampere meter (A), V adalah tegangan yang terbaca pada volt meter (V), dan EC adalah daya hantar listrik tanah (A/Vm atau S/m).

**Perhitungan Kadar Air dan Kadar Hara Potensial Setelah Perlakuan**

Kadar air dan kadar hara sampel tanah dianalisa di laboratorium tanah. Hasil analisa tersebut digunakan untuk menghitung rasio kadar air dan rasio kadar hara potensial setelah diberi perlakuan pemberian air aquades dan pemupukan. Sampel tanah yang telah diberi perlakuan penambahan air dapat dihitung rasio kadar air akhir dengan persamaan (2):

$$RKA = \frac{BA}{BT} \times 100\% \tag{2}$$

dimana RKA adalah rasio kadar air basis kering sampel tanah setelah perlakuan (%), BA adalah berat air aquades yang ditambahkan (g), dan BT adalah berat sampel tanah kering, termasuk sampel tanah yang telah diberi perlakuan pemupukan (g).

Rasio kadar hara potensial (RKH) Nitrogen (N), Phospor (P), atau Kalium (K) sampel tanah yang telah diberi perlakuan dapat dihitung dengan persamaan (3):

$$RKH = \frac{(BP \times KHP) + (BTk \times KHT)}{(BP + BTk)} \times 100\% \tag{3}$$

dimana RKH adalah rasio kadar hara tanah potensial N, P, atau K setelah perlakuan pemupukan (%), BP adalah berat pupuk yang ditambahkan (g), BTk adalah berat tanah kering sebelum diberi perlakuan pemupukan (g), KHP adalah kadar hara total

pupuk (%), KHT adalah kadar hara total tanah (%). Perhitungan RKH hanya dilakukan pada satu jenis kadar hara saja. Sedangkan berat tanah kering tanpa perlakuan pemupukan (BTk) dihitung dari persamaan (4):

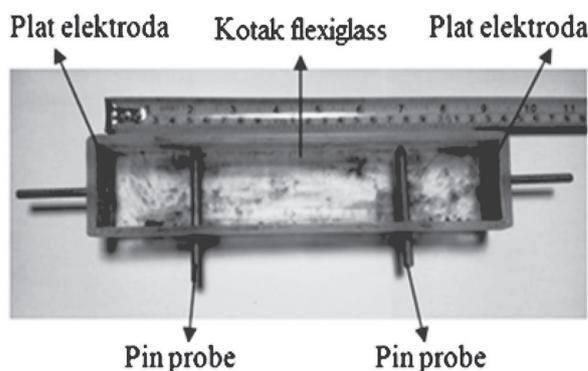
$$BTk = BTb \times (1-KA) \tag{4}$$

dimana KA adalah kadar air awal sampel tanah (g/g) dan BTb adalah berat tanah awal (g). Besarnya nilai KHP, KHT, dan KA didapatkan dari hasil uji laboratorium .

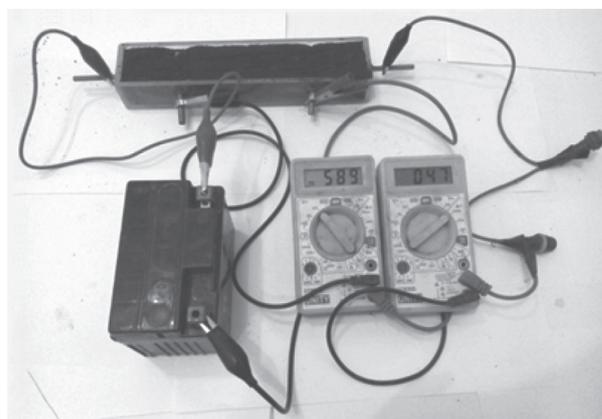
Rasio kadar hara tanah potensial (RKH) hasil perhitungan menggunakan persamaan (3) bukanlah rasio kadar hara dalam bentuk ion-ion yang siap diserap tanaman, melainkan rasio kadar hara potensial dalam bentuk senyawa bukan ion yang berasal dari pemupukan. Densitas tanah dalam kotak ukur resistivitas juga diukur pada setiap pengukuran EC menggunakan persamaan (5):

$$D = \frac{BT + BA}{VTb} \tag{5}$$

dimana D adalah densitas tanah dalam kotak ukur (g/cm<sup>3</sup>), BT adalah berat sampel tanah kering yang telah diberi perlakuan pemupukan (g), BA adalah berat air yang ditambahkan dalam perlakuan (g), dan VTb adalah volume tanah dalam kotak ukur (cm<sup>3</sup>).



Gambar 1. Kotak ukur resistivitas tanah.



Gambar 2. Susunan pengukuran EC menggunakan kotak ukur resistivitas.

Tabel 1. Kadar hara N, P, dan K pada sampel tanah dan pupuk.

Jenis sampel	Uji Kadar hara (%)				
	N-Total	P-Total	P-Tersedia	K-Total	K-Tersedia
Sampel tanah kering	0.14	0.01952	0.0013	0.24938	0.00345
Pupuk Urea	39.36	-	-	-	-
Pupuk KCl	-	-	-	49.74	-
Pupuk SP36	-	11.99	-	-	-

Tabel 2. Deskripsi data hasil pengukuran EC, densitas (D), rasio kadar air (RKA), rasio kadar hara Nitrogen (N), rasio kadar hara Phospor (P), dan rasio kadar hara Kalium (K).

Variabel	D	RKA	N	P	K	E
Statistik	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(S/m)
Rata-rata	1.21	28.56	0.55	0.14	0.70	0.52
Minimum	0.83	3.35	0.13	0.018	0.23	0
Maksimum	1.71	66	4.2	1.26	5.37	7.1
Standar deviasi	0.22	19.86	0.99	0.3	1.16	1.12
Median	1.13	19.29	0.14	0.02	0.25	0.02
Rasio Skewness	2.20	2.43	21.9	19.67	23.83	23.54
Rasio Kurtosis	-5.65	-4.86	29.26	23.11	34.62	37.38

### Analisis Data

Data yang didapatkan pada setiap pengukuran meliputi nilai EC, kadar air, kadar pemupukan, dan densitas tanah. Data kadar pemupukan dikonversi menjadi data rasio kadar hara potensial N, P, atau K menggunakan persamaan (3). Data tersebut digunakan sebagai variabel untuk menyusun model persamaan regresi pendugaan rasio kadar hara tanah potensial melalui pengukuran EC.

## Hasil dan Pembahasan

### Hasil Uji Laboratorium Sampel Tanah dan Pupuk

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini memiliki tekstur liat dengan kandungan liat 68.33%, kandungan pasir 10.1%, kandungan debu 21.57%, dan kadar air awal 3.6%. Sedangkan hasil uji kadar hara awal sampel tanah dan pupuk yang digunakan untuk menghitung rasio kadar hara potensial N, P, dan K setelah perlakuan pemupukan disajikan dalam Tabel 1.

Pengukuran EC tanah dilakukan pada kondisi kepadatan tanah tinggi dan kepadatan tanah rendah. Kondisi kepadatan tanah tinggi adalah kondisi dimana sampel tanah dalam kotak ukur resistivitas dipadatkan hingga kepadatan tanah maksimal sedangkan kondisi kepadatan tanah rendah merupakan kondisi dimana sampel tanah tanpa dilakukan pemadatan dalam kotak ukur resistivitas tanah. Data hasil pengamatan meliputi nilai EC tanah, densitas tanah (D), rasio kadar air (RKA), rasio kadar hara potensial Nitrogen (N), Phospor (P), dan Kalium (K).

Asumsi yang digunakan dalam mengkonversi data pemupukan menjadi data rasio kadar hara tanah

potensial (RKH) adalah bila terdapat penambahan satu jenis pupuk maka yang bertambah adalah jumlah kadar hara spesifik pupuk tersebut saja sedangkan jumlah kadar hara yang lain tetap. Penambahan pupuk urea akan meningkatkan rasio kadar hara potensial N, sedangkan rasio kadar hara P dan K tetap. Penambahan pupuk SP36 akan meningkatkan rasio kadar hara potensial P, sedangkan kadar hara N dan K tetap. Begitu juga dengan penambahan pupuk KCl akan meningkatkan rasio kadar hara potensial K sedangkan rasio kadar hara potensial P dan N tetap. Deskripsi data statistik hasil pengukuran ditampilkan dalam Tabel 2.

Nilai rasio skewness dapat menunjukkan tingkat ketidaksimetrisan sebaran data terhadap nilai rata-ratanya dan nilai rasio kurtosis dapat menunjukkan tingkat kerataan (*flatness*) suatu distribusi data terhadap distribusi normal. Satu set data yang memiliki sebaran data yang terdistribusi normal jika memiliki rasio skewness dan kurtosis antara -2 hingga 2 (Triton, 2005). Maka berdasarkan rasio skewness dan kurtosis yang ditampilkan pada Tabel 2 terdapat indikasi bahwa data hasil pengukuran yang didapatkan tidak terdistribusi normal sehingga perlu dilakukan transformasi variabel dalam penyusunan persamaan regresi dalam penelitian ini agar dapat memenuhi syarat asumsi klasik regresi.

### Pengaruh Pemupukan, Kadar Air, dan Kepadatan Tanah Terhadap Nilai EC

Nilai EC semua sampel tanah pada penelitian ini dapat terukur seluruhnya pada tingkat perlakuan kadar air 8.6% dan mulai menunjukkan pola kenaikan nilai EC yang signifikan pada perlakuan kadar air 18.6%. Nilai EC tanah cenderung memiliki pola kenaikan positif pada kisaran kadar kadar air

Tabel 3. Nilai EC rata-rata pada kepadatan tinggi dan kepadatan rendah.

Jenis pemupukan	Nilai EC rata-rata (S/m)					
	Kadar air (%)					
	3.6%	8.6%	18.6%	33.6%	48.6%	63.6%
	Kepadatan tanah tinggi					
Urea	0.0001	0.0004	0.035	0.841	1.375	1.257
KCl	0.0002	0.0017	1.052	2.276	1.837	1.771
SP36	0	0.0002	0.001	0.061	0.121	0.142
	Kepadatan tanah rendah					
Urea	0.0001	0.0002	0.005	0.466	1.354	1.113
KCl	0.0001	0.0011	0.077	0.737	1.653	-
SP36	0	0.0001	0	0.031	0.112	0.152

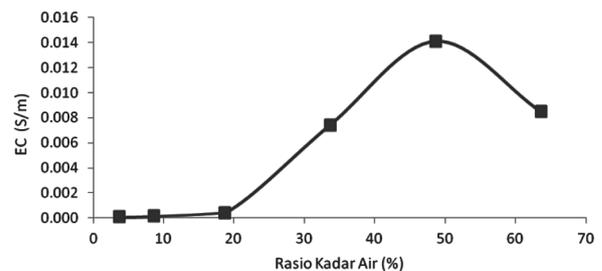
di bawah 50% dan memiliki kecenderungan pola penurunan nilai EC pada kisaran kadar air tanah di atas 50% seperti disajikan oleh grafik pada Gambar 3. Pola perubahan nilai EC terhadap kadar air tersebut dapat ditemui pada semua sampel tanah dengan perlakuan pemupukan ataupun sampel tanah tanpa pemupukan. Kadar air dalam tanah akan membantu kadar hara potensial untuk larut dan terhidrolisis sehingga dapat membentuk ion dan kation dalam tanah. Namun saat kandungan air dalam tanah sudah terlalu jenuh maka pengukuran EC tanah lebih didominasi oleh nilai daya hantar listrik yang diakibatkan kandungan air jenuh daripada nilai daya hantar listrik akibat kandungan ion hara yang telah terhidrolisis.

Pola hubungan nilai EC dan kadar air dalam penelitian ini serupa seperti pola yang didapatkan pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Rogero *et al.* (2013) dimana nilai EC tanah dengan tekstur *loam* memiliki nilai EC tertinggi berada pada kadar air perlakuan 48.9% dan nilai nya cenderung turun kembali pada perlakuan kadar air yang lebih besar dari 48.9%.

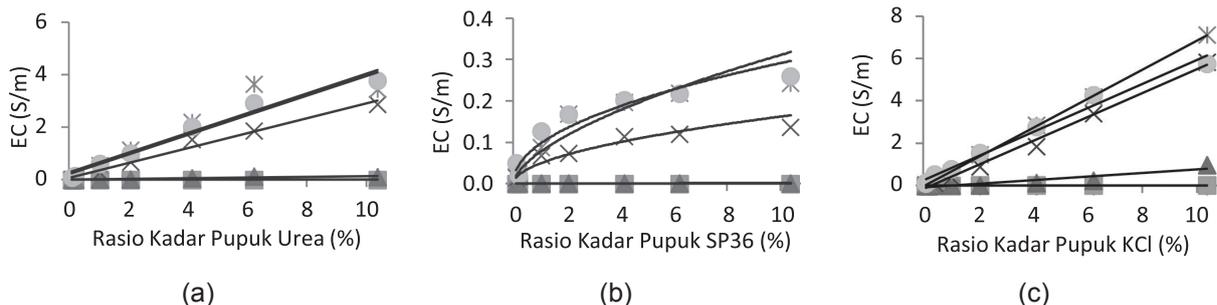
Tingkat pemupukan berkorelasi positif terhadap nilai EC seperti ditunjukkan pada grafik di Gambar 4. Kenaikan nilai EC karena pengaruh pemupukan urea dan KCl cenderung menunjukkan pola regresi linier sedangkan kenaikan nilai EC karena pengaruh pemupukan SP36 cenderung menunjukkan pola regresi log linier. Hubungan respon nilai EC terhadap jenis pemupukan dari yang terkuat hingga

terlemah berturut-turut terjadi pada sampel tanah dengan pemupukan KCl, urea, dan SP36.

Kenaikan nilai EC dipengaruhi oleh jumlah ion yang terkandung dalam tanah namun nilai EC tidak dapat menentukan jenis ion yang dominan dalam sampel tanah. Respon kenaikan nilai EC mempunyai korelasi dengan karakteristik dan kemampuan pupuk untuk terionisasi dalam tanah. Pupuk KCl merupakan senyawa yang memiliki tingkat ionisasi sempurna sehingga sampel tanah dengan pemupukan KCl memiliki respon kenaikan nilai EC yang paling tinggi dibandingkan sampel tanah dengan jenis pemupukan lainnya. Pupuk urea memiliki sifat higroskopis dan dapat terurai menjadi senyawa ion dengan tingkat ionisasi tinggi namun memiliki tahapan reaksi yang lebih panjang dibanding pupuk KCl. Oleh karena itu respon kenaikan nilai EC terhadap rasio pemupukan urea



Gambar 3. Pola kenaikan nilai EC tanah pada tiap perlakuan kadar air pada sampel tanah tanpa pemupukan.



Gambar 4. Nilai EC pada tiap rasio kadar air dan pada tiap perlakuan pemupukan dengan pupuk (a) urea, (b) SP36, dan (c) KCl

Tabel 4. Korelasi parsial antara nilai EC, kadar air (RKA), dan rasio kadar hara potensial (N), (P), dan (K).

Para-meter	Koefisien Korelasi (r)									
	Kepadatan tanah tinggi					Kepadatan tanah rendah				
	EC a	KA	N	P	K	EC a	KA	N	P	K
Sampel tanah dengan pemupukan urea										
ECa	1.00	0.63	0.71	-	-	1.00	0.68	0.62	-	-
KA	0.63	1.00	-0.43	-	-	0.68	1.00	-0.42	-	-
N	0.71	-0.43	1.00	-	-	0.62	-0.42	1.00	-	-
Sampel tanah dengan pemupukan SP36										
ECa	1.00	0.78	-	0.64	-	1.00	0.79	-	0.53	-
KA	0.78	1.00	-	-0.48	-	0.79	1.00	-	-0.40	-
P	0.64	-0.48	-	1.00	-	0.53	-0.40	-	1.00	-
Sampel tanah dengan pemupukan KCl										
ECa	1.00	0.57	-	-	0.76	1.00	0.59	-	-	0.67
KA	0.57	1.00	-	-	-0.43	0.59	1.00	-	-	-0.40
K	0.76	-0.43	-	-	1.00	0.67	-0.40	-	-	1.00

terhadap juga cukup tinggi. Pupuk SP36 memiliki respon perubahan nilai EC yang paling rendah karena karakteristik pupuk SP36 sulit larut dalam air dan ion orthophospat yang terhidrolisis dari pupuk SP36 memiliki tingkat ionisasi rendah.

Sampel tanah dengan kepadatan tanah tinggi memiliki nilai EC lebih tinggi daripada nilai EC pada sampel tanah dengan kepadatan tanah rendah seperti disajikan pada data dalam Tabel 3. Perbedaan nilai EC antara kepadatan tanah tinggi dan kepadatan tanah rendah paling besar terdapat pada sampel tanah dengan perlakuan kadar air 33.6%. Semakin tinggi kepadatan tanah maka luas volume udara semakin kecil dan luas kontak antara partikel padat dan kandungan air menjadi semakin besar. Hal tersebut menyebabkan luas permukaan kontak yang menjadi lintasan arus listrik juga semakin luas sehingga nilai EC juga semakin meningkat. Namun pada saat kondisi tanah mulai jenuh air maka pengaruh kepadatan tanah terhadap kadar air kembali berkurang. Pada saat kondisi tanah mulai jenuh dan pori-pori makro tanah sudah terisi penuh oleh air maka nilai EC pada saat itu lebih dipengaruhi oleh ion-ion yang terkandung dalam kadar air tanah dibanding faktor kepadatan tanah (Seladji *et al* 2010).

#### Pendugaan Rasio Kadar Hara Potensial Tanah Melalui Pengukuran EC

Rasio kadar hara potensial N, P, dan K memiliki korelasi positif terhadap pengukuran nilai EC tanah. Hal tersebut disebabkan karena penambahan jumlah rasio kadar hara potensial akan meningkatkan jumlah kadar hara yang terionisasi sehingga dapat meningkatkan nilai EC tanah. Sedangkan tingkat rasio kadar air (RKA) memiliki korelasi negatif dengan rasio kadar hara potensial tanah. Hal tersebut disebabkan semakin besar rasio kadar air maka akan meningkatkan jumlah kadar hara potensial yang terionisasi dalam tanah. Semakin besar jumlah kadar hara potensial dalam tanah

yang terionisasi juga menyebabkan rasio kadar hara potensial tanah tersebut berkurang. Tingkat korelasi setiap variabel penyusun persamaan regresi disajikan secara lengkap pada Tabel 4.

Metode persamaan regresi linier berganda digunakan untuk menyusun persamaan pendugaan kadar hara tanah. Bentuk persamaan regresi terbaik didapatkan dengan mentransformasi variabel nilai daya hantar listrik tanah (EC), rasio kadar air (RKA), rasio kadar hara potensial Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) dalam bentuk logaritma natural. Variabel RKA dan EC digunakan sebagai variabel bebas dalam persamaan regresi untuk pendugaan setiap rasio kadar hara potensial N, P, atau K. Untuk mengetahui pengaruh faktor kepadatan tanah maka penyusunan persamaan regresi pendugaan kadar hara dilakukan pada dua jenis kepadatan tanah, yaitu kepadatan tanah tinggi dan kepadatan tanah rendah. Hasil penyusunan persamaan regresi pada tingkat kepadatan tanah tinggi disajikan pada Tabel 5 sedangkan persamaan regresi pada tingkat kepadatan tanah rendah disajikan pada Tabel 6.

Persamaan regresi disusun pada dua tingkat kadar air yaitu pada kadar air rendah dan kadar air tinggi. Kategori kadar air rendah meliputi sampel tanah dengan perlakuan kadar air kurang dari 20% dan kadar air tinggi meliputi sampel tanah dengan perlakuan kadar air kurang dari 20%. Pembagian dua kategori kadar air ini berdasarkan kecenderungan sebaran data nilai pengukuran EC tanah yang memiliki nilai variasi yang baik pada batas perlakuan kadar air tersebut. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang didapatkan dari persamaan regresi lebih besar nilainya pada kondisi kadar air tinggi daripada kondisi kadar air rendah. Pendugaan persamaan regresi pendugaan rasio kadar hara potensial Kalium (K) memiliki koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang lebih besar dibandingkan persamaan regresi kadar hara potensial yang lain. Pada model persamaan regresi rasio kadar hara potensial Fosfor (P) pada tingkat kadar air rendah, variabel

Tabel 5. Persamaan regresi pendugaan rasio kadar hara pada rasio kepadatan tanah tinggi.

	Persamaan regresi	R <sup>2</sup>
Kadar air rendah	$\text{Ln N} = 7.682 + 0.57 \text{ Ln EC} - 1.729 \text{ Ln RKA}$	0.6
	$\text{Ln P} = 0.24 \text{ Ln EC}$	0.63
	$\text{Ln K} = 6,066 + 0,459 \text{ Ln EC} - 1,334 \text{ Ln RKA}$	0.85
Kadar air tinggi Ln	$\text{Ln N} = 2.413 + 0.554 \text{ Ln EC} - 0.533 \text{ Ln RKA}$	0.92
	$\text{P} = 9.037 + 1.276 \text{ Ln EC} - 1.881 \text{ Ln RKA}$	0.88
	$\text{Ln K} = 2.968 + 0.475 \text{ Ln EC} - 0.602 \text{ Ln RKA}$	0.9

Tabel 6. Persamaan regresi pendugaan rasio kadar hara pada rasio kepadatan tanah rendah.

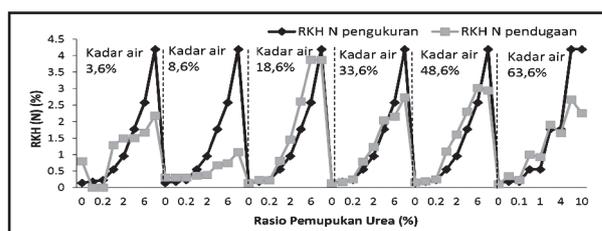
	Persamaan regresi	R <sup>2</sup>
Kadar air rendah	$\text{Ln N} = 9.622 + 0.746 \text{ Ln EC} - 1.684 \text{ Ln RKA}$	0.66
	$\text{Ln P} = 0.204 \text{ Ln EC}$	0.61
	$\text{Ln K} = 6.191 + 0.411 \text{ Ln EC} - 1.355 \text{ Ln RKA}$	0.89
Kadar air tinggi Ln	$\text{Ln N} = 5.339 + 0.612 \text{ Ln EC} - 1.254 \text{ Ln RKA}$	0.87
	$\text{P} = 15.014 + 1.305 \text{ Ln EC} - 3.332 \text{ Ln RKA}$	0.81
	$\text{Ln K} = 7.287 + 0.504 \text{ Ln EC} - 1.778 \text{ Ln RKA}$	0.95

\*Nilai EC dan nilai KA harus lebih besar dari nol.

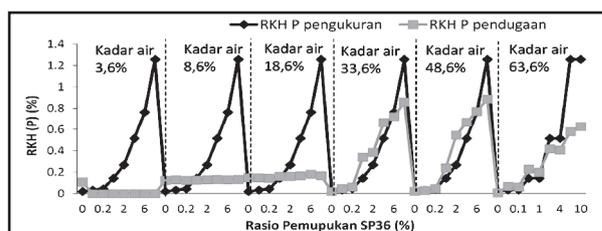
rasio kadar air (RKA) tidak signifikan. Hal ini dapat disebabkan karena tingkat kelarutan pupuk SP36 yang sangat rendah pada tingkat kadar air rendah.

Hubungan koefisien regresi setiap variabel kadar air (RKA) dan nilai daya hantar listrik tanah (EC) sesuai dengan hubungan korelasinya dimana variabel RKA memiliki hubungan negatif dan variabel EC memiliki hubungan positif terhadap rasio kadar hara potensial tanah N, P, dan K. Setiap penambahan air akan memicu kadar hara potensial tanah untuk terionisasi dan meningkatkan nilai EC. Semakin banyak kadar hara potensial tanah yang terionisasi maka akan semakin mengurangi besar rasio kadar hara potensial tanah. Perbandingan rasio kadar hara potensial tanah (RKH) hasil pengukuran dan hasil pendugaan dengan model regresi pada tingkat kepadatan tinggi dan rendah disajikan pada grafik Gambar 5 dan 6.

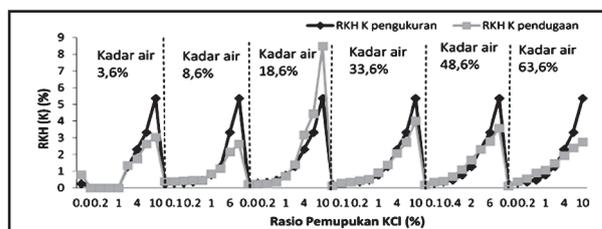
Berdasarkan grafik pada Gambar 5 dan 6 dapat diamati bahwa meskipun koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) persamaan regresi pendugaan kadar hara potensial Phospor (P) memiliki nilai yang cukup tinggi pada tingkat kadar air rendah, namun pola kenaikan RKH (P) pendugaan dari model persamaan regresi tidak responsif terhadap perlakuan pemupukan pada kadar air rendah. Nilai koefisien determinasi yang tinggi tersebut diakibatkan oleh nilai residual regresi yang rendah namun pada kenyataannya variabel nilai EC belum dapat merepresentasikan rasio kadar hara potensial Phospor (P) dalam tanah pada kadar air rendah. Hal ini dapat disebabkan karena tingkat kelarutan pupuk SP36 dalam tanah sangat rendah sehingga nilai pengukuran EC-nya juga rendah pada tingkat kadar air rendah. Namun variabel KA dan variabel EC sudah cukup baik untuk merepresentasikan rasio kadar hara potensial Nitrogen (N) dan Kalium (K) dalam tanah seperti ditunjukkan pada grafik dalam Gambar 5 dan Gambar 6.



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Rasio kadar hara potensial (RKH) hasil pengukuran (—◆—) dan RKH hasil pendugaan dengan model persamaan regresi (—■—) pada sampel tanah dengan pemupukan(a) urea, (b) SP36, dan (c) KCl pada tingkat kepadatan tanah tinggi.

## Simpulan dan Saran

### Simpulan

Pengukuran EC terbukti dapat memberikan gambaran kondisi kadar hara dan kadar air tanah. Pengukuran EC paling ideal dilakukan pada kisaran kadar air 50% dimana hasil pengukuran EC menunjukkan nilai paling tinggi pada semua jenis perlakuan sampel tanah. Variabel rasio kadar hara potensial Nitrogen (N), Phospor (P), atau Kalium (K) memiliki korelasi negatif dengan nilai EC sedangkan variabel kadar air memiliki korelasi positif dengan nilai EC. Model persamaan regresi pendugaan kadar hara potensial (N), (P), atau (K) yang disusun pada tingkat kadar air tinggi atau pada kadar air di atas 20% memiliki koefisien determinasi yang lebih baik daripada model persamaan regresi pada tingkat kadar air rendah. Kepadatan tanah juga berpengaruh terhadap hasil pengukuran EC tanah dimana pada tingkat kepadatan tanah tinggi hasil pengukuran EC memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada tingkat kepadatan tanah rendah pada tiap perlakuan pemupukan dan variasi kadar air.

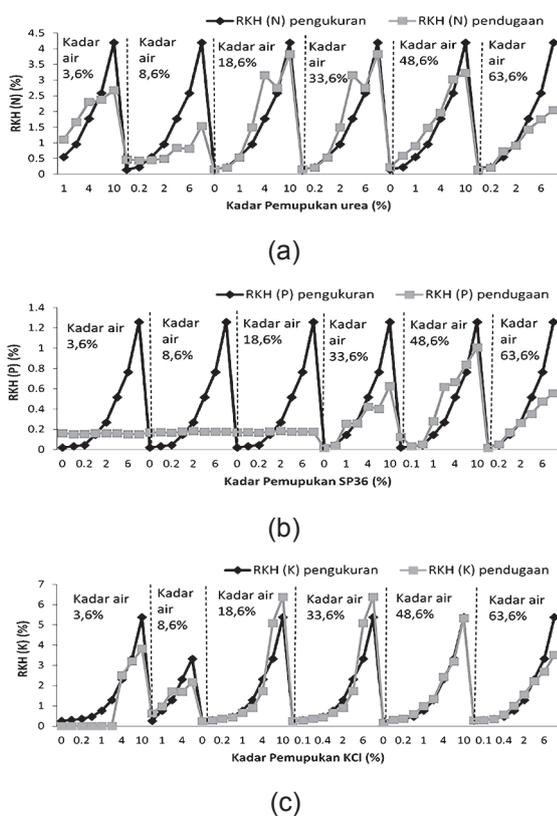
### Saran

Perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk mengetahui interaksi EC pada kisaran kadar air kapasitas lapang dan pada kisaran kadar air jenuh

tanah secara lebih detail agar dapat diketahui karakteristik perubahan nilai EC yang pada tanah dengan kondisi sangat kering, lembab, basah, dan jenuh secara lebih spesifik.

### Daftar Pustaka

- Abidin, Mohd. H.Z, Wijeyesekera, D.C., Ahmad, Fauziah, Saad, Rosli, Baharuddin, Mohd. F.T. 2013. Correlation of soil resistivity test on a different moisture content and density for silt sand and gravely sand. *Information Engineering Letters*. 3(2): 1-10. doi:10.5729/iel.vol3.issue2.1.Ahm
- Ahmad, Zaki. 2006. *Principles of corrosion engineering and corrosion control*. Oxford (UK): Butterworth-Heinemann
- Corwind, D.L. dan Lesch, S.M. 2003. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. *Agronomy Journal of USDA*. Vol. 95(3): 455-471.
- Eigenberg, R.A., Doran J.W., Nienaber J.A., Ferguson R.B., Woodbury B.L. 2002. Electrical conductivity monitoring of soil condition and available N with animal manure and a cover crop. *Agriculture Ecosystems and Environment*. Vol. 88: 183-93.
- Farahani, H.J., Buchleiter, G.W., Brodahl, M.K. 2005. Characteristic of apparent soil electrical conductivity variability in irrigated sandy and non saline field in Colorado. *American Society of Agricultural Engineers*. Vol. 48(1): 155-168.
- Mcmiller. 2012. Soil box instruction: Manual operation soil box Mcmiller. Man230[Internet]. [diunduh 2014 maret 15]. Tersedia pada: <http://www.mcmiller.com/pdf/manuals/soil/%28MAN230%29%20Soil%20Box%20Instructions%20%289.12.2012%29.pdf>
- Rhoades, J.D., Chanduvi, F., dan Lesch, S. 1999. *Soil Salinity Assesment: Method and Interpretation of Electrical Conductivity Measurement*. Roma (IT): FAO United Nations.
- Rogero, O.M., Basa, Christian A.C., Emerito, R., Otadoy, dan Violanda, R. 2013. Investigation of the effect of water content on the bulk soil electrical conductivity (EC) of loam using wenner array method. *APJSME*. Vol. 1(1): 12-14.
- Seladji, S., Cosenza, P., Tabbagh, A., Ranger, J., dan Richard, G. 2010. The effect of compaction on soil electrical resistivity: a laboratory investigation. *European Journal of Soil Science*. Vol.61:1-13. doi: 10.1111/j.1365-2389.2010.01309.x.
- Tarr, A.B., Moore, K.J., Dixon, P.M., Burras, C.L., dan Wiedenhoft, M.H. 2003. Use of soil electroconductivity in a multistage soil-sampling scheme. *Crop Management*. doi:10.1094/CM-2003-1029-01-RS.
- Triton P.B. 2005. *SPSS 13: Riset Statistitik Parametrik*. Yogyakarta (ID): Penerbit Andi



Gambar 6. Rasio kadar hara potensial (RKH) hasil pengukuran (—◆—) dan RKH hasil pendugaan dengan model persamaan regresi (—■—) pada sampel tanah dengan pemupukan (a) urea, (b) SP36, dan (c) KCl pada tingkat kepadatan tanah tinggi.

*Technical Paper*

## **Analisis Debit Sungai dengan Menggunakan Model SWAT pada DAS Cipasauran, Banten**

### *Discharge Analysis using SWAT Model at Cipasauran Watershed, Banten*

Maulana Ibrahim Rau, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor.  
Nora Pandjaitan, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor.

Email: [noraherdiana12@gmail.com](mailto:noraherdiana12@gmail.com).

Asep Sapei, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor.

Email: [asep\\_sapei@yahoo.com](mailto:asep_sapei@yahoo.com)

### **Abstract**

*Total water demand at non industrial and industrial region in Cilegon is increasing. With its water production capacity of 2,000 l/s, PT Krakatau Tirta Industri (KTI) cannot fulfill the amount number of demand from the industrial and domestic sectors at Cilegon. To cover the shortage of water supply of  $\pm 600$  l/s, PT KTI requires taking water from Cipasauran Watershed. The objective of this study was to analyze river discharge of Cipasauran Watershed using SWAT model. Input data such as soil characteristics, climate data, landuse, and hydrology data at the area of the watershed were gathered and put at the data input file. In SWAT simulation, 4 processes were done, i.e. watershed delineation, hydrological response unit (HRU) forming, data process and SWAT simulation, and visualization process. The result showed that the daily and monthly calibration process crossed 84% and 83% with the 95PPU area, with daily and monthly p-factor value of 0.84 and 0.83. Thus, calibrated model result was valid, though  $R^2$  and NS value were not satisfied. Using the validated SWAT model, the daily discharge in Cipasauran Watershed was about 0 - 3.309 m<sup>3</sup>/s, whereas the monthly discharge was 0.648 - 3.266 m<sup>3</sup>/s. This showed that daily and monthly PT KTI's water demand of 0.6 m<sup>3</sup>/s were fulfilled about 98.22% and 100%. Within the future time, the SWAT model could be potentially used as an assessment for predictive scenarios. However, to gain optimum results, well-observed and precise data is highly required, especially for such calibrations and validations.*

**Keywords:** *Cipasauran watershed, discharge analysis, NS value, parameter calibration, SWAT model*

### **Abstrak**

Kebutuhan air untuk wilayah industri dan non industri di Cilegon terus meningkat. Dengan kapasitas produksi air sebesar 2000 l/s, PT Krakatau Tirta Industri (KTI) tidak dapat memenuhi semua kebutuhan air dari berbagai sektor di Cilegon. Untuk memenuhi kekurangan pasokan air sebesar 600 l/s maka PT KTI harus mengambil tambahan air dari DAS Cipasauran. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis debit sungai di DAS Cipasauran dengan menggunakan model SWAT. Data mengenai kondisi DAS yang telah disiapkan yaitu berupa data karakteristik tanah, data iklim, data tata guna lahan dan data hidrologi kemudian dimasukkan ke *data input file*. Proses simulasi model SWAT dilakukan melalui 4 tahapan yaitu deliniasi DAS, pembentukan *hydrological response unit* (HRU), pengolahan data dan simulasi model serta visualisasi hasil. Hasil analisis menunjukkan bahwa proses kalibrasi harian dan bulanan masing-masing berpotongan 84% dan 83% dengan 95PPU areal, dengan nilai p-factor sebesar 0.84 untuk harian dan 0.83 untuk bulanan. Dengan demikian hasil kalibrasi model dapat dikatakan valid, meskipun diperoleh nilai  $R^2$  dan NS yang tidak memuaskan. Berdasarkan model SWAT yang telah divalidasi diperoleh besarnya debit harian DAS Cipasauran sebesar 0 - 3.309 m<sup>3</sup>/s, sedangkan debit bulanan sebesar 0.648 - 3.266 m<sup>3</sup>/s. Berdasarkan hasil tersebut maka kebutuhan air harian dan bulanan PT KTI sebesar 0.6 m<sup>3</sup>/s dapat terpenuhi masing-masing sebesar 98.22% dan 100%. Pada masa yang akan datang, model ini dapat terus digunakan untuk melakukan prediksi jenis skenario tertentu. Akan tetapi, untuk memperoleh hasil yang optimal, metode ini membutuhkan data yang valid dan tepat, terutama untuk data yang digunakan dalam proses kalibrasi dan validasi.

**Kata kunci:** analisis debit, DAS Cipasauran, kalibrasi parameter, model SWAT, nilai NS

*Diterima: 17 April 2015; Disetujui: 04 Agustus 2015*

## Pendahuluan

Daerah aliran sungai (DAS) sebagai suatu wilayah tangkapan air memberikan pengaruh yang besar terhadap ketersediaan air suatu daerah, sehingga dalam pengelolaannya dibutuhkan perencanaan yang sebaik mungkin. Ketersediaan air merupakan air yang dibutuhkan dalam proses produksi maupun air untuk kebutuhan sehari-hari yang pada umumnya berasal dari air hujan, air danau, air tanah, dan air sungai. Manajemen DAS merupakan pendekatan yang bertujuan untuk mengoptimalkan manfaat dari tanah, air, dan vegetasi dalam meringankan kekeringan, banjir, pencegahan erosi tanah, meningkatkan produksi pertanian, serta meningkatkan ketersediaan air secara berkelanjutan (Rao 2000).

Cilegon merupakan kota yang terletak di wilayah Barat Pulau Jawa, di mana kawasan industri mencakup 20% dari seluruh wilayah kota dan kontribusi dari sektor industri mencapai  $\pm 64\%$  terhadap pembangunan ekonomi. Pertumbuhan jumlah penduduk yang mencapai 2.64%/tahun mengakibatkan kebutuhan air baku juga meningkat. PT KTI merupakan salah satu perusahaan di Kawasan Cilegon yang menyediakan air bersih dengan kapasitas terpasang sebesar 2,000 l/s. Akan tetapi tidak lama lagi, berbagai industri dan pabrik baru akan dibangun, seperti *Pohang Iron Steel Corporation* (POSCO), PT Cerestar, PT Indoferro dan industri lainnya di Kawasan Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC), yang tentunya akan membutuhkan pasokan air bersih tambahan. Kapasitas produksi air baku PT KTI sebesar 2,000 l/s belum mencukupi untuk memenuhi kebutuhan air bersih seluruh sektor di Cilegon, sehingga air baku tambahan sebesar  $\pm 600$  l/s diperlukan.

DAS Cipasauran merupakan salah satu DAS yang berada di Provinsi Banten yang terletak pada  $06^{\circ} 13' 51'' - 06^{\circ} 17' 33''$  LS dan  $105^{\circ} 49' 50'' - 105^{\circ} 56' 40''$  BT. Luas DAS Cipasauran mencapai 44 km<sup>2</sup> sedangkan panjang Sungai Cipasauran mencapai 15.5 km. Sebagai DAS yang akan digunakan untuk penyediaan air baku, diperlukan informasi mengenai hubungan antara debit sungai dengan ketersediaan air baku. Informasi mengenai ketersediaan air baku merupakan informasi yang sangat dibutuhkan dalam pengembangan sumber daya air. Analisis debit sungai dapat dilakukan dengan berbagai metoda dan salah satunya adalah dengan melakukan pemodelan.

Saat ini berbagai negara termasuk Indonesia mengalami kendala dalam melakukan perancangan model. Kendala yang dihadapi antara lain berupa kurangnya dana dan tenaga yang berpengalaman, kurangnya pelatihan, dan ketergantungan pada ahli yang berasal dari luar negeri (Chang, 2004). Model debit aliran dapat dilakukan dengan berbagai cara dan salah satu cara yang cukup teliti dan cermat adalah dengan menggunakan *geographic*

*information system* (GIS). Terdapat berbagai macam perangkat lunak GIS yang dapat digunakan untuk memperhitungkan dan mengkaji kondisi hidrologi serta perubahan tata guna lahan suatu wilayah. Salah satu *software* tersebut adalah *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT) (Neitsch et al. 2004).

MWSWAT merupakan perangkat lunak dari sistem SWAT yang terintegrasi di dalam MapWindows GIS, dan merupakan perangkat lunak yang bersifat terbuka (*open source*) sehingga telah dikembangkan dan digunakan secara luas di berbagai negara. Dengan menggunakan data yang relevan dan representatif, SWAT dapat digunakan untuk melakukan analisis debit sungai suatu wilayah DAS. Untuk penggunaan model SWAT di Indonesia, terlebih dahulu perlu dilakukan kalibrasi dan validasi sesuai dengan ketersediaan data, agar hasil yang diperoleh dapat sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Proses ini dibutuhkan karena setiap DAS memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Relevansi model dengan keadaan yang sebenarnya dievaluasi dengan memperhitungkan standar deviasi dan efisiensi model. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis debit sungai di DAS Cipasauran dengan menggunakan model SWAT.

## Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan di PT KTI dan DAS Cipasauran. Kawasan DAS Cipasauran secara geografis terletak pada  $06^{\circ} 13' 51'' - 06^{\circ} 17' 33''$  LS dan  $105^{\circ} 49' 50'' - 105^{\circ} 56' 40''$  BT. Secara administratif terletak di Provinsi Banten dengan luas 44 km<sup>2</sup>.

Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah peta tanah tinjau dengan skala 1:250,000, peta DEM (*Digital Elevation Model*) dengan resolusi 30 meter, dan citra landsat TM. Data penunjang lainnya adalah debit sungai, data aliran sungai, data curah hujan, serta data fisik tanah dan bilangan kurva.

Alat yang diperlukan diantaranya adalah perangkat komputer dengan *Software* yang terinstal, diantaranya adalah Microsoft Office 2010, MapWindows 4.6.6 dengan *plug-in* MWSWAT 1.7, ArcView 3.2, ERDAS Imagine 9.1, SWAT *Plot and Graph*, dan SWAT-CUP.

## Metode Pelaksanaan

Analisis debit aliran sungai DAS Cipasauran dilakukan dengan menggunakan model SWAT. Data *input* berupa karakteristik tanah, iklim, tata guna lahan, dan curah hujan yang telah disiapkan pada proses pengumpulan data dimasukkan ke dalam *data input file*. Tahapan kegiatan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut:

### 1. Delineasi daerah observasi

Pada tahap pertama, dilakukan delineasi daerah aliran sungai berdasarkan data DEM

wilayah DAS yang akan diteliti. Data DEM yang digunakan pada penelitian ini adalah data ASTER Global DEM V2 dengan resolusi 30 meter, menggunakan perangkat lunak MapWindows. Daerah observasi akan didelineasi berdasarkan batas topografi alami DAS. Metode yang digunakan dalam proses deliniasi adalah metode *threshold*, di mana besar kecil nilai *threshold* yang digunakan akan menentukan jumlah jaringan sungai yang terbentuk.

## 2. Pembentukan HRU (*Hydrological Response Unit*)

Setelah proses deliniasi, dilakukan pembentukan HRU. Pada tahap ini dilakukan *overlay* antara hasil data DEM, data penggunaan lahan, serta data tanah. Pembuatan HRU terdiri dari interval *slope*, peta raster *landuse* dan peta raster tanah format sistem koordinat proyeksi UTM, dan *threshold* dari presentase total luasan *landuse* 10%, jenis tanah sebesar 5%, dan *slope* sebesar 5% (Arsyad 2006).

## 3. Penggabungan HRU dengan Data Iklim

Proses penggabungan HRU dan data iklim dilakukan setelah satuan analisis terbentuk. Pada tahap ini ditentukan periode simulasi terlebih dahulu untuk kemudian dilakukan pemasukan data iklim. Pemasukan data iklim dilakukan untuk mendapatkan keluaran berupa debit harian hasil simulasi.

## 4. Simulasi

Simulasi SWAT membutuhkan data iklim berupa curah hujan dan suhu pada stasiun yang mewakili daerah DAS, serta data *weather generator* berupa radiasi matahari, kecepatan angin, suhu, curah hujan, dan titik embun. Persamaan yang digunakan di dalam simulasi SWAT untuk melakukan prediksi aliran permukaan adalah metode *SCS Curve Number*.

## 5. Kalibrasi

Dalam *input* model SWAT, terdapat 500 parameter yang digunakan dalam simulasi. Tetapi parameter tersebut tidak seluruhnya dapat digunakan karena adanya keterbatasan waktu dan data. Pemilihan parameter yang dominan dilakukan hingga didapatkan hasil yang mendekati kondisi sebenarnya. Pemilihan parameter ini berdasarkan uji coba secara konvensional dengan menguji setiap parameter pada tiap iterasinya. Parameter yang dominan terlihat saat terjadi perubahan hasil debit secara signifikan.

## 6. Parameterisasi *Input* Simulasi

Parameterisasi yang dilakukan dalam simulasi menggunakan SWAT-CUP. Nilai parameter dalam bentuk *range* dimasukkan pada proses kalibrasi.

Nilai parameter tersebut akan disimulasikan oleh SWAT-CUP dengan melakukan simulasi pada tiap nilai parameter yang terdapat pada nilai absolut dalam SWAT-CUP. Kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan data observasi, serta dilihat pula besar nilai perpotongan antara hasil simulasi dengan data di lapangan. Model dianggap valid jika data hasil observasi berpotongan dengan luasan grafik 95PPU sebesar 80% (*p-factor* > 0.8) (Abbaspour 2008).

## 7. Simulasi dengan SWAT Terkalibrasi

Setelah model SWAT terkalibrasi sesuai dengan data aktual DAS, dilakukan analisis kesesuaian antara ketersediaan air terhadap kebutuhan air PT KTI. Analisis yang dilakukan adalah dengan melakukan perbandingan antara debit hasil prediksi model SWAT terkalibrasi dengan kebutuhan air PT KTI dari DAS Cipasauran. Pada tahap akhir ini, dapat diperoleh persentase kebutuhan air yang diterima PT KTI terhadap DAS Cipasauran. Model ini nantinya dapat terus digunakan untuk melakukan prediksi jenis skenario tertentu.

## Hasil dan Pembahasan

### Kondisi DAS Cipasauran

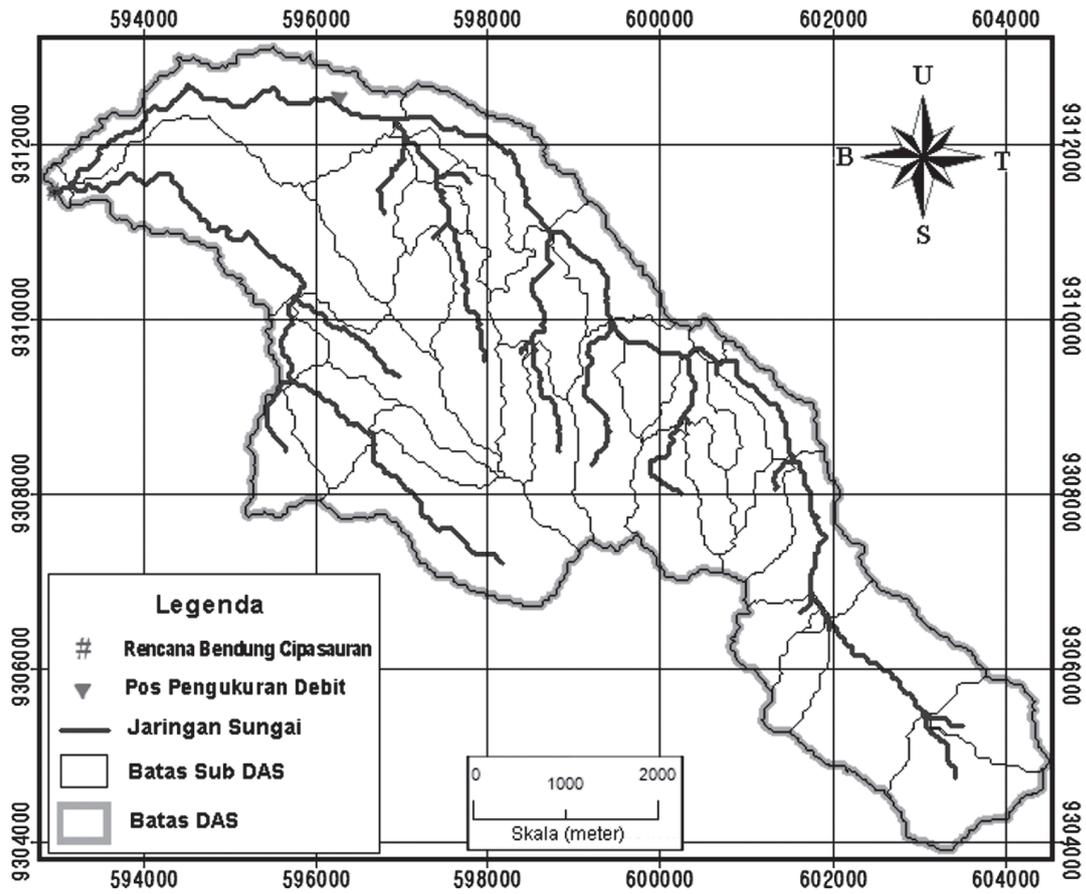
Pada penelitian ini, lokasi perencanaan Bendung Cipasauran digunakan sebagai outlet (Gambar 1), yang berlokasi pada 6°13'41.57" LS dan 105°50'25.20" BT. Penempatan outlet pada lokasi perencanaan bendung menghasilkan luasan DAS yang lebih sempit karena lokasi tersebut berada ±1.4 km dari wilayah hilir di laut, yaitu sebesar 38.87 km<sup>2</sup>. Penempatan outlet pada lokasi perencanaan Bendung Cipasauran dilakukan karena debit sungai yang dianalisis diharuskan berada pada lokasi pengambilan air, sehingga data debit sungai dapat dibandingkan dengan informasi ketersediaan air baku.

### Penggunaan lahan

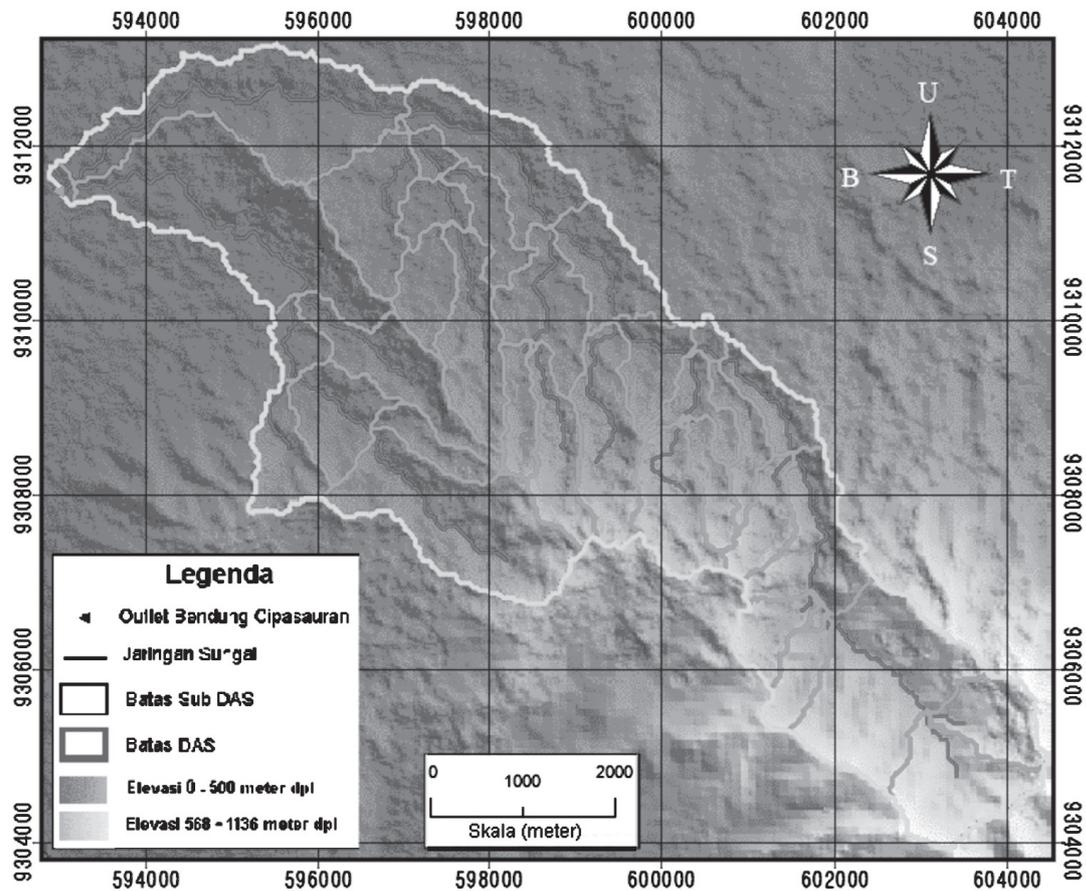
Pada penelitian ini digunakan citra Landsat 7 ETM+ pada 13 Juni 2010 dan 14 April 2010 sebagai informasi penggunaan lahan. Sebelum data citra dapat digunakan, dilakukan proses pengolahan terlebih dahulu dengan menggunakan ERDAS Imagine 9.1. Data tutupan lahan dibagi menjadi 7 jenis (Tabel 1), diantaranya adalah badan air, hutan sekunder, pemukiman, perkebunan, sawah irigasi, semak belukar, dan tegalan. Berdasarkan Tabel 1, DAS Cipasauran didominasi oleh semak belukar dengan luas 10.14 km<sup>2</sup> atau 26.08% dari total luas DAS.

### Analisis SWAT

Pada penelitian ini dilakukan analisis SWAT menggunakan MWSWAT 1.7. Pada simulasi SWAT ini, dilakukan 4 proses, diantaranya adalah proses



Gambar 1. Peta DAS Cipasauran dengan outlet Bendung Cipasauran.



Gambar 2. Peta hasil delineasi DAS Cipasauran.

Tabel 1. Sebaran tutupan lahan pada DAS Cipasauran.

No.	Jenis Penggunaan Lahan	Luas	
		km <sup>2</sup>	%
1	Badan Air	0.81	2.08
2	Hutan Sekunder	9.02	23.20
3	Pemukiman	1.77	4.56
4	Perkebunan	6.19	15.94
5	Sawah Irigasi	2.54	6.54
6	Semak Belukar	10.14	26.08
7	Tegalan	8.40	21.60
Total		38.87	100.00

delineasi DAS, pembentukan HRU, pengolahan data SWAT, dan proses simulasi.

### 1. Proses Delineasi DAS

Pada penelitian ini, outlet yang digunakan berlokasi pada titik perencanaan Bendung Cipasauran, di mana outlet berada di daerah yang lebih hulu. Lokasi perencanaan Bendung Cipasauran terletak pada 6°13'41.57" LS dan 105° 50' 25.20" BT atau ±1.4 km dari wilayah hilir di laut. Penempatan outlet pada lokasi tersebut dilakukan karena debit sungai yang dianalisis diharuskan berada pada lokasi pengambilan air, sehingga data debit sungai dapat dibandingkan dengan informasi ketersediaan air baku.

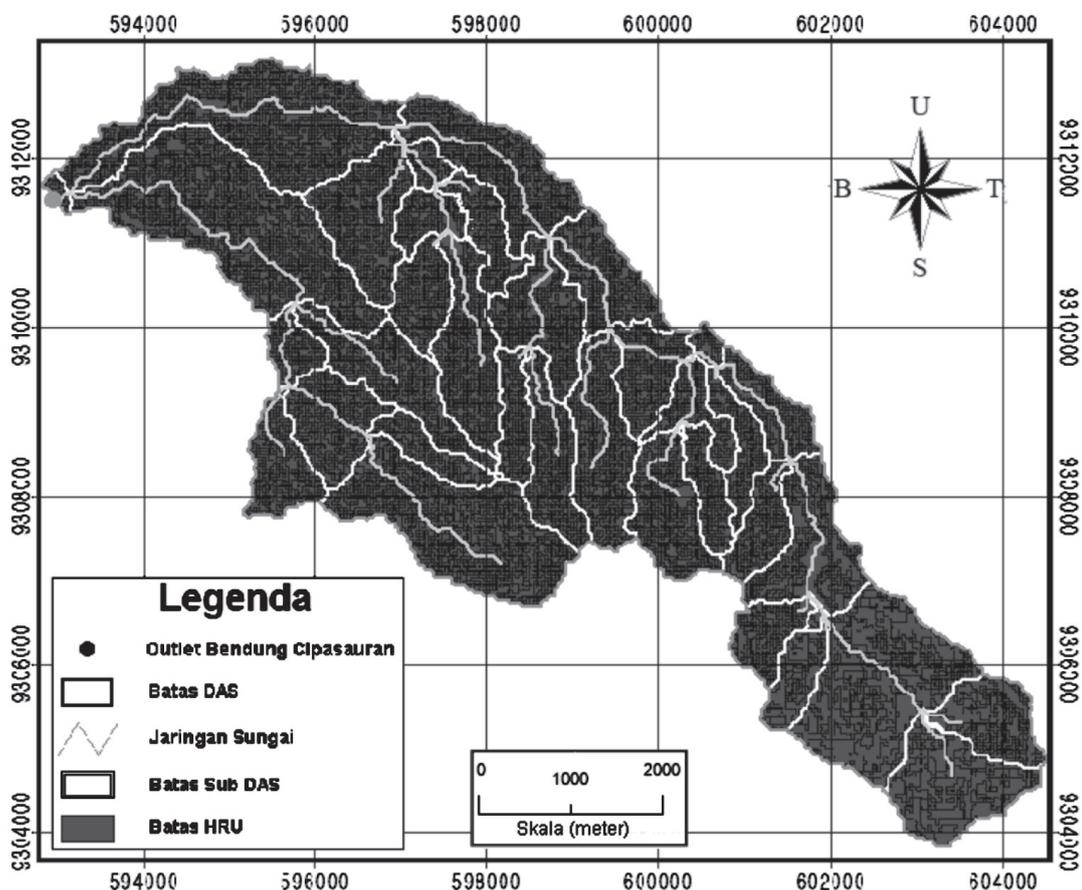
Berdasarkan hal tersebut, dengan ketelitian sebesar 0.5 km<sup>2</sup>, dihasilkan DAS dengan total luas 38.87 km<sup>2</sup> (Gambar 2). Total luas DAS yang diperoleh lebih kecil dibandingkan total keseluruhan DAS yaitu 44 km<sup>2</sup>. Hal ini diperoleh karena semakin hulu titik outlet suatu DAS, daerah tangkapan air DAS akan semakin menyempit. Penyempitan tangkapan air ini tentunya linier dengan besar luasan DAS yang diperoleh.

### 2. Pembentukan HRU

Pada tahap ini, dilakukan pembentukan HRU. Dari hasil yang diperoleh, DAS Cipasauran membentuk sebanyak 1616 HRU (Gambar 3), di mana titik Bendung Cipasauran berada daerah hilir. Sehingga, setiap area HRU dari 1,616 unit tersebut memberikan informasi mengenai penggunaan lahan, tanah, kemiringan lahan, luas area, dan persentase luas HRU pada tiap sub DASnya.

### 3. Pengolahan Data dan Simulasi SWAT

Data curah hujan pada DAS Cipasauran diperoleh dari 2 pos hujan, yaitu wilayah Anyer dan Padarincang. Data curah hujan yang digunakan pada masing-masing pos, serta data suhu yang diperoleh dari Stasiun Iklim Serang adalah tahun 2007 hingga 2010. Berdasarkan data curah hujan yang diperoleh, dalam 4



Gambar 3. Peta HRU DAS Cipasauran.

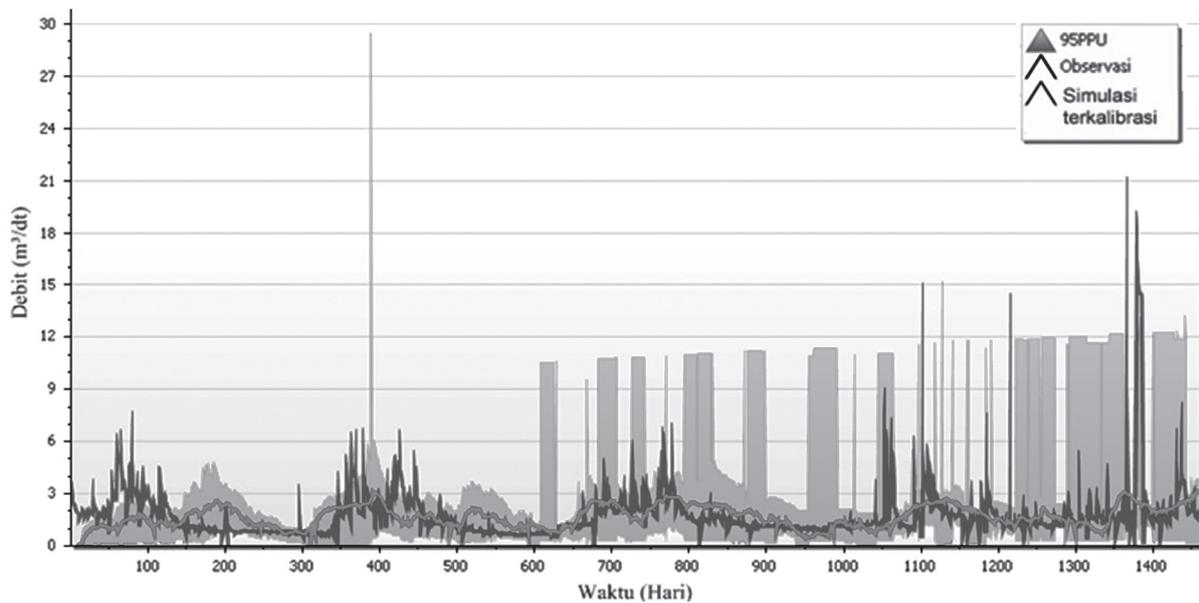
tahun tersebut, curah hujan maksimum terjadi pada bulan Desember 2009 dengan intensitas mencapai 177 mm/hari (Pos Padarincang) dan 141 mm/hari (Pos Anyer).

Data *weather generator* yang digunakan pada proses simulasi diperoleh dari Stasiun Iklim Serang pada tahun 1996 hingga 2009. Data *weather generator* memberikan informasi mengenai temperatur maksimum dan minimum rata-rata bulanan, nilai standar deviasi untuk temperatur maksimum dan minimum, nilai curah hujan rata-rata, nilai standar deviasi curah hujan, nilai kemencengan curah hujan, nilai probabilitas hari kering terhadap hari hujan dan hari hujan terhadap hari hujan, jumlah hari hujan, nilai

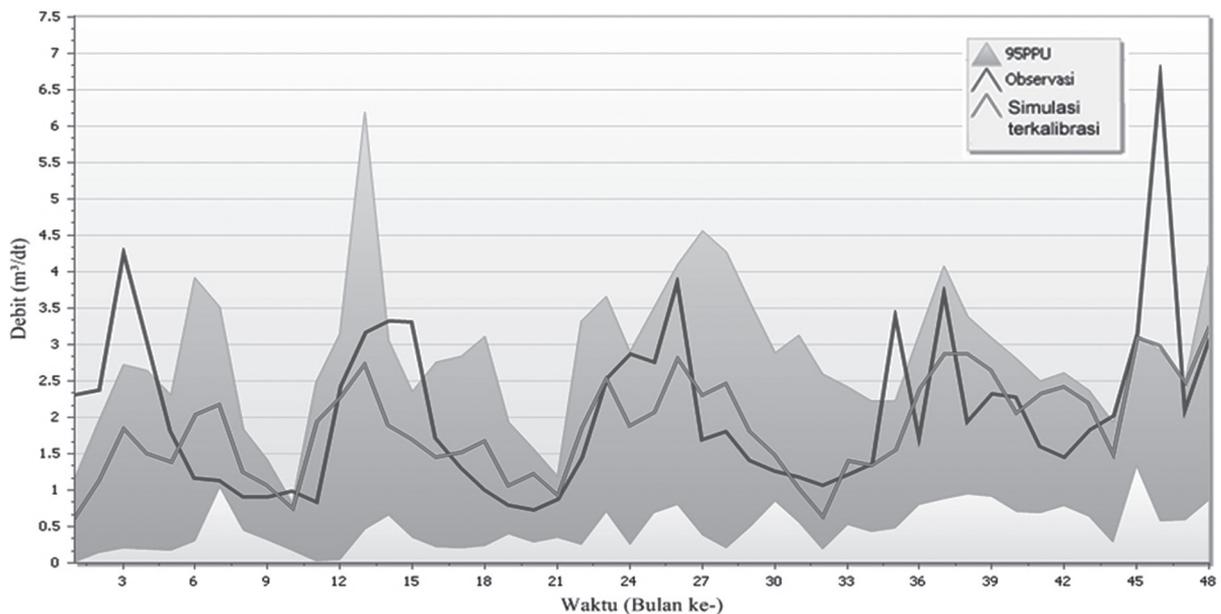
curah hujan maksimum, radiasi matahari, titik beku, dan kecepatan angin. *Weather generator* diperoleh dari data iklim yang diolah oleh Irsyad (2011).

**4. Proses Visualisasi**

Berdasarkan hasil visualisasi yang diperoleh, debit simulasi harian maksimum yang terjadi adalah sebesar 64.71 m<sup>3</sup>/s, dengan debit minimum sebesar 0.02 m<sup>3</sup>/s, serta debit rata-rata sebesar 3.11 m<sup>3</sup>/s. Sementara berdasarkan nilai debit bulanan, debit maksimum yang diperoleh sebesar 7.31 m<sup>3</sup>/s, debit minimum sebesar 0.83m<sup>3</sup>/s, serta debit rata-rata sebesar 3.11 m<sup>3</sup>/s.



Gambar 4. Grafik hasil kalibrasi debit harian DAS Cipasauran.



Gambar 5. Grafik hasil kalibrasi debit bulanan DAS Cipasauran.

Data debit observasi diperoleh dari pos pengukuran di Desa Dahu, Kecamatan Cinangka, Kabupaten Serang pada tahun 2007 hingga 2010. Berdasarkan hubungan debit simulasi dan observasi, didapatkan bahwa sebaran debit observasi memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan debit simulasi. Hasil simulasi yang diperoleh juga kurang mendekati kondisi sebenarnya di lapangan, sehingga perlu diketahui nilai validitas model. Untuk mengetahui nilai validitas awal dari model, digunakan SWAT *plot and graph*.

Berdasarkan perbandingan data simulasi dan observasi, nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) dan efisiensi Nash-Sutcliffe (NS) yang diperoleh untuk debit harian adalah 0.0004 dan -0.204, sedangkan nilai  $R^2$  dan NS untuk debit bulanan adalah 0.045 dan -0.909. Nilai validitas tersebut tidak sesuai dengan *range* nilai yang seharusnya. Dalam kriterianya, menurut Van *et al* (2003) simulasi dianggap baik jika nilai  $NS > 0.75$ , memuaskan jika  $0.36 < NS < 0.75$ , serta kurang baik jika  $NS < 0.36$ , sedangkan menurut Santi *et al* (2001) hasil simulasi dianggap baik jika  $NS \geq 0.5$  dan  $R^2 \geq 0.6$ . Oleh karena itu, diperlukan proses kalibrasi agar nilai validitas yang diperoleh dapat diterima.

### Kalibrasi dan Validasi

Kalibrasi dan validasi model SWAT yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan SWAT-CUP dengan metode SUFI2 (*Sequential Uncertainty Fitting*). Kalibrasi dan validasi dilakukan dengan membandingkan debit harian dan bulanan DAS Cipasauran pada lokasi perencanaan Bendung Cipasauran dengan debit harian dan bulanan hasil pengukuran di Pos Pengukuran Kampung Dahu pada tahun 2007-2010.

Pada penelitian ini kalibrasi dan validasi dilakukan sebanyak 8 kali iterasi dengan 750 simulasi pada tiap iterasinya. Parameter bulanan dan harian menggunakan *range* nilai yang sama, tetapi nilai masukan yang dihasilkan berbeda karena metode parameterisasi yang dilakukan menggunakan metode SUFI2 (*Sequential Uncertainty Fitting*). Nilai masukan tersebut memberikan hasil validitas *p-factor* sebesar 0.84, *r-factor* sebesar 2.43,  $R^2$  sebesar 0.07, dan NS sebesar 0.03 untuk debit harian. Untuk debit bulanan diperoleh nilai validitas *p-factor* sebesar 0.83, *r-factor* sebesar 2.04,  $R^2$  sebesar 0.28, dan NS sebesar 0.25. Grafik hasil kalibrasi untuk debit harian dan bulanan disajikan pada Gambar 4 dan 5.

Berdasarkan nilai validitas kalibrasi dan validasi didapatkan bahwa *p-factor* yang diperoleh lebih dari 0.8 (Tabel 2), sehingga model hasil kalibrasi dapat dikatakan valid. Tetapi nilai  $R^2$  dan NS tidak mencapai nilai yang seharusnya, sehingga kalibrasi masih kurang baik. Hal ini dapat terjadi karena  $R^2$  merupakan index validitas yang mengukur

Tabel 2. Nilai statistik hasil penelitian.

Variabel	Simulasi		Kalibrasi dan validasi	
	Harian	Bulanan	Harian	Bulanan
p-factor	-	-	0.84	0.83
r-factor	-	-	2.43	2.04
$R^2$	0.0004	0.045	0.07	0.28
NS	-0.204	-0.909	0.03	0.25

kebaikan suai atau *goodness of fit* dari persamaan regresi, sehingga persentase variasi total data dalam variabel terikat (data debit observasi DAS Cipasauran) yang dijelaskan oleh variabel bebas (data debit simulasi DAS Cipasauran) diharuskan memiliki karakteristik atau fluktuasi sebaran yang sama.

Namun pada penelitian ini sebaran yang terjadi antara data debit simulasi dan observasi pada periode tertentu terlihat tidak seragam. Kurangnya nilai  $R^2$  disebabkan karena data debit observasi dan hasil simulasi yang kurang sesuai. Ketidakesesuaian data dapat diakibatkan karena tidak tersedianya data debit pada lokasi tinjau penelitian, yaitu lokasi perencanaan Bendung Cipasauran. Hal ini terlihat dari sebaran debit observasi yang lebih kecil dibandingkan debit simulasi. Sebaran debit yang lebih rendah dari debit simulasi ini mengakibatkan debit observasi yang diperoleh tidak memiliki karakteristik fluktuasi yang sama. Selain nilai  $R^2$  yang rendah, hal tersebut berimplikasi pula pada nilai efisiensi Nash-Sutcliffe (NS), sehingga nilai NS yang diperoleh pun kurang baik.

### Analisis Debit Sungai

Berdasarkan model SWAT terkalibrasi, diperoleh nilai untuk debit harian dan debit bulanan. Berdasarkan data debit harian, DAS Cipasauran menghasilkan debit maksimum sebesar  $3.309 \text{ m}^3/\text{s}$ , debit minimum  $0 \text{ m}^3/\text{s}$ , serta debit rata-rata  $1.79 \text{ m}^3/\text{s}$ . Debit air baku yang dibutuhkan oleh PT KTI adalah  $600 \text{ lt/dt}$  atau  $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , yang dialirkan dari DAS Cipasauran untuk ditampung pada Waduk Krenceng, dan nantinya akan diolah oleh PT KTI. Berdasarkan debit simulasi harian terkalibrasi, maka kebutuhan air baku harian PT KTI dapat terpenuhi sebesar 98.22 %.

Selain data debit harian, dilakukan pula analisis debit bulanan. Berdasarkan data debit bulanan terkalibrasi, diperoleh debit maksimum sebesar  $3.266 \text{ m}^3/\text{s}$ , debit minimum  $0.648 \text{ m}^3/\text{s}$ , serta debit rata-rata  $1.9 \text{ m}^3/\text{s}$ . Berdasarkan perbandingan data debit bulanan dan kebutuhan air, terlihat bahwa kebutuhan air baku bulanan dapat terpenuhi dengan baik.

Perbandingan antara ketersediaan air di DAS Cipasauran dan kebutuhan air PT KTI mengindikasikan bahwa kekurangan air baku sebesar  $600 \text{ lt/dt}$  dapat terpenuhi, Hal ini memberikan informasi bahwa berbagai industri baru

di kawasan industri Cilegon seperti PT Cerestar, PT Indoferro dan industri lainnya di Kawasan Krakatau Industrial Estate Cilegon (KIEC), serta *Pohang Iron Steel Corporation* (POSCO) akan dapat beroperasi dengan baik.

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, model SWAT memperlihatkan bahwa sistem ini dapat digunakan dalam pemantauan ketersediaan air. Menggunakan metode ini dapat memberikan keuntungan yang besar pada masa yang akan datang. Ke depannya, model ini dapat terus digunakan untuk melakukan prediksi jenis skenario tertentu, dengan berbagai jenis alternatif pemasukan data, seperti data iklim (termasuk curah hujan), tata guna lahan, pergerakan air, kualitas air, siklus nutrien, dan lain-lain. Akan tetapi, untuk memperoleh hasil yang optimal, metode ini membutuhkan data yang baik dan presisi dalam pengaplikasiannya, terutama untuk data yang digunakan dalam pemasukan kalibrasi dan validasi.

### Simpulan

#### Simpulan

1. Dengan menggunakan model SWAT yang telah divalidasi, yang diperoleh dari hasil proses delineasi DAS seluas 38.87 km<sup>2</sup>, pembentukan HRU sebanyak 1,616 unit, serta pengolahan data curah hujan dan iklim (*weather generator*), diperoleh nilai debit harian di DAS Cipasauran berkisar dari 0 - 3.309 m<sup>3</sup>/s, sedangkan nilai debit bulanan DAS Cipasauran berkisar dari 0.648 - 3.266 m<sup>3</sup>/s.
2. Debit bulanan dan debit harian DAS Cipasauran masing-masing dapat memenuhi kekurangan kebutuhan air PT KTI sebesar 98.22% dan 100%.

### Daftar Pustaka

- Abbaspour, K.C. 2008. *SWAT-CUP2: SWAT Calibration and Uncertainty Programs*. Duebendorf: Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling (SIAM), Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- Arsyad, S. 2006. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Chang, K.T. 2004. *Introduction to Geographic Information Systems. 2nd Edition*. Iowa: McGraw-Hill.
- Neitsch, S.L, J.G. Arnold, J.R. Kiniry, R. Srinivasan, and J.R. William, 2004. *Soil and Water Assessment Tools Input/Output File Documentation Version 2005*. [e-book] Texas: Agricultural Research Service US <http://swat.tamu.edu/media/1292/swat2005theory.pdf>
- Irsyad, F. 2011. *Analisis Debit Sungai Cidanau Dengan Aplikasi SWAT [Tesis]*. Bogor: Institut Pertanian Bogor, Sekolah Pascasarjana.
- Rao, H. 2000. *Watershed development in India: recent experience and emerging issues*. *Economic and potential weekly*, November 4, 2000. Pp. 3943-3947.

*Technical Paper*

## **Penggolongan Mangga cv Arumanis Berdasarkan Mutu Internal selama Penyimpanan Dingin dengan Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS)**

### *Classification of Mango cv Arumanis Based on Its Internal Quality during Cold Storage using Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS)*

Yunisa Tri Suci, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.  
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.  
I Wayan Budiastara, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.  
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680. Email: [wbudiastara@yahoo.com](mailto:wbudiastara@yahoo.com)  
Y. Aris Purwanto, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.  
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.

#### **Abstract**

*The purpose of this study was to assess NIRS method to classify mango cv Arumanis based on its internal quality during cold storage. Reflectances of mango at harvest date (H0), 12 days of storage (H12), and 22 days of storage were measured by using NIRflex Spectrometer at wavelengths of 1000-2500 nm, followed by measurement of physico chemical properties of mango (total soluble solid, total acid, TSS-acid ratio, firmness and weight loss). Unsupervised Principal component analysis (PCA) and pre treatment NIR spectra were performed on NIR spectra to classify mango (H0, H12, H22) and mahalanobis distance was used to validate the results. The result showed that reflectances of mango decreased during storage indicating the increase of NIR absorption by internal compounds of mango. TSS, TSS-acid ratio, and weight loss increased during storage as total acid and firmness decreased. NIRS and PCA analysis with pretreatment of quantile normalization and smoothing, and mahalanobis distance parameter could classify mango of 0, 12 and 22 days of storage based on its internal quality with accuracy of 87 %.*

**Keywords :** mango, mahalanobis distance, quantile normalization, smoothing, unsupervised PCA

#### **Abstrak**

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji metoda NIRS untuk menggolongkan mangga cv Arumanis berdasarkan mutu internal selama penyimpanan dingin (suhu rendah). Reflektan Mangga pada hari panen (H0), 12 hari penyimpanan (H12) dan 22 hari penyimpanan (H22) diukur dengan NIR Spektrometer pada panjang gelombang 1000-2500 nm, diikuti segera dengan pengukuran sifat fisiko kimia mangga seperti TPT, total asam dan rasio gula asam, kekerasan dan susut bobot. Analisis *unsupervised* PCA dan pra pengolahan spektra NIR digunakan untuk menggolongkan mangga H0, H12 dan H22 dan *Mahalanobis Distance* digunakan untuk memvalidasi hasil tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama penyimpanan dingin, spektra reflektan mangga mengalami penurunan mengindikasikan adanya peningkatan absorpsi NIR oleh kandungan kimia mangga. Hasil analisa fisiko kimia mangga menunjukkan TPT, rasio gula asam dan susut bobot meningkat, sedangkan total asam dan kekerasan menurun selama penyimpanan dingin. NIRS dan analisis PCA dengan *pretreatment quantile normalization* dan *smoothing* serta *Mahalanobis Distance* dapat menggolongkan mangga yang baru dipanen (H0) dan yang telah disimpan 12 hari (H12) dan 22 hari (H22) berdasarkan mutu internalnya dengan ketepatan 87%.

**Kata Kunci :** mangga, mahalanobis distance, quantile normalization, smooting, unsupervised PCA

*Diterima: 23 April 2015; Disetujui: 10 Agustus 2015*

## Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu produsen dan eksportir mangga yang menonjol di dunia selain India, China, Thailand, Filipina, Pakistan, dan Meksiko dengan negara tujuan ekspor Taiwan, Hongkong, dan Negara-negara Timur Tengah. Salah satu mangga komersial yang dikembangkan untuk komoditas ekspor adalah mangga Arumanis, dengan ciri khasnya tekstur yang lembut, daging tebal dan *creamy*, cita rasa yang khas, dan hampir tidak berserat. Selama transportasi mangga ke negara importir membutuhkan waktu yang lama sehingga diperlukan penanganan selama pengiriman tersebut untuk mempertahankan mutu buah mangga sesuai dengan permintaan pasar.

Salah satu penanganan yang diupayakan untuk menjaga kualitas mangga agar sesuai dengan keinginan dan permintaan pasar adalah melakukan penyimpanan dingin pada suhu rendah. Mangga Arumanis merupakan buah klimaterik yang dipanen pada saat matang fisiologis (*green mature*) dimana pada saat penyimpanan terus mengalami pematangan dan penuaan yang mempengaruhi kandungan fisikokimia seperti total padatan terlarut (TPT), kandungan total asam, kekerasan, susut bobot dan rasio gula asam.

Penggolongan mangga Arumanis telah dilakukan untuk tujuan sortasi dan grading secara visual berdasarkan berat dan ukuran (Firdaus, 2014). Penggolongan secara nondestruktif mangga Arumanis telah dilakukan oleh Sandra (2005) melakukan penggolongan dengan menggunakan *image processing* dan jaringan syaraf tiruan dan Ahmad (2002) menggunakan *image processing*. Namun penelitian ini lebih mendeteksi perubahan mutu luar buah untuk memprediksi mutu internal buah.

Teknik NIRS diketahui mampu menggolongkan buah berdasarkan kandungan internalnya secara nondestruktif dan objektif. Kemampuan NIRS ditunjang oleh penggunaan analisa kemometrik untuk untuk mengekstrak informasi yang berguna pada spektra (Guidetti *et al.* 2012). Salah satu analisis kemometrik yang sering digunakan adalah *principal component analysis* (PCA) sebagai analisis kualitatif dari data. PCA dapat mengurangi kuantitas dari spektrum data tanpa terjadi *overfitting* dan pengurangan informasi yang dibutuhkan (Osborne *et al.* 1993).

Pada mangga, teknik NIRS telah digunakan untuk memprediksi sifat fisikokimia selama proses pascapanen (Schmilovitch *et al.* 2000; Purwanto *et al.* 2013a dan 2013b; Watanawan *et al.* 2014). Sedangkan PCA telah banyak digunakan untuk analisis spektrum data NIR. Beghi *et al.* (2013) telah menggunakan analisa PCA pada karakterisasi buah zaitun berdasarkan TPT dan kekerasannya dengan NIR. Zulfahrizal *et al.* (2013) telah berhasil membedakan spektrum biji kakao tumpukan dengan

individu dan mendeteksi tingkat fermentasi biji kakao dengan NIR dan analisis PCA. PCA telah digunakan untuk analisa spektrum NIR untuk penentuan indeks fisiologi mangga (Schmilovitch *et al.* 2000), mengklasifikasi tingkat kematangan berdasarkan umur petik mangga (Kienzle *et al.* 2011 dan 2012), dan klasifikasi mangga berdasarkan varietas (Jha *et al.* 2013).

Penggolongan buah mangga berdasarkan mutu internal selama penyimpanan dingin pada suhu rendah tanpa merusak dengan teknik NIRS belum pernah dilakukan. Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah (1) mengkaji teknik NIRS dan analisis PCA untuk menggolongkan buah mangga arumanis berdasarkan mutu internal selama penyimpanan dingin (suhu rendah), dan (2) melakukan validasi penggolongan mangga dengan metode *Mahalanobis Distance*.

## Bahan dan Metode

### Persiapan Bahan

Penelitian ini menggunakan mangga cv Arumanis dengan umur 90 hari setelah bunga mekar (HSBM) sebanyak 84 buah dengan tingkat ukuran sedang (berat 350-400gr). Buah berasal dari kebun petani mangga di Cirebon, Jawa Barat. Mangga dipanen pada pagi hari kemudian dikemas dengan menggunakan peti kayu dan ditransportasikan menuju laboratorium selama 8 jam perjalanan. Kemudian sampel dimasukkan ke *cold storage* pada suhu 8°C dan 13°C dan disimpan selama 12 dan 22 hari. Sampel mangga berjumlah 84 buah dibagi menjadi 5 kelompok, yaitu mangga yang baru dipanen (H0) berjumlah 40 buah, mangga yang disimpan 12 hari dan 22 hari, pada suhu 8°C dan 13°C (H12T8, H12T13, H22T8, dan H22T13) masing masing 11 buah.

### Akuisisi Data Spektrum NIR

Pengukuran spektra reflektan dilakukan dengan menggunakan NIRFlex N-500 fiber optik solid yang dilengkapi oleh *software* pendukung seperti *software NIRWare operator* dan *NIRWare management console*. Pengambilan reflektan NIR diukur pada 3 titik untuk masing-masing buah.

### Analisis Kandungan Fisikokimia

Kandungan fisiko kimia yang dianalisis adalah total padatan terlarut (TPT), kekerasan (N), total asam (%), susut bobot (%), dan rasio gula asam. TPT dinalisis dengan *portable digital refractometer Atago PR 201* (AOAC 1994), kekerasan diukur dengan Rheometer model CR 300 DX-L dengan *probe* (diameter = 5 mm), total asam diukur dengan mentitrasi 100 ml sari buah mangga yang telah diteteskan indikator phenolphthalein dengan NaOH 0.1 N dan total asam dihitung menurut prosedur AOAC (1995). Susut bobot dihitung dengan

perbedaan berat mangga sebelum disimpan dan setelah disimpan dihitung dengan persamaan Jan dan Rab (2012). Nilai rasio gula asam dihitung dengan membandingkan nilai TPT dan total asam.

**Metode Klasifikasi Buah Mangga Selama Penyimpanan**

Pada penelitian ini digunakan adalah metode *unsupervised* PCA untuk menggolongkan mangga Arumanis selama penyimpanan. Metode *unsupervised* PCA mengklasifikasikan sampel hanya berdasarkan spektra tanpa dipengaruhi faktor lain (Roggo *et al.* 2007). PCA merupakan analisis matematika yang memisahkan data spektra menjadi komponen orthogonal yang terbentuk dari spektra terpilih dan *score plots* antara komponen utama (PCs) yang berbeda. Kemudian PCs ini diplotkan untuk melihat perbedaan dari kelompok-kelompok sampel sehingga sampel dapat digolongkan berdasarkan umur simpan setelah disimpan pada suhu rendah. PC1 menjelaskan varian yang maksimum diantara semua kombinasi linier dan PC2 menjelaskan varian data sisanya dan seterusnya.

Mangga digolongkan menjadi beberapa kelompok yaitu H0 merupakan mangga saat baru dipanen, H12 adalah mangga pada saat 12 hari penyimpanan, dan H22 adalah mangga yang telah disimpan 22 hari (Gambar 1). Jumlah sampel mangga yang digunakan untuk penggolongan ini adalah 54 sampel (30 sampel H0, 6 sampel H12 untuk masing-masing suhu 8°C dan 13°C, dan 6 sampel H22 untuk masing-masing suhu 8°C dan 13°C).

Pengolahan data spektra menggunakan *unscramble software*® X version 10.3 (CAMO, Norway). Sebelum dilakukan penggolongan dengan PCA, maka spektra diberikan *pretreatment*.

*Pretreatment* yang digunakan *Mean Normalization* (MN) dan *Smoothing* (SA). Normalisasi dapat mentransformasi vektor spektra menjadi 0-1 dan dapat menghilangkan variasi *baseline* akibat perbedaan ukuran sampel. Sedangkan SA merupakan operasi *moving average* yang dapat memperbaiki visual spektra dan menghilangkan *noise* dengan menghitung rata-rata dari masing-masing gelombang (Nicolai *et al.* 2007, Andasuryani *et al.* 2013).

**Penggolongan dengan Mahalanobis Distance (MD)**

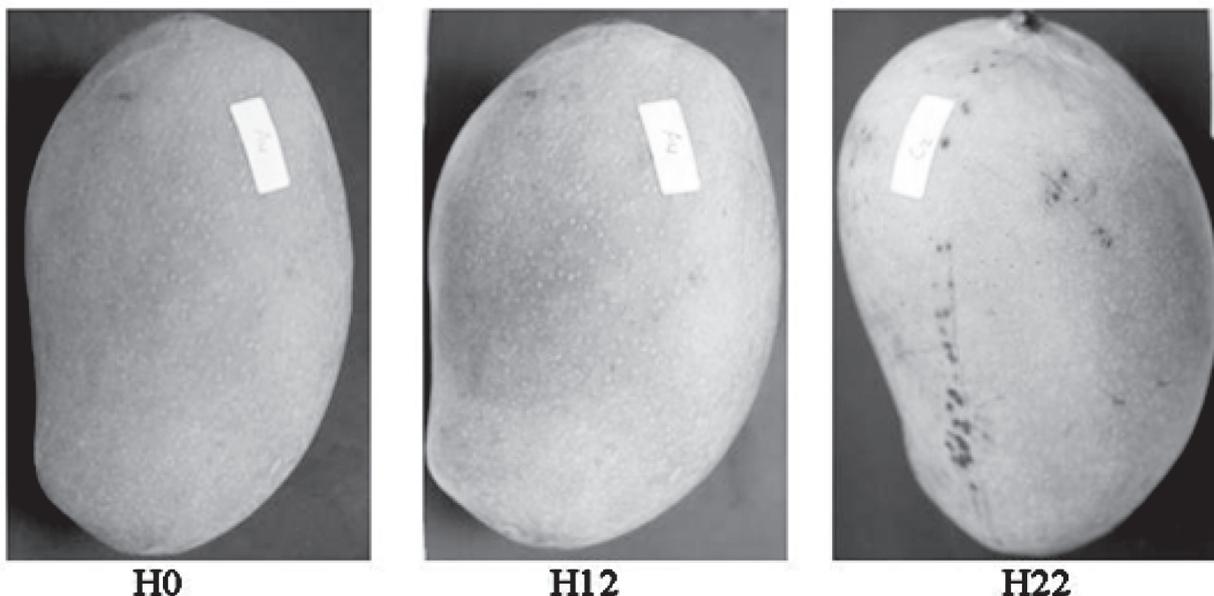
Untuk menguji hasil penggolongan mangga Arumanis selama penyimpanan dengan metode PCA maka dilakukan validasi terhadap buah mangga yang berbeda sebanyak 30 sampel berasal dari H0, H12 dan H22 masing masing 10 sampel. Validasi dilakukan menggunakan metode *Mahalanobis distance* (MD). MD merupakan metode perhitungan jarak dengan menghitung *space* antara variabel asli dan *space* komponen utama (PCs) (Maesschalck *et al.* 2000). Perhitungan MD ini berdasarkan Maesschalck *et al.* (2000) dengan langkah awal menghitung varian dan covarian matriknya, kemudian MD dirumuskan dengan Persamaan 1.

$$MD_i = \sqrt{\left(\frac{x_{i1} - \bar{x}_1}{\sigma_1}\right)^2 + \left[\left(\frac{x_{i2} - \bar{x}_2}{\sigma_2}\right) - p_{12}\left(\frac{x_{i1} - \bar{x}_1}{\sigma_1}\right)\right]^2 \frac{1}{\sqrt{1 - p_{12}^2}}}$$
 (1)

dan

$$p = \frac{\text{covarian PC1PC2}}{\sqrt{\text{varian PC1}} \sqrt{\text{varian PC2}}}$$
 (2)

Dimana  $x_{i1}$  merupakan *mean* dari PC1,  $x_{i2}$  merupakan *mean* dari PC2,  $\sigma_1$  adalah varian PC1,  $\sigma_2$  adalah varian PC2, sedangkan  $x_{i1}$  adalah *mean* PC1 yang akan digolongkan dan  $x_{i2}$  adalah *mean* PC2 yang akan digolongkan.



Gambar 1. Penggolongan mangga berdasarkan umur simpan.

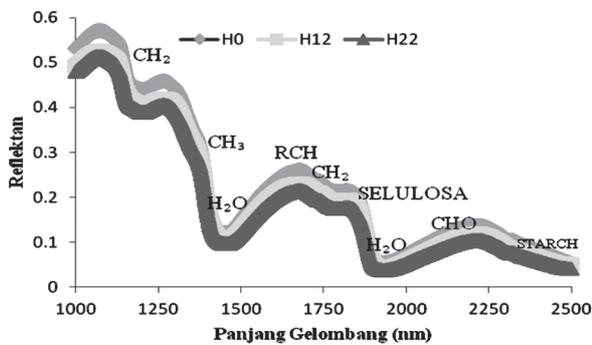
**Hasil dan Pembahasan**

**Karakteristik Spektra Mangga Arumanis**

Reflektan spektra mangga untuk kelompok hari penyimpanan ke-0 (H0), hari ke-12 (H12, gabungan H12T8 dan H12T13), dan hari ke-22 (H22, gabungan H22T8 dan H22T13) disajikan pada Gambar 2. Secara umum bentuk dan tipikal reflektan selama penyimpanan sama terdiri dari beberapa puncak dan lembah. Masing-masing puncak dan lembah dapat diinterpretasikan memiliki kandungan kimia yang berbeda. TPT berada pada panjang gelombang 1215 dan 1750 nm yang menunjukkan adanya ikatan C-H yang mengindikasikan adanya gula-gula sederhana. Kandungan asam berada pada panjang gelombang 1350 dan 2200 yang menunjukkan adanya ikatan C-H yang

mengindikasikan adanya berbagai asam organik. Sedangkan air berada pada panjang gelombang 1180, 1411, dan 1940 nm yang menunjukkan adanya ikatan O-H (Osborne 1993; chen dan He 2007).

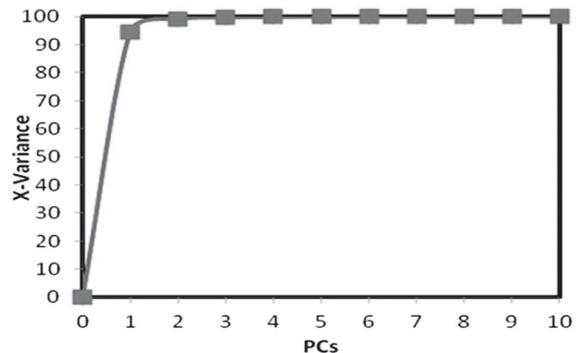
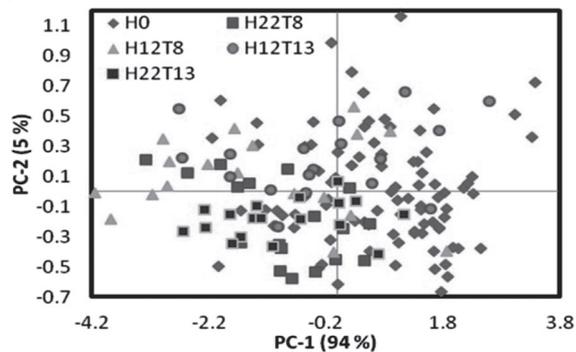
Dari Gambar 2 dapat dilihat penurunan nilai spektra reflektan mangga H0, H12, dan H22. Penurunan nilai spektra reflektan ini disebabkan adanya peningkatan penyerapan oleh kandungan kimia mangga selama penyimpanan (TPT, kadar air, total asam) (Tabel 1). Suhu berpengaruh terhadap perubahan sifat fisikokimia buah selama penyimpanan. Semakin rendah suhu penyimpanan maka akan memperlambat laju metabolisme buah mangga. Dapat dilihat pada Tabel 1, buah yang disimpan pada suhu 13°C (T13) mengalami penurunan kekerasan dan total asam, serta kenaikan TPT, susut bobot, dan rasio gula asam yang lebih cepat daripada suhu 8°C (T8).



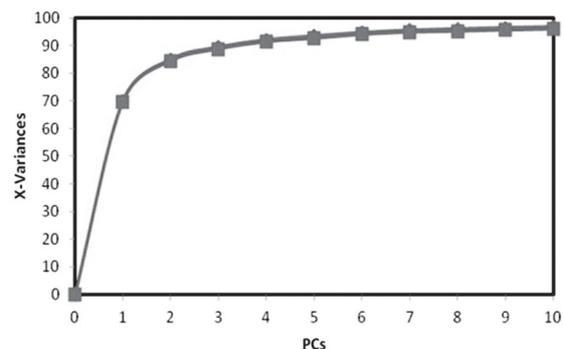
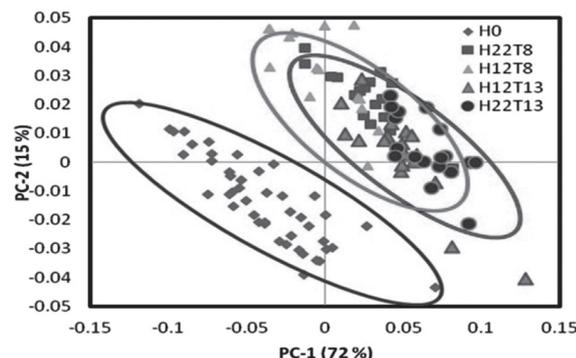
Gambar 2. Spektra mangga pada penyimpanan hari ke-0, ke-12, dan ke-22.

**Penggolongan Mangga Berdasarkan Lama Penyimpanan**

Selama penyimpanan pada suhu rendah, buah mengalami perubahan fisik dan kimia. Penggolongan berdasarkan hari penyimpanan mangga untuk H0, H12, dan H22 tanpa *treatment* dapat dilihat pada Gambar 3. Penggolongan tanpa *treatment* kurang mampu menggolongkan mangga dengan baik, karena masih ada tumpang tindih antar PCs pada setiap kelompok hari penyimpanan. Total data varian dapat dijelaskan oleh dua PCs yaitu PC1 sebesar 94% dan PC2 sebesar 5%.



Gambar 3. Penggolongan mangga berdasarkan umur simpan tanpa *pretreatment*.



Gambar 4. Penggolongan mangga berdasarkan umur simpan dengan *pretreatment*

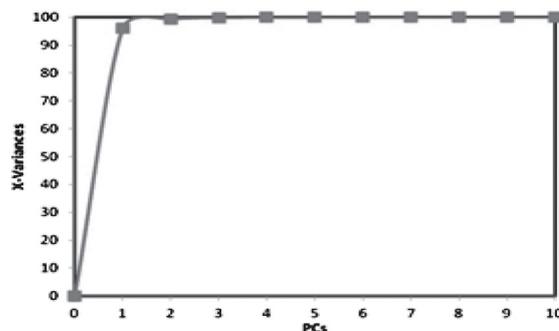
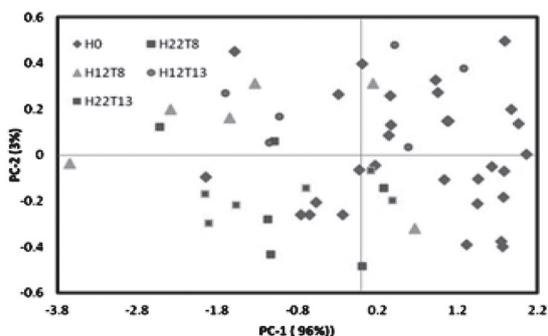
Tabel 1. Perubahan kandungan fisikokimia mangga selama penyimpanan.

Kelompok Mangga	TPT (°Brix)	TOTAL ASAM (%)	KEKERASAN (N)	SUSUT BOBOT (%)	RASIO Gula Asam
H0	6.47±0.3	8.11±1.98	57.47±15.86	0±0	0.86±0.25
H12T8	9.63±2.3	7.37±1.92	26.4±6.25	3.93±0.66	1.48±0.78
H12T13	12.22±2.03	7.66±1.75	21.66±6.55	7.38±0.84	1.72±0.71
H22T8	12.32±1.1	6.19±1.26	25.16±3.37	6.99±0.83	2.06±0.42
H22T13	15.66±0.86	6.2±2.05	5.96±0.8	13.13±1.43	2.86±1.24

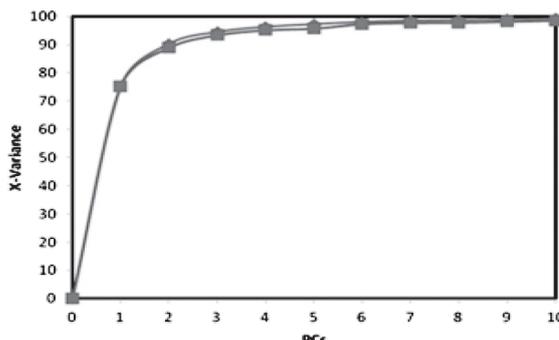
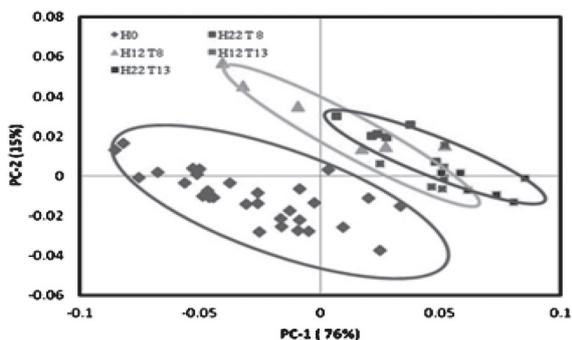
Spektrum asli dari NIR mengandung *background* dan *noise* selain informasi yang terkandung di dalamnya. Untuk itu perlu dilakukan *pretreatment* sebelum digolongkan (Chen dan He 2007). *Pretreatment* yang dipilih adalah *Mean Normalization* (MN) dan *Smoothing* (SA). Penggunaan *pretreatment* ini bertujuan untuk mengurangi pengaruh interferensi gelombang, *noise* dan informasi yang tidak diperlukan pada spektra.

Penggolongan mangga berdasarkan umur simpan (Gambar 4) setelah spektra diberi perlakuan MN dan SA dapat memisahkan kelompok mangga dengan baik. Penggolongan H0, H12, dan H22 dapat dibedakan dengan keragaman sebesar 87% dimana PC1 menjelaskan keragaman 72% dan PC2 menjelaskan keragaman 15%. Mangga yang belum disimpan dapat dipisahkan dengan mangga yang disimpan 12 hari dan 22 hari. Namun mangga pada H12 tidak terpisah dengan baik dengan mangga

H22, masih terdapat irisan masing-masing PC antara H12 dan H22. Hal ini menunjukkan bahwa mangga yang disimpan selama 12 dan 22 hari mengalami perubahan mutu internalnya. Perubahan mutu internal ditandai dengan berubahnya sifat fisik dan kandungan kimianya selama penyimpanan seperti meningkatnya TPT, menurunnya kandungan asam, menurunnya kekerasan dan berkurangnya kandungan air. Perubahan fisikokimia pada mangga selama penyimpanan juga dijelaskan oleh beberapa peneliti seperti Rathore *et al.* (2007); Baloch *et al.* (2012); dan Islam (2014). Suhu juga berpengaruh terhadap nilai dari spektra dimana spektra mengalami pergeseran saat suhu simpan lebih tinggi (13°C). Buah yang disimpan pada suhu yang lebih rendah akan menghambat laju metabolismenya sehingga menghambat perubahan mutu internal mangga selama penyimpanan (Tabel 1).



Gambar 5. Penggolongan mangga setelah dirata-ratakan tanpa *pretreatment*



Gambar 6. Penggolongan mangga setelah dirata-ratakan dengan *pretreatment*.

Tabel 2. Parameter untuk menghitung nilai MD.

Parameter hitung	H0		H12		H22	
	PC1	PC2	PC1	PC2	PC1	PC2
n	30	30	12	12	12	12
mean	-0.2168	-0.0057	0.02368	0.01409	0.0542	0.0144
Variance	0.0009	0.0002	0.00137	0.0005	0.00063	0.00017
covariance	-0.00028		-0.00044		-0.00024	

Tabel 3. Nilai PCs masing-masing sampel yang akan digolongkan

	H0		H12		H22	
	PC1	PC2	PC1	PC2	PC1	PC2
	-0.023	-0.0058	0.0278	0.0132	0.0454	0.0063
	-0.0249	-0.0048	0.0058	0.0316	0.0445	0.0105
	-0.0333	-0.008	0.0192	0.0127	0.0485	0.0169
	-0.0367	-0.0060	0.0258	0.0125	0.0501	0.0163
	-0.0391	-0.0068	0.0227	0.0055	0.04565	0.0109
	-0.0249	-0.0048	0.0129	0.0234	0.0519	0.0156
	-0.0367	-0.0060	0.0272	0.0136	0.0481	0.0108
	-0.0328	-0.0071	0.0334	0.0113	0.05	0.012
	-0.0197	0.00894	0.0199	0.0241	0.05	0.0108
	-0.0196	-0.004	0.0162	0.0100	0.0593	0.001

Tabel 4. Hasil validasi penggolongan mangga dengan MD.

Sampel	Prediksi NIR			Jumlah	Persentase (%)
	H0	H12	H22		
Original					
H0	10	0	0	10	100
H12	0	8	2	10	80
H22	0	2	8	10	80
Jumlah	10	10	10	30	86.7

Penggolongan buah mangga selama penyimpanan lebih baik saat data spektra dirata-ratakan (Gambar 5). Pada pengelompokan tanpa *Pretreatment* varian dapat dijelaskan oleh 2 PCs sebesar 99%.

Setelah diberi *pretreatment* MN dan SA maka pengelompokan lebih baik (Gambar 6). Buah dapat digolongkan dengan total varian dari perlakuan ini yang dijelaskan oleh 2 PCs sebesar 91% dimana PC1 menjelaskan varian sebesar 76% dan PC2 sebesar 15%. Penggunaan beberapa *pretreatment* dapat memperbaiki kinerja PCA dalam menggolongkan seperti yang telah dilakukan Zulfahrizal *et al.* (2014) untuk menggolongkan kakao fermentasi dan yang tidak fermentasi dengan menggunakan *pretreatment Multiplicative Scatter Correction (MSC)* dan *Standard Normal Variate (SNV)*.

#### Penggolongan Berdasarkan Nilai *Mahalanobis Distance (MD)*

Hasil penggolongan dengan metode PCA menghasilkan model terbaik setelah data spektra dirata-ratakan dan perlakuan *Pretreatment* NM

dan SA. Untuk menguji model ini dapat digunakan untuk sampel yang lain maka dilakukan validasi dengan metode *Mahalanobis Distance (MD)*. Tabel 2 menunjukkan parameter yang digunakan untuk menghitung nilai MD dari sampel H0, H12, dan H22. Nilai MD dihitung dengan menggunakan Persamaan 1.

Jumlah sampel yang digunakan untuk validasi ini adalah 30 buah mangga yang terdiri dari 10 buah untuk masing-masing mangga yang baru dipanen (H0), H12, H22. Kemudian dihitung nilai PC1 dan PC2 (Tabel 3) dengan metode PCA dan perlakuan *Pretreatment* NM dan SA. Nilai PCs yang telah didapat dari masing-masing sampel yang akan digolongkan kemudian dilakukan perhitungan jarak dengan Persamaan 1 terhadap nilai parameter hitung (Tabel 2). Hasil validasi penggolongan mangga baru dengan MD dapat dilihat pada Tabel 4.

Nilai MD menunjukkan jarak posisi sampel baru terhadap nilai tengah dari PCs masing-masing mangga yang telah disimpan yang didapatkan dari analisis PCA-nya. Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa sampel H0 dapat terpisah 100% dengan sampel H12

dan H22. Sedangkan sampel H22 dan H12 dari 20 sampel yang diprediksi NIR hanya 16 sampel yang tepat 4 sampel lain saling berpotongan. Perpotongan yang terjadi antara mangga yang disimpan hari ke-12 dan hari ke-22 sesuai dengan penggolongan dengan metode PCA (Gambar 6). Dari 30 sampel spektra yang diprediksi dengan NIR ini maka yang dapat digolongkan dengan tepat adalah 26 buah. Dengan demikian penggolongan mangga cv Arumanis berdasarkan lama penyimpanan dengan metode NIR dan analisis PCA dan MD ini dapat menggolongkan mangga dengan tepat 86.67%.

### Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa metoda NIRS dengan analisis PCA, *pretreatment Mean Normalization* dan *Smoothing* dan MD dapat menggolongkan mangga yang baru dipanen (H0) dengan mangga yang telah disimpan dingin selama 12 dan 22 hari (H12 dan H22) berdasarkan mutu internalnya dengan tingkat akurasi 87%.

### Daftar Pustaka

- Ahmad U. 2002. Pengolahan citra untuk pemeriksaan mutu buah mangga. Buletin Keteknikan Pertanian 16 (1): 30-41.
- Andasuryani, Purwanto Y.A., Budiastira I.W., Syamsu K. 2013. Determination of catechin as main bioactive component of gambir (*Uncaria gambir Roxb*) by FT-NIR Spectroscopy. Journal of Medicinal Plant Research 7 (41): 3076-3083.
- AOAC International.1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. AOAC International. Secs., 942.15. Washington. USA.
- AOAC, 1994. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 1111 North 19th Street, Suite 20, 16th Edi. Arlington, Virginia, USA. 22209.
- Baloch M.K., Bibi F. 2012. Effect of harvesting and storage conditions on the post harvest quality and shelf life of mango (*Mangifera indica L.*) fruit. South African Journal of Botany 83: 109–116.
- Beghi R., Giovenzana V., Civelli R., Cini E., Riccardo G. 2013. Characterisation of olive fruit for the milling process by using visible/near infrared spectroscopy. Journal of Agriculture Engineering XLIV: e8.
- Chen H. dan He Y. 2007. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. Journal Trends in Food Science & Technology 18: 72-83.
- Firdaus M. 2014. Mango (Harummanis) Quality Grading System. Thesis. Tun Hussein Onn University of Malaysia.
- Guidetti R., Beghi R., Giovenzana V. 2012. Chemometrics in food technology. In: K. Varmuza (ed.) Chemometrics. InTech: EPublishing, New York, NY, USA, 217-252.
- Islam M.K. 2014. Behavioral Pattern of Physicochemical Constituents of the Postharvest Mango (*mangifera indica L.*) influenced by Storage stimuli. Pakistan Journal of Biological Sciences. ISSN 1028-8880.
- Jan I., Rab A. 2012. Influence of storage duration on physic-chemical change in fruit of apple cultivars. Journal of Animal & Plant Sciences 22(3): 708-714. ISSN: 1018-7081
- Jha S.N., Jaiswal P. Narsaiah K., Kumar R., Sharma R., Gupta M., Bhardwaj R., Singh K. Authentication of mango Varieties Using Near-Infrared Spectroscopy. Agricultural Reseach 2(3): 229-235.
- Maesschalck R.D., Rimboud D.J., Massart D.L. 2000. Tutorial the Mahalanobis distance. Chemometric and Intelligent Laboratory Systems 50: 1-18.
- Kienzle S., Pittaya S.s, Carle R., Sirisakulwat S., Spreer W., Neidhart S. 2011. Harvest maturity specification for mango fruit (*Mangifera indica L.* 'Chok Anan') in regard to long supply chains. Journal Postharvest Biology and Technology 61: 41-45.
- Kienzle S., Pittaya S., Carle R., Sirisakulwat S., Spreer W., Spreer W. 2012. Harvest maturity detection for 'Nam Dokmai #4' mango fruit (*Mangifera indica L.*) in consideration of long supply chains. Journal Postharvest Biology and Technology 72: 64-75.
- Nicolai B.M., Beullens K., Bobelyn E., Peirs A., Saeyns W., Theron K.I., Lammertyn J. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology* 46(2): 99-118.
- Osborne B.G., Fearn T., Hindle P.H. 1993. *Practical NIR Spectroscopy*. UK: Longman Scientific and Technical.
- Purwanto Y.A., Zainal P.W., Ahmad U., Mardjan S., Makino Y., Oshita S., Kawagoe Y., dan Kuroki S. 2013a. Non Destructive Prediction of pH in Mango Fruits cv. Gedong Gincu Using NIR Spectroscopy. *International Journal of Engineering & Technology* Vol 13 Issue 3. pp. 70-73.
- Purwanto Y.A., Zainal P.W., Sutrisno, Ahmad U., Makino Y., Oshita S., Kawagoe Y. dan Kuroki S. 2013b. Non destructive prediction of ripeness quality of mango fruit cv 'Gedong Gincu' stored in low temperature by NIR Spectroscopy. Proceeding of the International Symposium on Agricultural and Biosystem Engineering -ISABE-2013, Yogyakarta, Indonesia

- Rathore H.A., Masud T., Sammi S., Soomro A.H. 2007. Effect of Storage on Physico-Chemical Composition and Sensory Properties of Mango (*Mangifera indica* L.) Variety Dosehari. Pakistan Journal of Nutrition 6 (2): 143-148. ISSN 1680-5194
- Roggo Y., Chalus P., Maurer L., Martinez C.M., Edmond A., Jent N. 2007. A review of near infrared spectroscopy and chemometrics in pharmaceutical technologies. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis 44: 683–700.
- Sandra. 2005. Aplikasi jaringan yaraf tiruan untuk pendugaan mutu mangga segar secara nondestruktif. Jurnal Teknologi Pertanian 6 (1): 66-72.

*Technical Paper*

**Sistem Tebas Bakar dan Pengaruhnya Terhadap Komponen Fisik Kimia Tanah Serta Vegetasi pada Ladang dan Lahan Bera (Studi Kasus di Desa Pruda Kecamatan Waiblama Kabupaten Sikka Provinsi Nusa Tenggara Timur)**

*Slash and Burn System Component Sand Effect on Soil Physical Chemical and The Farm and Land Bera  
(A Case Study in The Village of Sikka Regency Waiblama Pruda District of Nusa Tenggara)*

Henderikus Darwin Beja, Program Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Nusa Cendana, Kupang, Nusa Tenggara Timur, Email: darwinbeja@gmail.com

W.I.I. Mella, Fakultas Pertanian, Universitas Nusa Cendana, Kupang, Nusa Tenggara Timur, 85001  
I.N. Prijo Soetedjo, Fakultas Pertanian, Universitas Nusa Cendana, Kupang, Nusa Tenggara Timur, 85001

**Abstract**

*Shifting cultivation by slash and burn system is an agricultural activity which is generally done farmers in dry land. Slash-and-burn is practiced by the farmers because it is easy and inexpensive, with aims to improve the content of nutrients in the soil, eradicate weeds, reduce costs, reduce the incidence of pests and diseases and to increase crop production. Land clearing by slash and burn system in a short period of time have a positive impact as the availability of N, P, K, Ca, Mg. However, long periods of slash and burn have negative impact there will be changes in physical and chemical components of soil and change the dominant vegetation in the fields and fallow land. These changes will affect the level of productivity of the soil, especially in the land which was done. To reduce the negative impacts, farm management system with slash and burn practices, should be considered with conservation activities, especially from the aspect of land management techniques. Those negative effect might be minimized by various treatments such as time of burning technique, chosen of burned biomass, and time of digged biomass. All those should be supported by a basic information affect of burning to change of physical and chemical soil characteristic at various land cultivation and length of cultivation. Result of study that had been conducted at Pruda village, sub-district of Waiblama, district of Sikka, Propince of Nusa Tenggara Timur showed that total Nitrogen and C organic increased gradually when land has been 3 years fallow. Result of single factor showed that soil aggregation was affected significantly by fallow than cultivated land .*

**Keywords:** Systems, Slash and burn, Physical Chemistry Soil, Vegetation, Fields, Bera

**Abstrak**

Peladangan berpindah dengan sistem tebas bakar merupakan kegiatan pertanian yang umumnya dilakukan para petani di lahan kering. Sistem tebas bakar yang dilakukan para petani karena dianggap mudah dan murah serta bertujuan meningkatkan hara tanah, memberantas gulma, mengurangi biaya, mengurangi timbulnya hama penyakit serta meningkatkan produksi tanaman pangan. Pembukaan lahan dengan sistem tebas bakar dalam jangka waktu yang singkat memberikan dampak positif seperti ketersediaan unsur N, P, K, Ca, Mg. Namun jangka waktu yang lama kegiatan tebas bakar menimbulkan dampak negatif yaitu perubahan pada komponen fisik dan kimia tanah serta perubahan dominansi vegetasi pada ladang dan lahan bera. Pengaruh negative ini dapat diminimalkan dengan teknik pengelolaan tertentu misalnya pengaturan waktu pembakaran, pengaturan jenis seresah yang dibakar, dan pengaturan seresah hasil bakaran yang dibenamkan. Kegiatan ini dapat dilakukan bila diketahui informasi dasar dari pengaruh pembakaran tersebut pada kondisi lahan yang berbeda dan waktu pengelolaan yang berbeda pula. Hasil penelitian yang dilakukan di desa Pruda, kecamatan Waiblama, kabupaten Sikka, Provinsi Nusa Tenggara Timur menunjukkan bahwa kandungan N total dan C organik tanah meningkat bila waktu pembersihan dibiarkan selama 3 tahun. Pengaruh tunggal menunjukkan bahwa kemantapan agregat tanah lebih baik bila lahan diberakan dibandingkan bila lahan di ladangkan baik 1 tahun, 2 tahun dan 3 tahun

**Kata Kunci:** Sistem, Tebas bakar, Fisik Kimia Tanah, Vegetasi, Ladang, Bera

*Diterima: 20 Mei 2015; Disetujui: 12 Agustus 2015*

## Pendahuluan

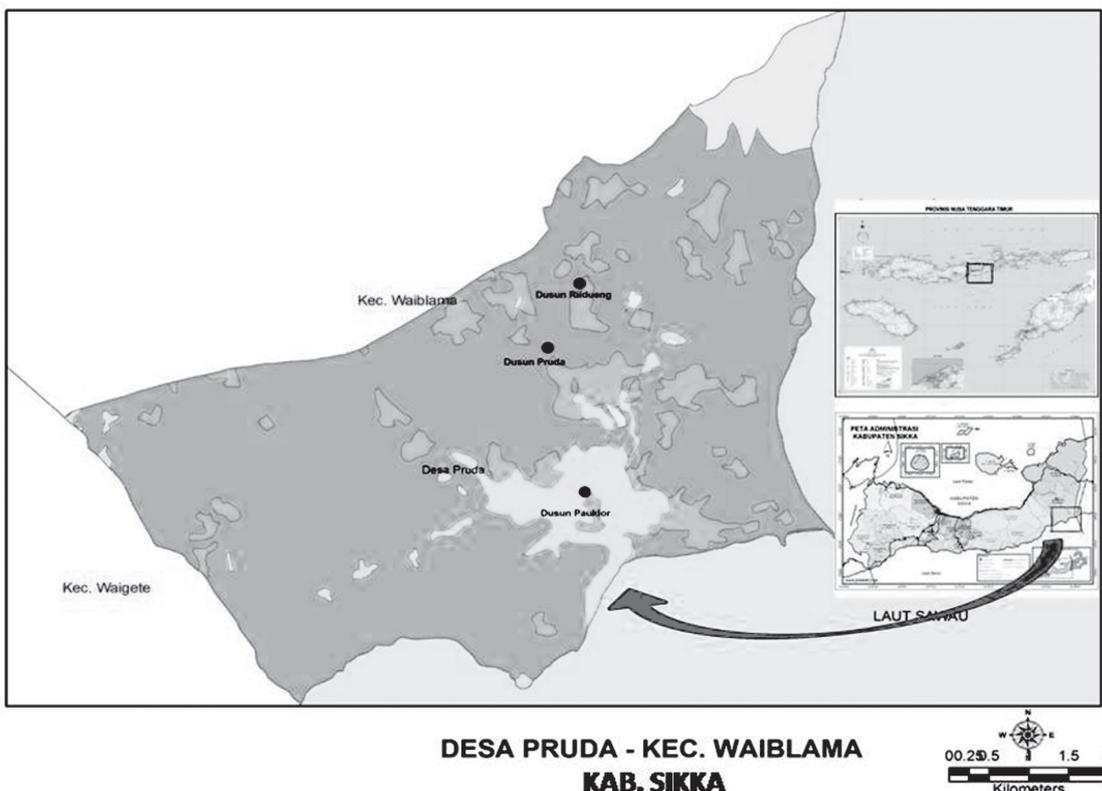
Sistem peladangan merupakan sistem pertanian yang dominan di Nusa Tenggara Timur (NTT). Di Kabupaten Sikka misalnya, lahan kering 86.545 ha (49,97%) dari lahan potensial diusahakan untuk peladangan (BPS Kabupaten Sikka, 2013). Praktek peladangan yang dilakukan para petani umumnya mengerjakan lahannya pada kurun waktu tertentu, kemudian diberakan dengan tujuan utama agar kesuburan lahan dapat dikembalikan secara alami (Soetedjo, 2003). Sistem peladangan ini umumnya dilakukan dengan cara tebas dan bakar dengan tujuan meningkatkan kandungan unsur hara, memberantas gulma, mengurangi timbulnya hama penyakit dan meningkatkan produksi tanaman pangan (Eviazi dan Bayan, 1996).

Kegiatan Pertanian yang diusahakan oleh para petani di Kabupaten Sikka meliputi beberapa sub sektor kegiatan, diantaranya pertanian tanaman pangan, perkebunan, peternakan, dan perikanan, BPS Kabupaten Sikka, (2013). Sub sektor tanaman pangan misalnya, salah satu sub sektor pertanian yang diusahakan oleh para petani mencakup tanaman padi, jagung, ubi kayu, ubi jalar, kacang tanah dan kacang kedelai. Menurut data yang diperoleh dari BPS Kabupaten Sikka (2013), menggambarkan bahwa adanya penurunan luas panen, hal ini disebutkan bahwa ada banyak faktor yang mempengaruhi salah satunya adalah produktivitas lahan. Selain itu para petani juga hanya membudidayakan tanaman pangan umur

pendek (semusim) sehingga terjadi penggusuran tanaman tahunan (umur panjang). Akibatnya adalah semakin menipisnya vegetasi dan semakin luasnya areal lahan kritis atau secara ekonomis merupakan lahan-lahan marginal.

Pengalaman petani menunjukkan bahwa lahan yang dibakar akan memberikan produksi tanaman pangan yang lebih tinggi jika dibandingkan pada lahan yang tidak dibakar. Hasil penelitian Nurkin (1999), menunjukkan perlakuan pembakaran sisa-sisa vegetasi hutan yang dipergunakan untuk ladang dapat meningkatkan unsur-unsur hara K, Ca, Mg dan P pada tanah Oxisol di Bengo-Bengo Maros. Namun dampak jangka panjang seperti menurunnya kesuburan tanah belum disadari oleh masyarakat tani. Pengaruh negative ini dapat diminimalkan dengan teknik pengelolaan tertentu misalnya pengaturan waktu pembakaran, pengaturan jenis seresah yang dibakar, dan pengaturan seresah hasil bakar yang dibenamkan. Kegiatan ini dapat dilakukan bila diketahui informasi dasar dari pengaruh pembakaran tersebut pada kondisi lahan yang berbeda dan waktu pengelolaan yang berbeda pula.

Mengacu pada permasalahan tersebut di atas, maka praktek peladang secara tebas bakar hendaknya perlu dikaji lebih lanjut sehingga diperoleh informasi yang berkaitan dengan pengaruh tebas bakar terhadap perubahan - perubahan komponen fisik dan kimia tanah serta vegetasi pada ladang yang diusahakan dan lahan bera di Desa Pruda, Kecamatan Waiblama, Kabupaten Sikka.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian di Desa Pruda, Kecamatan Waiblama, Kabupaten Sikka.

Tabel 1. Pengaruh interaksi faktor jenis lahan (ladang dan bera) dan lamanya waktu pengelolaan lahan.

Faktor I (Jenis Lahan)	Faktor II (Lamanya waktu pengelolaan Lahan)		
	1 Tahun (I <sub>1</sub> )	2 Tahun (I <sub>2</sub> )	3 Tahun (I <sub>3</sub> )
Ladang (L)	L <sub>1</sub> I <sub>1</sub>	L <sub>1</sub> I <sub>2</sub>	L <sub>1</sub> I <sub>3</sub>
Bera (B)	B <sub>2</sub> I <sub>1</sub>	B <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> I <sub>3</sub>

### Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada lahan petani di Desa Pruda, Kecamatan Waiblama, Kabupaten Sikka pada area ladang dan lahan bera. Waktu penelitian selama 5 bulan terhitung dari bulan Juli 2014 hingga berakhir pada bulan November 2014. Jenis tanah di lokasi penelitian adalah Andosol. Lokasi dan titik pengambilan sampel pada lahan petani dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.

Penelitian ini merupakan penelitian faktorial yang dirancang dalam Rancangan Acak Berblok dengan 3 ulangan. Mengacu pada tingkat kemiringan lahan maka Blok ditempatkan pada tiga lokasi yang berbeda berdasarkan ketinggian tempat di atas permukaan laut (dpl). Pembagian blok terdiri dari tiga kelompok (area) yaitu Blok I ketinggian 50-100m dpl berada di Dusun Pauklor, Blok II ketinggian 100-150m dpl berada di Dusun Pruda dan Blok III ketinggian >150m dpl berada di Dusun Ri'idueng.

Jenis perlakuan terdiri dari dua faktor (ladang dan bera) dengan level percobaan lamanya waktu pengelolaan lahan (1 tahun, 2 tahun dan 3 tahun). Kedua faktor dengan level percobaan tersebut diinteraksikan untuk mengetahui pengaruh dari perlakuan tebas bakar terhadap perubahan sifat fisik kimia tanah serta vegetasi pada jenis lahan (ladang dan lahan bera) dengan tingkat lamanya waktu pengelolaan lahan adalah sebagai berikut:

1. Faktor I: Jenis Lahan terdiri dari 2 taraf:  
L1: Ladang  
B2: Bera
2. Faktor II: Lama waktu pengelolaan terdiri dari 3 taraf:  
I1: 1 Tahun  
I2: 2 Tahun  
I3: 3 Tahun

Interaksi variabel penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Model matematika dengan perlakuan yang didesain dengan Rancangan Acak Berblok (Suwanda, 2011) adalah sebagai berikut:

$$y_{ijk} = \mu + \Gamma_i + \beta_j + (I\beta)_{ij} + \Gamma_k + \epsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2, \dots, a$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

$$k = 1, 2, \dots, n$$

dimana:

$$y_{ijk} = \text{Nilai respon untuk taraf- i faktor A, taraf- j faktor B pada ulangan ke- k}$$

$\mu$  = Efek rata - rata umum

$\Gamma_i$  = Efek rata - rata taraf- i faktor A

$\beta_j$  = Efek rata - rata taraf- j faktor B

$I\beta$  = Efek rata - rata interaksi taraf- i faktor A dan taraf- j faktor B

$\epsilon_{ijk}$  = Efek kekeliruan acak

Data yang dikumpulkan terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer dikumpulkan melalui pengamatan langsung di lapangan terhadap komponen fisik, kimia tanah serta vegetasi lahan. Data yang dikumpulkan dilakukan dengan kegiatan pengambilan 9 sampel tanah pada setiap unit percobaan yang ditentukan di setiap blok area. Contoh sampel tanah komposit yang diambil pada kedalaman 0-30 cm di lahan petani untuk dianalisis di laboratorium. Pengamatan dan pengukuran terhadap jenis vegetasi dengan menggunakan petak contoh berbentuk bujur sangkar (kuadrat) dengan ukuran untuk pengamatan jenis semai 1 m x 1 m, jenis anakan 5 m x 5 m dan jenis pohon 10 m x 10 m pada ladang dan lahan bera.

Masing-masing peubah yang diukur adalah:

- (1) Peubah fisik tanah terdiri dari (tekstur tanah, porositas tanah dan kemantapan agregat tanah). Penetapan masing - masing peubah dilakukan terhadap Tekstur tanah dengan metode pipet/hydrometer, porositas tanah dengan metode Ring blok, Agregat tanah dengan metode tetes.
- (2) Peubah Kimia tanah terdiri dari Kandungan bahan organik (%) dengan metode pengabuan Waklay, (1974), N total dengan metode semi automatic Kjeldhal, P dengan metode Olsen (ppm) Olsen *et al*(1954), K dengan metode Flame foto meter Hanway and Heidal, (1969), Mg dan Ca dengan metode pencucian Amonium asetat pH 7, pH dengan metode yang dikembangkan oleh Baker (1983). dilakukan dengan metode Elektrimeter dengan menggunakan pH meter (Soetedjo, 2005).
- (3) Peubah vegetasi lahan terdiri dari jenis tanaman dan vegetasi yang dominan pada lahan. Analisis vegetasi dilakukan dengan menggunakan Indeks Nilai Penting (INP) yaitu parameter kuantitatif yang dipakai untuk menyatakan tingkat dominansi (tingkat penguasaan) spesies-spesies dalam suatu komunitas tumbuhan (Soegianto, 1994 *dikutip dari* Indriyanto, 2005). Indeks Nilai Penting dihitung berdasarkan penjumlahan nilai Kerapatan Relatif (KR), Frekuensi Relatif (FR), dan Dominansi Relatif (DR).

Tabel 2. Analisis awal sifat fisik tanah pada ladang dan lahan bera.

Jenis Lahan	Lamanya waktu Pengelolaan Lahan	Porositas Tanah (%)	Agregat Tanah (%)	Tekstur Tanah			Kelas Tekstur
				Pasir (%)	Debu (%)	Liat (%)	
Ladang	1 Tahun	63.90	89.66	86.64	6.67	6.74	Pasir berlempung
	2 Tahun	63.63	89.66	84.45	7.26	8.28	Lempung berpasir
	3 Tahun	71.22	90.33	84.66	8.52	6.82	Pasir berlempung
Bera	1 Tahun	67.64	129.00	82.54	10.15	8.31	Lempung berpasir
	2 Tahun	65.96	126.66	82.86	9.29	7.84	Pasir berlempung
	3 Tahun	66.66	123.66	82.90	7.76	9.34	Lempung berpasir

Sumber: Hasil Analisis laboratorium Fisik dan Kimia Tanah, Fakultas Pertanian Undana, 2014.

Tabel 3. Pengaruh variabel tunggal jenis lahan (ladang dan bera) dan lamanya waktu pengelolaan lahan terhadap kondisi agregat tanah di desa Pruda.

Variabel Tunggal	Kondisi Agregat Tanah	
Ladang	29.96 a	
Bera	42.14 b	
Lama Pengelolaan Lahan 1 Tahun		54.66 tn
Lama Pengelolaan Lahan 2 Tahun		54.08 tn
Lama Pengelolaan Lahan 3 Tahun		53.50 tn
BNT 5%	11.89	14.57

Keterangan: Angka-angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) taraf 5%.

Indeks Nilai Penting (INP) dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$INP = KR + FR + DR.$$

$$\text{Kerapatan} = \frac{\text{Jumlah individu suatu jenis}}{\text{Petak Ukur}}$$

$$\text{Kerapatan Relatif (\%)} = \frac{\text{Kerapatan suatu jenis} \times 100}{\text{Kerapan seluruh jenis}}$$

$$\text{Frekuensi} = \frac{\text{Jumlah sub petak ditemukan suatu jenis}}{\text{Jumlah seluruh petak pengamatan}}$$

$$\text{Frekuensi Relatif (\%)} = \frac{\text{Frekuensi suatu jenis} \times 100}{\text{Frekuensi seluruh jenis}}$$

$$\text{Dominasi} = \frac{\text{Jumlah luas bidang dasar suatu}}{\text{Luas area sampel}}$$

$$\text{Dominasi Relatif (\%)} = \frac{\text{Dominasi suatu jenis} \times 100}{\text{Dominasi seluruh jenis}}$$

$$\text{Nilai Penting} = \text{Kerapatan Relatif (\%)} + \text{Dominansi Relatif (\%)} + \text{Frekuensi Relatif (\%)}$$

Data yang diperoleh dianalisa secara deskriptif dan analisis sidik ragam (Anova) untuk mengetahui pengaruh perlakuan, dan apabila terdapat perbedaan maka dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Terkecil pada taraf kepercayaan 95%(BNT 5%).

## Hasil dan Pembahasan

### Analisis Kondisi Fisik dan Kimia Tanah serta Vegetasi Lahan

Hasil analisis sifat fisik tanah yang dilakukan di Laboratorium meliputi tekstur, porositas dan kemantapan agregat tanah menunjukkan bahwa, rata-rata lahan di daerah penelitian memiliki kandungan tekstur tanah pasir berlempung dan lempung berpasir. Keadaan porositas tanah pada ladang tergolong baik sedangkan kemantapan agregat tanah pada ladang dan lahan bera tergolong baik. Secara lengkap rata-rata hasil analisis laboratorium fisik tanah di lokasi penelitian disajikan pada Tabel 2.

### Hasil Analisis Laboratorium Terhadap Kondisi Agregat Tanah

Hasil analisis sidik ragam terhadap kondisi agregat tanah menunjukkan bahwa kondisi agregat tanah lebih dipengaruhi secara nyata oleh faktor tunggal yaitu jenis lahan (ladang dan bera). Sedangkan interaksi antara kedua variabel yang diteliti tidak menunjukkan perbedaan yang nyata, diduga kondisi agregat tanah di lokasi penelitian tergolong baik sehingga pengaruh interaksi jenis lahan (ladang dan bera) dan lamanya waktu pengelolaan tidak memberikan perubahan secara nyata terhadap kondisi agregat tanah kendatipun demikian dari data yang diperoleh menunjukkan

Tabel 4. Hasil analisa awal sifat kimia tanah pada ladang dan lahan bera di lokasi penelitian.

Jenis lahan	Lamanya waktu Pengelolaan Lahan	N (%)	P (ppm)	K (me/100g)	C-org (%)	Ca (%)	Mg (%)	pH
Ladang	1 Tahun	0.19	33.93	0.92	1.67	24.25	3.64	6.06
	2 Tahun	0.13	56.76	1.13	1.65	22.57	3.43	5.64
	3 Tahun	0.16	40.36	1.12	1.24	22.29	3.63	6.07
Bera	1 Tahun	0.13	33	0.82	1.72	23.38	3.52	5.84
	2 Tahun	0.14	12.4	0.75	2.02	22.09	3.36	5.52
	3 Tahun	0.24	19.56	0.67	2.17	22.03	3.35	5.50

Sumber: Hasil Analisis laboratorium Fisik dan Kimia Tanah, Fakultas Pertanian Undana, (2014).

Tabel 5. Pengaruh interaksi variabel pengelolaan jenis lahan dan lamanya waktu pengelolaan lahan terhadap rerata kandungan C organik (%).

Jenis Lahan	Lamanya Waktu Pengelolaan Lahan		
	1 Tahun	2 Tahun	3 Tahun
Ladang	1.67 a A	1.65 a A	1.24 a A
Bera	1.72a A	2.02 ab A	2.17 b B
BNT 5 %	0.68		

Keterangan: Angka-angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom (huruf besar) dan baris (huruf kecil) yang sama tidak berbeda nyata pada Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) taraf 5%.

kondisi agregat tanah yang baik yaitu rata-rata pada lahan yang bera (Tabel 3).

Hasil analisis awal kandungan unsur kimia tanah di laboratorium menunjukkan bahwa, rata-rata kandungan C organik tanah di lokasi penelitian pada area ladang dan lahan bera tergolong rendah sampai sedang, kandungan N total pada ladang dan lahan bera tergolong sedang, kandungan P (ppm) pada ladang tergolong sedang sampai tinggi dan pada lahan bera kandungan P tergolong sangat rendah sampai rendah, kandungan K (me/100g) pada ladang tergolong sedang sampai sangat tinggi dan pada lahan bera kandungan K tergolong sedang, kandungan Ca pada ladang dan lahan bera tergolong sangat tinggi, kandungan Mg pada ladang tergolong sedang dan pada lahan bera kandungan Mg tergolong sedang, kondisi pH tanah di lokasi penelitian baik pada ladang maupun pada lahan bera adalah tergolong asam dan agak asam (5,50-6,07). Secara lengkap hasil analisa kimia tanah di lokasi penelitian disajikan pada Tabel 4.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa kandungan C organik (%) tanah di lokasi penelitian dipengaruhi secara nyata oleh interaksi antara jenis lahan (ladang dan bera) dengan lamanya waktu pengelolaan lahan (1 tahun, 2 tahun dan 3 tahun). Uji BNT taraf 5% terhadap peubah kandungan C organik (%) tanah (Tabel 4) menunjukkan bahwa jenis lahan (ladang dan lahan bera) berinteraksi dengan lamanya waktu pengelolaan di mana jenis (ladang) yang dikerjakan berinteraksi dengan

lamanya waktu pengelolaan 1 tahun karena memiliki kandungan C organik tanah yang mencukupi, namun kandungan C organik tanah akan menurun nyata jika berinteraksi dengan lamanya waktu pengelolaan pada ladang selama 3 tahun, sedangkan kandungan C organik tanah tidak nyata berbeda pada ladang yang dikerjakan 2 tahun. Tabel 5 menunjukkan bahwa terjadi trend penurunan kandungan unsur C organik tanah pada ladang yang sementara dikerjakan. Hasil perhitungan statistik menunjukkan bahwa rata-rata kandungan C organik tanah pada ladang yang dikerjakan 1 tahun lebih tinggi dengan (kategori sedang) jika dibandingkan dengan kandungan C organik tanah pada ladang yang dikerjakan selama 2 tahun dan 3 tahun dengan (kategori rendah). Hal ini diduga berkaitan dengan pola dan lamanya waktu pengelelolaan lahan yang dikerjakan oleh petani dengan cara tebas bakar pada saat pembukaan lahan serta keberadaan jenis vegetasi pada ladang turut mempengaruhi terhadap perubahan unsur (fisik dan kimia) tanah khususnya terhadap perubahan kandungan C organik tanah. Hasil penelitian ini sejalan dengan Juo dan Manu (1996); Hernandez (1997) *dikutip dari* Djunaedi (1999) menyatakan bahwa bahan kandungan C organik cenderung menurun akibat pembakaran setelah pembukaan lahan. Selain itu sisa seresah tanaman dan rendahnya jenis vegetasi pada ladang yang dikerjakan 2 tahun dan 3 tahun belum mampu memberikan perubahan atau pengaruh untuk peningkatan bahan Organik

Tabel 6. Pengaruh interaksi variabel pengelolaan jenis lahan dan lamanya waktu pengelolaan lahan terhadap rerata kandungan N total (%).

Jenis Lahan	Lamanya Waktu Pengelolaan Lahan		
	1 Tahun	2 Tahun	3 Tahun
Ladang	0.19 b B	0.13 a A	0.16 ab A
Bera	0.13 a A	0.14 a A	0.24 b B
BNT 5 %		0.5	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom (huruf besar) dan baris (huruf kecil) yang sama tidak berbeda nyata pada Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) taraf 5%.

tanah. Penurunan kandungan C organik tanah juga disebabkan rendahnya vegetasi penutup lahan serta penyerapan unsur hara tanaman pangan yang dibudidayakan sehingga input C organik menjadi rendah. Hasil yang sama ditunjukkan oleh Chidumayo dan Kwibisa (2003) bahwa pembakaran vegetasi pohon *Brachystegia - Julbernardia* pada pembukaan ladang yang kemudian diikuti dengan praktek peladangan menyebabkan penurunan kandungan bahan organik dan kandungan nitrogen pada lapisan atas tanah. Semakin lama waktu ladang dikerjakan maka akan berangsur-angsur unsur hara tanah ikut cenderung menurun sejalan dengan lamanya waktu ladang yang dikerjakan.

Hasil analisis kandungan C organik tanah pada jenis lahan bera berinteraksi dengan lamanya waktu pada lahan bera 3 tahun karena memberikan sumbangan kandungan C organik tanah yang lebih baik, namun kandungan C organik tanah akan menurun nyata jika berinteraksi dengan lamanya waktu pemberaan selama 1 tahun, sedangkan kandungan C organik tanah tidak nyata berbeda pada lahan yang diberakan 2 tahun. Hal ini diduga berkaitan dengan keberadaan jenis vegetasi pada lahan bera jenis (pohon, anakan dan semai) seperti jenis Lamtoro (*leucaena leucephala*), jenis Kelapa (*cocos nucifera*), jenis Mahoni (*swietenia mahagoni*) dan beberapa jenis semai seperti jenis Putri malu (*mimosa pudica*) pada lahan yang diberakan 3 tahun mampu memberikan sumbangan hasil sisa seresah tanaman terhadap bahan organik dalam tanah. Sejalan dengan penelitian Soetedjo (2003) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata sifat kimia tanah yang dibiarkan pemberaan (2-3 tahun) dan diperkuat oleh hasil penelitian Manlay (2002) menyatakan bahwa setelah lahan diberakan selama 5-7 tahun terjadi perubahan kandungan C organik yang cenderung meningkat. Menurunnya kandungan C organik tanah pada lahan bera selama 1 tahun diduga kondisi pertumbuhan vegetasi pada lahan tersebut belum terbentuk secara maksimal, sehingga keadaan lahan masih terbuka dan rentan terhadap erosi dan mengakibatkan terangkutnya sebagian besar hasil seresah oleh air diwaktu hujan maupun oleh angin. Keadaan ini menyebabkan

ketidak seimbangan unsur hara karena kandungan mineral tanah hilang selama masa tanam. Sejalan dengan penelitian Juo dan Manu (1996) dikutip oleh Mulyoutami (2010) menyatakan bahwa kandungan unsur hara dan mineral tanah yang hilang selama masa pertanaman tidak dapat dipulihkan hanya dengan periode waktu pemberaan yang singkat.

Hasil pengamatan terhadap variabel interaksi tingkat pengelolaan lahan terhadap jenis lahan (ladang dan bera) menunjukkan bahwa lamanya waktu pengelolaan 2 tahun pada ladang maupun lamanya waktu pemberaan 2 tahun di lahan bera tidak menunjukkan perbedaan secara nyata terhadap kandungan C organik tanah, namun dengan lamanya waktu pengelolaan 1 tahun pada ladang serta lamanya waktu pemberaan 3 tahun pada lahan bera berpengaruh nyata terhadap unsur kandungan C organik tanah. Hal ini menunjukkan bahwa ladang setelah dibiarkan untuk pemberaan selama 3 tahun akan mampu mengembalikan unsur kandungan C organik dalam tanah. Sejalan dengan hasil penelitian Roder (1997) dikutip dari Soetedjo (2003) menyatakan bahwa jika praktek peladangan tebas bakar diikuti dengan masa bera yang lama 10-20 tahun, maka akan terjadi perbaikan sifat fisik dan kimia lahan, perbaikan keanekaragaman vegetasi, dan terjaminnya fungsi ekologis tanah dengan lestari. Semakin lama ladang diberakan maka berangsur-angsur perbaikan dan peningkatan unsur hara dalam tanah semakin baik.

Hasil Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa kandungan N total (%) tanah di lokasi penelitian dipengaruhi secara nyata oleh interaksi antara jenis lahan (ladang dan bera) dengan lamanya waktu pengelolaan lahan. Hasil analisa terhadap kandungan N total (Tabel 5) menunjukkan bahwa interaksimasing-masingjenislahan(ladangdanbera) terhadap lamanya waktu pengelolaan menunjukkan hasil yang berbeda. Uji BNT taraf 5% terhadap peubah kandungan N total tanah menunjukkan bahwa, jenis lahan (Ladang) berinteraksi dengan lamanya waktu pengelolaan selama 1 tahun karena mampu melepaskan kandungan N total ke dalam tanah. Sedangkan kandungan N total akan menurun dengan nyata jika berinteraksi dengan lamanya

Tabel 7. Jenis vegetasi dan indeks nilai penting di desa Pruda kecamatan Waiblama, kabupaten Sikka.

Jenis Lahan	Lamanya Waktu Pengelolaan Lahan	Jenis Tumbuhan Dominan	Kelompok Tumbuhan	Indeks Nilai Penting (%)
Ladang	1 Tahun	<i>Leucaena leucephala</i>	Anakan	224,48
	2 Tahun	<i>Leucaena leucephala</i>	Anakan	229,29
	3 Tahun	<i>Mimosa pudica</i>	Semai	78,50
Bera	1 Tahun	<i>Imperata cylindrical</i>	Semai	100
	2 Tahun	<i>Leucaena leucephala</i>	Anakan	93,33
	3 Tahun	<i>Anacardium occidentale</i>	Pohon	95,04

Sumber: Hasil analisis Data Primer (2014)

waktu pengolaan selama 2 tahun, tetapi kandungan N total tidak nyata berbeda bila berinteraksi dengan lamanya waktu pengelolaan 3 tahun.

Meningkatnya kandungan N total (%) pada jenis ladang yang dikerjakan 1 tahun diduga memiliki cadangan bahan organik tanah yang cukup dari hasil dekomposisi sisa - sisa seresah tanaman yang sudah lapuk selama lahan tersebut diberakan. Sejalan dengan pendapat Hardjowigeno (1995) tanah terbentuk dari campuran bahan mineral, bahan organik, air dan udara yang memiliki sifat yang dinamik dan terbentuk oleh hasil kerja interaksi antara iklim, jenis tanaman, tanah serta media bagi tumbuhnya tanaman.

Menurunnya kandungan N total (%) tanah pada lahan yang dikerjakan 2 tahun diduga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti penyerapan yang tinggi unsur hara N total (%) oleh tanaman yang dibudidayakan petani, sehingga mempengaruhi berkurangnya unsur N total (%) dalam tanah. Selain diserap oleh tanaman, menurun atau berkurangnya unsur N total (%) tanah juga dipengaruhi oleh faktor pengelolaan awal membuka lahan oleh petani dengan kegiatan tebas bakar turut berpengaruh terhadap panas suhu di permukaan tanah. Sejalan dengan pendapat Dechert (2004) dikutip dari Mulyoutami (2010) menyatakan bahwa proses pembakaran memberikan pengaruh yang negatif yaitu mengakibatkan pelepasan (penguapan) unsur hara secara signifikan khususnya unsur N total (%), bahkan dapat digolongkan tertinggi. Pembakaran pada lahan turut mempengaruhi perubahan sifat kimia tanah seperti perubahan pH tanah. Nurkin (1999); Manlay *dkk.* (2002); Soetedjo (2003) menjelaskan bahwa perubahan pH tanah pada waktu pembakaran berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara tanah seperti unsur N, P, dan K. Menurunnya kandungan hara pada lahan yang dibakar tersebut juga dipengaruhi secara nyata pencucian yang tinggi, permeabilitas tanah yang tinggi, dan kemiringan lahan.

Hasil pengamatan terhadap peubah kandungan N total (%) pada jenis lahan (bera) menunjukkan berinteraksi positif dengan lamanya waktu pemberaan selama 3 tahun, karena mampu melepaskan unsur N total (%) ke dalam tanah,

sedangkan kandungan N total (%) tidak menunjukkan perbedaan yang nyata jika waktu pemberaan hanya 1 tahun dan 2 tahun. Hal ini diduga lahan yang baru mulai diberakan belum mampu memperbaiki unsur sifat kimia tanah, karena lahan-lahan tersebut belum terbentuk dan tumbuhnya jenis vegetasi lahan. Dilain pihak kegiatan tebas dan bakar pada waktu pengelolaan ladang memberikan pengaruh terhadap terputusnya siklus hara ketika dilakukan penebangan dan pembakaran tanaman untuk ladang. Sehingga untuk memulihkan kembali unsur hara pada lahan-lahan tersebut, membutuhkan periode waktu pemberaan lebih dari 3 tahun. Sejalan dengan penelitian Juo dan Manu (1996) dikutip dari Mulyoutami (2010) menyatakan bahwa kandungan unsur hara dan mineral dalam tanah yang hilang selama masa pertanaman tidak dapat dipulihkan hanya dengan periode waktu pemberaan yang singkat.

Hasil pengamatan dan analisis vegetasi di lokasi penelitian yang dilakukan diperoleh 24 jenis tumbuhan yang terdiri dari 11 jenis anakan dan semai serta 13 jenis pohon. Beberapa jenis pohon yang ditemukan diantaranya Lamtoro (*Leucaena leucephala*), Gamal (*Glyricidia sepium*), Jambu mete (*Anacardium occidentale*), dan Kelapa (*Cocos nucifera*). Jenis anakan dan semai yang ditemukan antara lain jenis Alang-alang (*Imperata cylindrical*), Putri malu (*Mimosa Pudica*) Anggur hutan (*Passiflora foetida L*) dan Kirinyu.

Hasil analisis vegetasi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan jenis tumbuhan yang dominan pada ladang yang dikerjakan dan lahan yang diberakan pada kurun waktu tertentu. Jenis tumbuhan yang dominan pada ladang dan lahan bera terdapat pada Tabel 7.

Pada Tabel 7. menunjukkan adanya perubahan dan perbedaan jenis tumbuhan yang dominan pada masing-masing area baik pada ladang yang dikerjakan maupun pada lahan bera. Hal ini diduga kaitan erat dengan keadaan kondisi lingkungan dan keadaan kondisi fisik kimia tanah. Selain itu kondisi lahan yang dikerjakan oleh petani dengan sistem tebas bakar dan ladang berpindah turut mempengaruhi keragaman jenis vegetasi yang ada.

## Simpulan

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kandungan N total dan C organik meningkat bila waktu pembeeraan dibiarkan selama 3 tahun.
2. Pengaruh tunggal menunjukkan bahwa kemantapan agregat tanah lebih baik bila lahan diberakan dibandingkan bila lahan di ladangkan baik 1 tahun, 2 tahun dan 3 tahun.
3. Kondisi porositas tanah serta kandungan P, K, Ca, Mg dan kondisi pH tanah tidak dipengaruhi secara nyata oleh interaksi maupun faktor tunggal pada ladang dan bera dengan tingkat lamanya waktu pengelolaan.
4. Terdapat perbedaan dominansi jenis vegetasi pada ladang dan lahan bera di mana jenis vegetasi pada ladang didominasi oleh jenis anakan dan semai sedangkan pada lahan yang diberakan didominasi oleh jenis anakan, semai dan pohon.

## Daftar Pustaka

- Alegre J.C. and Cassel., 1996. *Dynamick of Soil Physical Properties Under Alternative System to Slash-and-Burn*. Journal Agriculture, Ecosystem and Environment. 58. pp. 39-48.
- Arsyad, S., 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. Edisi Kedua Serial Pustaka IPB Press. Bogor.
- BPS Sikka., 2013. *Statistik Pertanian Kabupaten Sikka*. Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Sikka, Maumere.
- Benu, F. L., dan Mudita, I. W., 2013. *Revisitasi Lahan Kering*. Diskusi Ringan Seputar Lahan Kering dan Pertanian Lahan Kering. Penerbit JP II Publishing House. Jakarta.
- Djunaedi., 1999. *Pengaruh tebas Bakar terhadap Populasi Dan Aktivitas Mikroorganisme Tanah*. Thesis Program Pasca Sarjana, IPB, Bogor.
- Eviassi, F and M.R. Bayan, 1996. *Effect of long term prescribed burning on the activity of select soil enzymes in a oak-hickory forest*, Canadian Journal of Forest research. 26, pp.1799-1804
- Juo A.S.R., and A. Manu, 1996. *Chemical Dynamics in Slash-and-Burn Agriculture.*, Journal Agriculture, Ecosytem and Environment. 58. pp. 49-60
- Laboratorium Fisik dan Kimia Tanah Fakultas Pertanian. 2014. *Analisis unsur Fisik tanah (tekstur, porositas, ageregat tanah) dan Kimia tanah (N, P, K, C organik, Ca, Mg, pH tanah)*. Undana. Kupang.
- Laiskodat H.S., 2003. *Kajian Pola Peladangan dan Bera Terhadap Perubahan Komponen Lingkungan Geofisik*. Thesis. Program Pascasarjana. UNDANA. Kupang.
- Manlay R.J., M. Kaire, D. Masse, J.L. Chotte, G. Ciornei, dan C. Floret, 2002a. *Carbon, Nitrogen and Phosphorus Allocation in Agro-ecosystems of a West African Savanna. I. The Plant Component Under Semi-Permanent Cultivation*. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment. 215-232
- Manlay R.J., M. Kaire, D. Masse, J.L. Chotte, G. Ciornei, dan C. Floret, 2002b. *Carbon, Nitrogen and Phosphorus Allocation in Agro-ecosystems of a West African Savanna. I. The Plant Component Under Semi-Permanent Cultivation*. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment. 233-248
- Mulyoutami, E., M. van Noordwijk, N. Sakuntaladewi, dan F. Agus, 2010. *Perubahan Pola Perladangan: Pergeseran persepsi mengenai para peladang di Indonesia*. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office. 101p.
- Nurida N.L., 2001. *Pembukaan Lahan Secara Tebas Bakar Hubungannya dengan Tingkat Populasi dan Aktivitas Organisme Tanah*. Makalah Program Pascasarjana (S3) Institut Pertanian Bogor.
- Nurkin B., 1999. *Fire Effect on Phosphorus Status Under Shifiting Cultivation Practice*. Jurnal Lingkungan dan Pembangunan.
- Olsen, S.R., E.V. Cole, F.S. Watanabe, and L.A. Dean. 1954. *Estimation of available P in soil by extraction with sodium bicarbonate*. USDA Cir: 939-949
- Pemerintah Provinsi NTT. (2011). *Gubernur Minta Tinggalkan Pola Bertani Tebas Bakar*. Website Pemerintah Provinsi NTT Retrieved 21 August 2012, from [http://nttpro.go.id/provntt/index.php?Option=com\\_content&task=view&rid=318&Itemid=1](http://nttpro.go.id/provntt/index.php?Option=com_content&task=view&rid=318&Itemid=1)
- Rodenburg, J., A. Stein, M. van Noordwijk, dan Q.M. Ketterings, 2003. *Spatial variability of soil pH and phosphorus in relation to soil runoff following slash-and-burn land clearing in Sumatra, Indonesia*. Journal of Soil and Tillage Research.
- Soegianto, A. 1994. *Ekologi Kuantitatif. Metode Analisa Populasi dan Komunitas*, Jakarta: Penerbit Usaha Nasional.
- Soetedjo, I.N.P., 2003. *Metode Prakiraan dan Evaluasi Dampak Lingkungan. Pusat Penelitian Lingkungan Hidup dan Sumber Daya Alam (PPLHSA)*, Universitas Nusa Cendana.
- Soetedjo, I.N.P., 2005. *Studi Penggunaan Mulsa Jerami dan Sekam Padi terhadap efisiensi penggunaan Air, dan perbaikan Kimia tanah Vertisols*. Jurnal Informasi Pertanian Lahan Kering. Pusat Penelitian Lahan Kering. Undana. Hal: 31-38.
- Suwanda, 2011. *Desain Eksperimen Untuk Penelitian Ilmiah*. Alfabeta. Bandung.
- Walkley, A. 1974. A Critical examination of rapid method for organic carbon in soils-effect of variation in digestion conditions and of inorganic soil constituents. Soil Sci, 63, 251-264.

*Technical Paper*

## **Eksplorasi Potensi Airtanah pada Kawasan Industri Air Mineral Dalam Kemasan, Cemplang, Bogor**

### *Exploration Potential of Groundwater In Industrial Estate Bottled Mineral Water Cemplang, Bogor*

Roh Santoso Budi Waspodo, Departement Teknik Sipil dan Lingkungan, Instiut Pertanian Bogor.  
Email: rohsbw@yahoo.com

#### **Abstract**

*Exploration of water resources is an attempt to provide water accesibility for society's. Required in-depth study of geological analysis-hydrogeological springs and groundwater that it will be processed into clean water to support communities. The intent of this study was to determine the geoelectric-hydrogeological conditions through the distribution characteristic of the aquifer by resistivity rocks around Cemplang, Bogor. The purpose of this investigation was to provide a data where groundwater sources are used for industrial mineral water. The exploration results obtained by the location of shallow groundwater in the range between 2-14 m below the surface of the local soil. Free groundwater depth (shallow groundwater) conducted in the study area, groundwater depths ranging between 2-8 m below ground surface (bmt) local. The groundwater is estimated from Mount Salak as a groundwater resource, The estimation geoelectric investigation area is resistivity 3-400  $\Omega$ m. Rock aquifer consists of sandy loam, silty sand and sand hydraulic conductivity estimated 3-40 m/day. Layer has a smaller resistivity of 13  $\Omega$ m and is at a depth of 17 m bmt. The slopes of this research area is 0.017 to obtain the potential of groundwater in at 18,947.37 m<sup>3</sup>/day, equivalent as 219.30 liters/sec.*

**Keywords:** *water resources, hydrogeology, groundwater*

#### **Abstrak**

Pembangunan di bidang sumber daya air adalah upaya untuk memberikan akses air secara adil kepada seluruh masyarakat. Diperlukan kajian mendalam pada analisis geologi - hidrogeologi sumber mata air dan airtanah yang akan diolah menjadi air bersih untuk menunjang berbagai kegiatan masyarakat. Maksud dari kajian geolistrik ini adalah untuk mengetahui kondisi hidrogeologi melalui sifat sebaran akuifer berdasarkan tahanan jenis batuan di sekitar Desa Cemplang, Kabupaten Bogor. Tujuan dari penyelidikan ini adalah penyediaan data dasar keberadaan sumber airtanah untuk keperluan industri air mineral dalam kemasan. Hasil penyelidikan ini diperoleh letak airtanah dangkal pada kisaran antara 2 - 14 m bawah permukaan tanah setempat. Kedalaman airtanah bebas (airtanah dangkal) yang dilakukan di sekitar wilayah studi, kedalaman airtanah berkisar antara 2 - 8 m di bawah muka tanah (bmt) setempat. Aliran airtanah diduga berasal dari Gunung Salak sebagai daerah imbuhan air tanah, daerah penyelidikan pendugaan geolistrik ini bertahanan jenis 3 - 400  $\Omega$ m. Batuan penyusun akuifer terdiri dari lempung pasir, pasir lempungan dan pasir konduktivitas hidrolis diperkirakan 3 - 40 m/hari. Lapisan mempunyai tahanan jenis lebih kecil dari 13  $\Omega$ m dan berada pada kedalaman 17 m bmt. Kemiringan hidrolis daerah studi adalah 0.017 sehingga didapatkan potensi airtanah dalam adalah 18,947.37 m<sup>3</sup>/hari atau setara 219.30 liter/detik.

**Kata kunci:** *sumber daya air, hidrogeologi, airtanah.*

*Diterima: 26 Mei 2015; Disetujui: 18 Agustus 2015*

#### **Pendahuluan**

##### **Evaluasi Latar Belakang**

Air merupakan kebutuhan pokok manusia untuk melangsungkan kehidupan dan meningkatkan kesejahteraan. Jumlah kebutuhan air bersih yang bersumber dari airtanah maupun mata air khususnya di Kabupaten Bogor terus meningkat. Untuk itu diperlukan kajian mendalam pada analisa geologi -

hidrogeologi sumber mata air dan airtanah yang akan diolah menjadi air bersih dalam jumlah yang cukup untuk menunjang berbagai kegiatan usaha industri yang sesuai dengan kondisi lingkungan setempat.

Kabupaten Bogor melalui Dinas BPLH mewajibkan setiap usaha eksplorasi airtanah maupun mata air harus melalui kajian hidrogeologi yaitu menghitung ketersediaan sumberdaya air baik berupa mata air maupun cadangan airtanah. Untuk proses perijinan

maka dilakukan penyelidikan pendugaan geolistrik, yang dimaksudkan untuk menentukan beberapa jenis akuifer yang dianggap potensial dalam rencana pembuatan sumur bor maupun akuifer yang berfungsi sebagai lapisan yang mengeluarkan mata air.

### Maksud dan Tujuan

Maksud dari kajian geolistrik ini adalah untuk mengetahui kondisi hidrogeologi melalui sifat sebaran akuifer berdasarkan tahanan jenis batuan di sekitar CV. Mitra Makmur Industri - Cemplang. Sedangkan tujuan dari penyelidikan ini adalah menyediakan data dasar keberadaan sumber airtanah untuk keperluan industri air minum oleh CV. Mitra Makmur Industri - Cemplang.

### Bahan dan Metode

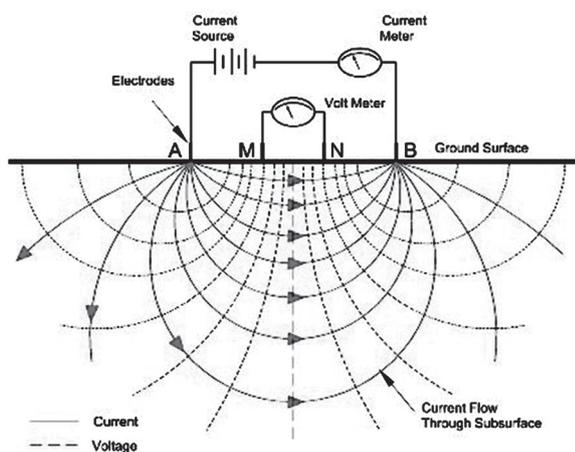
#### Lokasi dan Waktu

Penelitian dilakukan di CV. Mitra Makmur Industri - Cemplang, Jl. Raya Cemplang RT 01 RW 03, Desa Suka Maju, Kecamatan Cibungbulan, Leuwiliang Kabupaten Bogor. Pengukuran dilakukan 13 - 16 Agustus 2013. Pengolahan data dan pelaporan dilakukan dari 17 - 25 Agustus 2014.

#### Alat dan Bahan

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian berupa data sekunder dan alat bantu hitung serta software progress 3, Mapinfo dan ArcView 3.0 dan IP2WIN. Alat ukur Geolistrik yang terdiri dari:

- Geolistrik *Earth Resistivity Metre type SAZ 3000 G100*, model BD 1000, *Serial Number M422002* dengan impedansi sebesar 10Mohm
- Separangkat komputer beserta perlengkapannya dan *software Progress Version 3.0*, IP2WIN, Surfer 9.0
- Kabel sepanjang 500 m sebanyak 2 unit untuk elektroda arus
- Kabel sepanjang 30 m untuk elektroda potensial
- AVO meter 1 unit



Gambar 1. Susunan Elektrode Menurut Aturan *Schlumberger*. (Flathe & Leibold, 1976).

- Kompas geologi 1 unit
- Rol meter sepanjang 50 m sebanyak 4 unit
- Palu sebanyak 4 unit
- *Handy talky* sebanyak 3 unit
- GPS
- Peta topografi, peta geologi, peta hidrogeologi, peta tanah dan peta RBI.

Alat yang digunakan adalah alat bantu hitung dan seperangkat komputer yang mendukung untuk mengoperasikan *software Progress version 3.0* dengan spesifikasi yang sesuai. Akibat dari perbedaan jenis lapisan batuan yang dilalui arus tersebut, akan menimbulkan perbedaan potensial. Perbedaan potensial yang ditimbulkan ini dapat diukur di permukaan tanah melalui 2 buah elektroda potensial M dan N, seperti terlihat pada gambar susunan elektroda menurut aturan *Schlumberger* yang dipakai sebagai berikut ini (Gambar 1).

Untuk memperoleh harga tahanan jenis semu pada setiap kali pengukuran digunakan rumus dasar yang mengacu kepada sistem konfigurasi *Schlumberger* berikut ini.

$$\Omega_a = \{(AB/2)^2 - (MN/2)^2\} / MN \times \Delta V / I \quad (1)$$

Dimana,

$\Omega_a$  = Tahanan jenis semu dalam satuan Ohm-meter.

AB = Jarak antara dua elektrode arus dalam satuan meter.

MN = Jarak antara dua elektrode potensial dalam satuan meter.

$\Delta V$  = Perbedaan potensial dalam satuan volt atau milivolt.

I = Kuat arus yang dialirkan dalam satuan ampere atau miliampere.

Airtanah terdapat pada lapisan akuifer yang memiliki ciri-ciri tersusun atas batuan pasir. Dengan mengetahui litologi lapisan tanah maka dapat diduga sebaran dan ketebalan lapisan akuifer di lokasi penelitian. Dengan bantuan perangkat lunak komputer (*progress version 3.0*) maka didapatkan jenis lapisan tanah dengan ketebalannya, seperti terlihat pada gambar nilai tahanan jenis batuan yang dipakai sebagai berikut ini (Gambar 2).

### Metode Perhitungan Airtanah

Airtanah dalam akuifer berasal dari air infiltrasi dan aliran airtanah dari akuifer di bagian hulu. Q adalah aliran airtanah yang keluar dari akuifer, K adalah konduktivitas batuan penyusun akuifer, A adalah luasan akuifer,  $\partial h$  adalah perubahan elevasi akuifer,  $\partial l$  adalah panjang akuifer, b adalah tebal akuifer dan w adalah lebar akuifer. Selanjutnya debit airtanah dapat dihitung dengan rumus Darcy (Fetter, 1994) :

$$Q = K \times A \times \frac{\partial h}{\partial l} \quad (2)$$

dengan Q adalah debit atau jumlah aliran airtanah,

K adalah permeabilitas akuifer, A adalah luas penampang akuifer dan dh/dl adalah gradien hidrolis atau kemiringan permukaan airtanah.

**Hasil dan Pembahasan**

**Kondisi Umum Wilayah Studi**

Berdasarkan Peta Rupa Bumi Indonesia lembar Bogor, CV. Mitra Makmur Industri – Cemplang terletak di area sawah berigasi yang telah menjadi tegalan/ladang dan pemukiman. Sedangkan industri air mineral di daerah tersebut untuk memenuhi kebutuhan pasar di wilayah Jabodetabek.

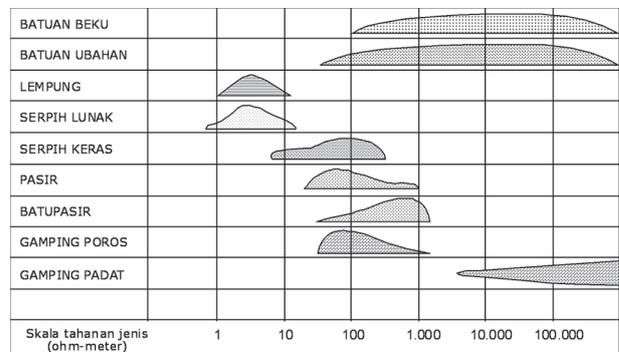
**Geologi Wilayah Studi**

Lokasi penyelidikan dan sekitarnya merupakan dataran dengan ketinggian 200 - 260 m di atas permukaan laut (dpl). Lokasi penyelidikan berada sebelah selatan lereng Gunung Salak. Kondisi tersebut berarti satuan geologi banyak dipengaruhi oleh satuan geologi Gunung Salak. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Bogor, skala 1 : 100,000, secara umum daerah studi dibentuk oleh 5 formasi batuan yang dominan di antaranya: formasi bojong manik (Tmb), anggota formasi bojong manik (Tmbl), satuan tuf batu apung pasir (Qvst), satuan breksi tufan lapii (Qvsb), aliran lava (Qvsl) dan satuan batuan gunung api tak terpisahkan. Peta Geologi daerah studi disajikan pada Gambar 3.

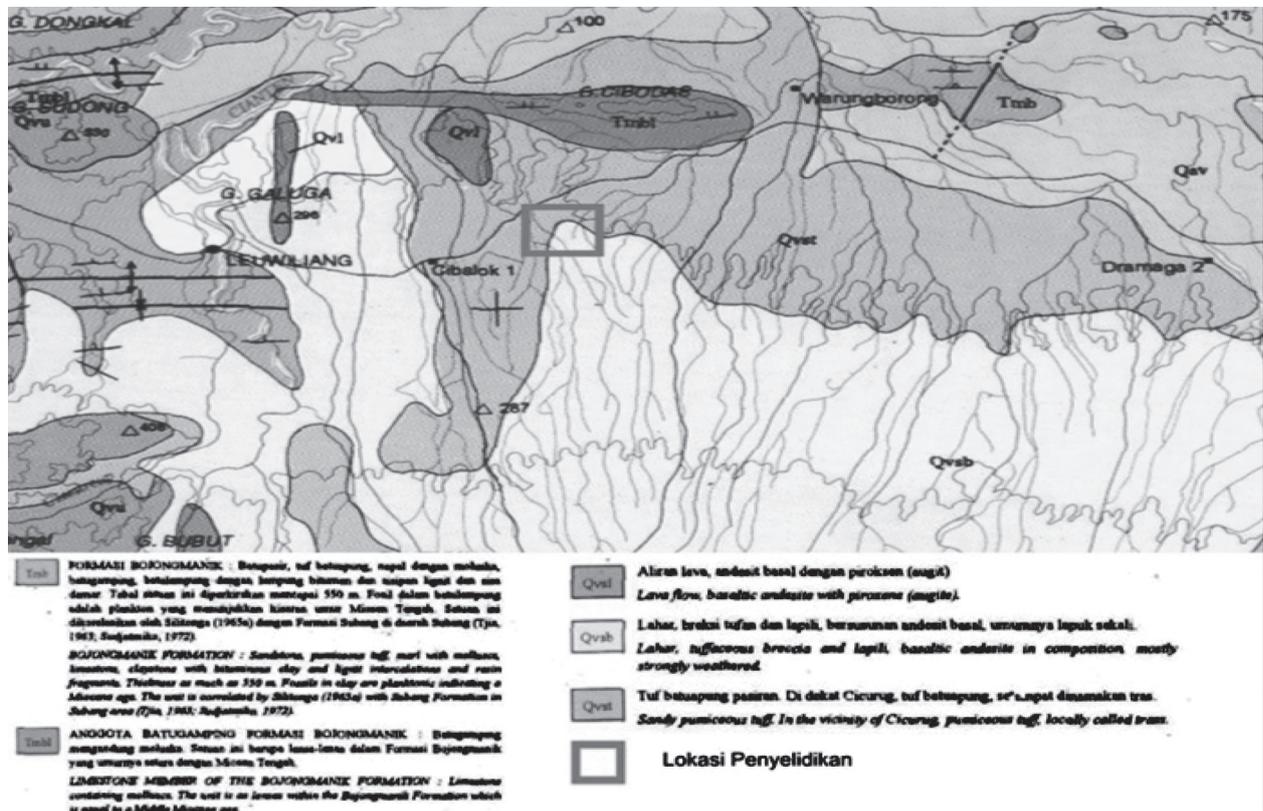
Litologi formasi batuan terdiri dari formasi batuan yang berumur kuartar (holosen dan pleistosen) sampai

tesier. Sifat formasi geologi daerah studi sbb:

1. Formasi Bojongmanik (Tmb): terdiri dari batu pasir, tuf batu apung, napal dengan molusca, batu gamping, batulempung dengan umur miosen tengah.
2. Anggota formasi Bojongmanik (Tmbl): batu gamping yang mengandung molusca. Satuan ini berupa lensa-lensa dalam satuan Bojongmanik yang setara dengan miosen tengah.
3. Satuan tuf batuapung pasir (Qvst): satuan formasi Gunung Salak berupa aliran lava andesit basal dengan piroksen. Formasi ini terbentuk jaman pleistosen.
4. Satuan lahar, breksi tufan dan lapii (Qvsb): satuan formasi Gunung Salak yang bersusunan andesit basal yang umumnya lapuk sekali.
5. Aliran lava (Qvsl): satuan formasi Gunung Salak berupa andesit basal dengan piroksen.



Gambar 2. Nilai Tahanan Jenis Batuan (Sumber: Todd, 1995).



Gambar 3. Peta Geologi daerah Studi.

Tabel 1. Letak dan Tinggi Muka Airtanah di Wilayah Studi.

No	Koordinat						Elevasi (m)	Depth (m)	Elevasi Airtanah (m)
	X		Y						
1	106 <sup>0</sup>	39'	16.3"	6 <sup>0</sup>	34'	52.2"	244	2.5	241.50
2	106 <sup>0</sup>	39'	14.4"	6 <sup>0</sup>	34'	53.8"	249	2.2	246.80
3	106 <sup>0</sup>	39'	16.1"	6 <sup>0</sup>	34'	55.6"	246	2.3	243.70
4	106 <sup>0</sup>	39'	16.1"	6 <sup>0</sup>	34'	56.8"	248	1.7	246.30
5	106 <sup>0</sup>	39'	16.6"	6 <sup>0</sup>	34'	57.3"	245	2.2	242.80
6	106 <sup>0</sup>	39'	17.5"	6 <sup>0</sup>	34'	56.6"	245	2.2	242.80
7	106 <sup>0</sup>	39'	21.2"	6 <sup>0</sup>	34'	21.2"	246	8.0	238.00
8	106 <sup>0</sup>	39'	21.9"	6 <sup>0</sup>	34'	55.6"	249	3.0	246.00
9	106 <sup>0</sup>	39'	21.5"	6 <sup>0</sup>	34'	53.3"	246	4.0	242.00
10	106 <sup>0</sup>	39'	21.2"	6 <sup>0</sup>	34'	51.4"	243	2.5	240.50
11	106 <sup>0</sup>	39'	16.9"	6 <sup>0</sup>	34'	49.7"	246	3.2	242.80
12	106 <sup>0</sup>	39'	16.8"	6 <sup>0</sup>	34'	49.1"	243	3.0	240.00
13	106 <sup>0</sup>	39'	14.2"	6 <sup>0</sup>	34'	49.3"	243	2.0	241.00

### Hidrogeologi Daerah Studi

Airtanah dipisahkan menjadi airtanah tertekan dan airtanah tidak tertekan. Airtanah tidak tertekan adalah airtanah yang terdapat pada akuifer tidak tertekan (*unconfined akuifer*) yang di bagian bawahnya dibatasi oleh lapisan kedap air dan bagian atasnya tidak ditutupi lapisan kedap air melainkan oleh muka preatik bertekanan satu atmosfer (sama dengan tekanan udara). Sementara itu, airtanah tertekan adalah airtanah yang terdapat pada akuifer tertekan (*confined akuifer*) yang bagian bawah dan atasnya dibatasi oleh lapisan kedap air.

### Airtanah Dangkal

Berdasarkan Peta Hidrogeologi Permukaan Lembar Bogor, wilayah studi dengan sumur yang mempunyai potensi debit kurang dari 1 liter/detik. Kondisi akuifer melalui ruang antar butiran, umumnya melampar di daerah perbukitan dan setempat di daerah dataran. Umumnya dimanfaatkan melalui sumur dengan diameter 1 m. Wilayah studi memiliki beberapa lapisan akuifer yaitu pasir lempungan dan lempung pasir dengan ketebalan total akuifer berkisar antara 3 - 10 m, berdasarkan Tabel 1. konduktivitas hidroliknya berkisar antara 3 sampai 7 m/hari dengan kapasitas jenis 20.57 - 23.83 m<sup>2</sup>/hari. Keterdapatannya airtanah dangkal dapat ditemukan pada kisaran antara 2 - 14 m bawah permukaan tanah setempat.

Berdasarkan hasil survey kedalaman airtanah bebas (airtanah dangkal) yang dilakukan di sekitar wilayah studi, kedalaman airtanah berkisar antara 2-8 m di bawah muka tanah (bmt) setempat. Sumur dengan lokasi yang berdekatan dan dengan eksploitasi yang besar lebih cenderung memiliki kedalaman yang lebih tinggi dari pada sumur lainnya. Hal itu disebabkan eksploitasi debit yang besar akan menimbulkan penurunan airtanah yang besar pula. Letak dan tinggi muka airtanah di daerah studi ditunjukkan pada Tabel 1.

### Airtanah Dalam

Berdasarkan Peta Hidrogeologi Dalam Lembar Bogor, wilayah studi dengan sumur yang mempunyai potensi debit kurang dari 5 liter/detik. Kondisi akuifer melalui ruang antar butiran antartanah melalui rengkahan saluran pelarutan yang terdiri dari endapan vulkanik muda. Ketebalan akuifer berkisar antara 1 - 10 m, konduktivitas hidroliknya berkisar antara 0.8 sampai 36.4 m/hari dengan kapasitas jenis 6.91 - 26.78 m<sup>2</sup>/hari, dengan kedalaman sumur 70 - 150 m bmt. Aliran airtanah diduga berasal dari Gunung Salak sebagai daerah imbuhan airtanah. Kondisi hidrogeologi dalam disajikan pada Gambar 4.

### Identifikasi Akuifer dan Interpretasi Batuan

Dari hasil interpretasi pendugaan geolistrik sebanyak 10 (sepuluh) titik duga setelah dikorelasikan dengan data geologi dan hidrogeologi setempat, di daerah penyelidikan pendugaan geolistrik ini bertahanan jenis 3 - 400  $\Omega$ m. Berdasarkan kisaran harga tahanan jenis tersebut secara umum dapat dikelompokkan dengan berdasarkan perbedaan harga jenis pada Tabel 2.

Untuk mendapatkan gambaran yang jelas mengenai keadaan lapisan batuan bawah tanah secara vertikal maka dapat dibuat gambar penampang tegak tahanan jenis masing-masing dari titik duga geolistrik. Hasil interpretasi geolistrik pada penampang 1 (satu) tahanan jenis.

Berdasarkan hasil intersepsi geolistrik secara kuantitatif yang dikorelasikan dengan data geologi dan data hidrogeologi setempat, maka diperoleh beberapa perbedaan tahanan jenis yang ditafsirkan sebagai perubahan lapisan batuan.

### Penampang Tegak Tahanan Jenis GL1

Penampang tegak tahanan jenis pada GL 1 terdiri dari 8 kontras tahanan jenis secara vertikal yang dapat ditafsir menjadi 5 (lima) jenis lapisan. Kelima kontras

Tabel 2. Dugaan Tahanan Jenis Wilayah Studi.

Tahanan Jenis	Perkiraan Litologi	Sifat Hidrogeologi
12-35 om	Tanah penutup	Permeabilitas rendah
8-30 om	Lempung pasir	Akuifer
0.1-25 om	Lempung	Nir akuifer
20-45 om	Pasir lempungan	Akuifer
> 50 om	Tuf batu keras	Batuan kering

tahanan tersebut sebagai lima lapisan batuan yang berbeda tahanan sifat fisiknya, dimana sifat fisiknya dapat diuraikan sebagai berikut:

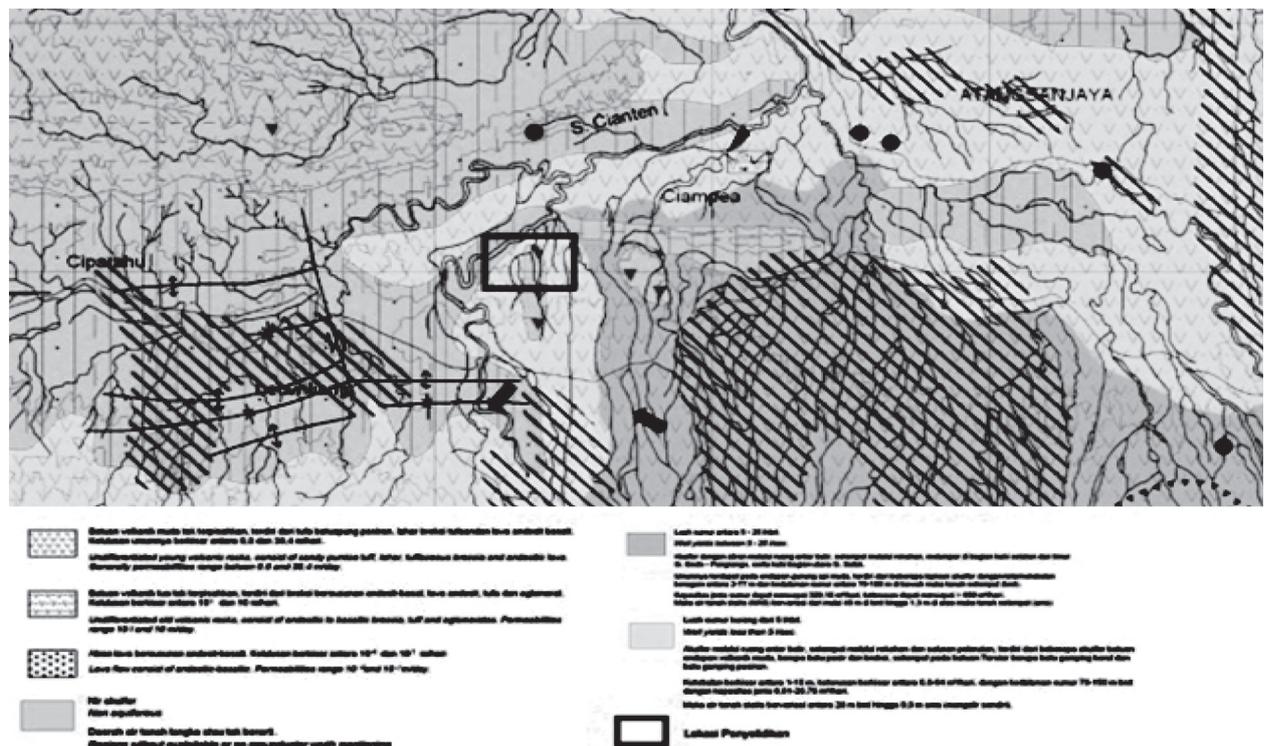
- Kontras tahanan jenis pertama: merupakan tahanan jenis tanah penutup dengan tahanan jenis sebesar 25.61  $\Omega$ m. Lapisan tanah penutup ini setebal 2 m
- Kontras tahanan jenis kedua: bertahanan jenis 15.07  $\Omega$ m, ditafsir sebagai lapisan lempung pasir dengan ketebalan mencapai 10 m. Kedalaman akuifer ini diperkirakan mencapai 13 m bmt.
- Kontras tahanan jenis ketiga: bertahanan jenis sebesar 0.7  $\Omega$ m. Lapisan ini ditafsir sebagai lapisan lempung yang bersifat nir akuifer. Lapisan ini memiliki ketebalan mencapai 1 m dengan kedalaman mencapai 14 m bmt.
- Kontras tahanan jenis keempat: bertahanan jenis 16 - 39.43  $\Omega$ m yang ditafsir sebagai lempung pasir (diduga akuifer semi tertekan) dengan ketebalan mencapai 40 m. Semakin ke bawah lapisan semakin kering dengan tahanan jenis semakin besar.

- Kontras tahanan jenis kelima: bertahanan jenis sebesar 12 - 15.44  $\Omega$ m. Lapisan ini diduga sebagai lapisan lempung pasir (diduga akuifer dalam. Kedalaman ini diduga kedalaman lebih 70 m bmt.

**Penampang Tegak Tahanan Jenis GL2**

Penampang tegak tahanan jenis pada GL 2 terdiri dari 7 kontras tahanan jenis secara vertikal yang dapat ditafsir menjadi 5 (lima) jenis lapisan batuan yang berbeda tahanan sifat fisiknya, dimana sifat fisiknya dapat diuraikan sebagai berikut:

- Kontras tahanan jenis pertama: merupakan tahanan jenis tanah penutup dengan tahanan jenis sebesar 17 - 62.21  $\Omega$ m. Lapisan tanah penutup ini setebal 7 m
- Kontras tahanan jenis kedua: bertahanan jenis 21.15  $\Omega$ m, ditafsir sebagai lapisan lempung pasir yang diduga sebagai akuifer bebas dengan ketebalan mencapai 6 m. Kedalaman akuifer ini diperkirakan mencapai 13 m bmt.
- Kontras tahanan jenis ketiga: bertahanan jenis sebesar 14 - 14.37  $\Omega$ m. Lapisan ini ditafsir sebagai lapisan lempung dengan permeabilitas yang rendah (nir akuifer). Lapisan ini memiliki ketebalan mencapai 50 m dengan kedalaman mencapai 60 m bmt.
- Kontras tahanan jenis keempat: bertahanan jenis 15.67  $\Omega$ m yang ditafsir sebagai lempung pasir dengan ketebalan 30 m yang diduga sebagai akuifer dalam/tertekan (*confined aquifer*). Batas bawah lapisan ini mencapai 90 m bmt.
- Kontras tahanan jenis kelima: bertahanan jenis sebesar 13.68  $\Omega$ m. Lapisan ini ditafsir sebagai lapisan lempung yang diduga lapisan nir akuifer.



Gambar 4. Peta Hidrogeologi Daerah Studi.

### Penampang Tegak Tahanan Jenis GL3

Penampang tegak tahanan jenis pada GL 3 terdiri dari 7 kontras tahanan jenis secara vertikal yang dapat ditafsir menjadi 5 (lima) jenis lapisan batuan yang berbeda tahanan sifat fisiknya, dimana sifat fisiknya dapat diuraikan sebagai berikut:

- Kontras tahanan jenis pertama: merupakan tahanan jenis tanah penutup dengan tahanan jenis sebesar 23.92  $\Omega$ m. Lapisan tanah penutup ini setebal 3 m
- Kontras tahanan jenis kedua: bertahanan jenis 0.33 - 1.67  $\Omega$ m, ditafsir sebagai lapisan lempung diiduga nir akuifer dengan ketebalan mencapai 1 m. Kedalaman akuifer ini diperkirakan mencapai 4 m bmt.
- Kontras tahanan jenis ketiga: bertahanan jenis sebesar 69.28  $\Omega$ m. Lapisan ini ditafsir sebagai lapisan tuf breksi yang diduga akuifer dangkal dengan potensi yang rendah. Lapisan ini memiliki ketebalan mencapai 15 m dengan kedalaman mencapai 18.24 m bmt.
- Kontras tahanan jenis keempat: bertahanan jenis 10.93  $\Omega$ m yang ditafsir sebagai breksi lempung diduga lapisan nir akuifer dengan ketebalan 20 m. Lapisan ini mencapai kedalaman 55 m bmt
- Kontras tahanan jenis kelima: bertahanan jenis sebesar 18 - 19.37  $\Omega$ m. Lapisan ini ditafsir sebagai lapisan lempung lempung pasiran yang diduga sebagai akuifer dalam (*confined aquifer*). Kedalaman lapisan ini diperkirakan lebih dari 60 m bmt.

### Penampang Tegak Tahanan Jenis GL4

Penampang tegak tahanan jenis pada GL 4 terdiri dari 7 (tujuh) kontras tahanan jenis secara vertikal yang dapat ditafsir menjadi 5 (lima) jenis lapisan batuan yang berbeda tahanan sifat fisiknya, dimana sifat fisiknya dapat diuraikan sebagai berikut:

- Kontras tahanan jenis pertama: merupakan tahanan jenis tanah penutup dengan tahanan jenis sebesar 65.64  $\Omega$ m. Lapisan tanah penutup ini setebal 1 m.
- Kontras tahanan jenis kedua: bertahanan jenis 3.8  $\Omega$ m, ditafsir sebagai lapisan lempung dengan ketebalan mencapai 2 m. Kedalaman lapisan ini diperkirakan mencapai 3 m bmt.
- Kontras tahanan jenis ketiga: bertahanan jenis sebesar 29.65  $\Omega$ m. Lapisan ini ditafsir sebagai lapisan halus yang diduga lapisan akuifer bebas. Lapisan ini memiliki ketebalan mencapai 25 m dengan kedalaman mencapai 32.5 m bmt.
- Kontras tahanan jenis keempat: bertahanan jenis 2.5  $\Omega$ m yang ditafsir sebagai breksi pasiran dengan ketebalan 50 m dengan kedalaman mencapai 80 m bmt.
- Kontras jenis kelima: tahanan jenis sebesar 12 - 17.33  $\Omega$ m yang ditafsir sebagai lapisan lempung-lempung pasiran Lapisan ini diduga sebagai akuifer dalam (*confined aquifer*) yang mencapai kedalaman lebih dari 80 m bmt.

### Penampang Tegak Tahanan Jenis GL5

Penampang tegak tahanan jenis pada GL 5 terdiri dari 7 (tujuh) kontras tahanan jenis secara vertikal yang dapat ditafsir menjadi 4 (empat) jenis lapisan batuan yang berbeda tahanan sifat fisiknya, dimana sifat fisiknya dapat diuraikan sebagai berikut:

- Kontras tahanan jenis pertama: merupakan tahanan jenis tanah penutup dengan tahanan jenis sebesar 15.30  $\Omega$ m. Lapisan tanah penutup ini setebal 4 m.
- Kontras tahanan jenis kedua: bertahanan jenis 71 - 74  $\Omega$ m, ditafsir sebagai lapisan pasir dengan ketebalan mencapai 15 m. Kedalaman lapisan ini diperkirakan mencapai 20 m bmt.
- Kontras tahanan jenis ketiga: bertahanan jenis sebesar 2 - 6  $\Omega$ m. Lapisan ini ditafsir sebagai lapisan lempung yang diduga lapisan nir akuifer. Lapisan ini memiliki ketebalan mencapai 28 m dengan kedalaman mencapai 70 m bmt.
- Kontras tahanan jenis keempat: bertahanan jenis 17 - 42  $\Omega$ m yang ditafsir sebagai lempung pasiran - pasir lempungan dengan kedalaman lebih dari 70 m bmt.

### Penampang Tegak Tahanan Jenis GL6

Penampang tegak tahanan jenis pada GL 6 terdiri dari 7 kontras tahanan jenis secara vertikal yang dapat ditafsir menjadi 5 (lima) jenis lapisan batuan yang berbeda tahanan sifat fisiknya, dimana sifat fisiknya dapat diuraikan sebagai berikut:

- Kontras tahanan jenis pertama: merupakan tahanan jenis tanah penutup dengan tahanan jenis sebesar 16.5  $\Omega$ m. Lapisan tanah penutup ini setebal 2.8 m
- Kontras tahanan jenis kedua: bertahanan jenis 0.51 - 5.22  $\Omega$ m, ditafsir sebagai lapisan pasir (diduga akuifer bebas) dengan ketebalan mencapai 5 m. Kedalaman akuifer ini diperkirakan mencapai 8 m bmt.
- Kontras tahanan jenis ketiga: bertahanan jenis sebesar 24 - 50  $\Omega$ m. Lapisan ini ditafsir sebagai lempung pasiran - pasir yang diduga lapisan akuifer bebas. Lapisan ini memiliki ketebalan mencapai 30 m dengan kedalaman mencapai 50 m bmt.
- Kontras tahanan jenis keempat: bertahanan jenis 13.7  $\Omega$ m yang ditafsir sebagai lempung diduga sebagai nir akuifer dengan ketebalan 24 m.
- Kontras tahanan jenis kelima: bertahanan jenis sebesar 14.56  $\Omega$ m. Lapisan ini diduga sebagai lapisan batu lempung pasiran (diduga akuifer dalam). Kedalaman ini diduga kedalaman lebih 70 m bmt.

### Penampang Tegak Tahanan Jenis GL7

Penampang tegak tahanan jenis pada GL 7 terdiri dari 7 kontras tahanan jenis secara vertikal yang dapat ditafsir menjadi 4 (empat) jenis lapisan batuan yang berbeda tahanan sifat fisiknya, dimana sifat fisiknya dapat diuraikan sebagai berikut:

- Kontras tahanan jenis pertama: merupakan tahanan jenis tanah penutup dengan tahanan jenis sebesar 20.46  $\Omega$ m. Lapisan tanah penutup ini setebal 2.84 m
- Kontras tahanan jenis kedua: bertahanan jenis 43  $\Omega$ m, ditafsir sebagai lapisan pasir – breksi pasir yang diduga sebagai akuifer bebas dengan ketebalan mencapai 12 m. Kedalaman akuifer ini diperkirakan mencapai 12 m bmt.
- Kontras tahanan jenis ketiga: bertahanan jenis sebesar 5 – 12  $\Omega$ m. Lapisan ini ditafsir sebagai lapisan lempung yang diduga lapisan nir akuifer. Lapisan ini memiliki ketebalan mencapai 38 m dengan kedalaman mencapai 50 m bmt.
- Kontras tahanan jenis keempat: bertahanan jenis 20 - 36  $\Omega$ m yang ditafsir sebagai lempung pasir - pasir dengan ketebalan lebih dari 40 m. Batas bawah lapisan ini mencapai 50 m bmt.

#### Penampang Tegak Tahanan Jenis GL8

Penampang tegak tahanan jenis pada GL 8 terdiri dari 7 kontras tahanan jenis secara vertikal yang dapat ditafsir menjadi 5 (lima) jenis lapisanbatuan yang berbeda tahanan sifat fisiknya, dimana sifat fisiknya dapat diuraikan sebagai berikut:

- Kontras tahanan jenis pertama: merupakan tahanan jenis tanah penutup dengan tahanan jenis sebesar 15.5  $\Omega$ m. Lapisan tanah penutup ini setebal 2.84 m
- Kontras tahanan jenis kedua: bertahanan jenis 3.28  $\Omega$ m, ditafsir sebagai lapisan lempung dengan ketebalan mencapai 5.38 m. Kedalaman akuifer ini diperkirakan mencapai 9 m bmt.
- Kontras tahanan jenis ketiga: bertahanan jenis sebesar 65  $\Omega$ m. Lapisan ini ditafsir sebagai lapisan pasir yang diduga akuifer dangkal. Lapisan ini memiliki ketebalan mencapai 18 m dengan kedalaman mencapai 28 m bmt.
- Kontras tahanan jenis keempat: bertahanan jenis 12 - 21.63  $\Omega$ m yang ditafsir lempung-lempung pasir dengan sifat nir akuifer dengan ketebalan mencapai 50 m. Lapisan ini mencapai kedalaman 80 m bmt
- Kontras tahanan jenis kelima: bertahanan jenis sebesar 16  $\Omega$ m. Lapisan ini ditafsir sebagai lapisan tuf/lempung – lempung pasir. Kedalaman lapisan ini diperkirakan lebih dari 80 m bmt.

#### Penampang Tegak Tahanan Jenis GL9

Penampang tegak tahanan jenis pada GL 9 terdiri dari 6 (enam) kontras tahanan jenis secara vertikal yang dapat ditafsir menjadi 5 (lima) jenis lapisanbatuan yang berbeda tahanan sifat fisiknya, dimana sifat fisiknya dapat diuraikan sebagai berikut:

- Kontras tahanan jenis pertama: merupakan tahanan jenis tanah penutup dengan tahanan jenis sebesar 136  $\Omega$ m. Lapisan tanah penutup ini setebal 1.12 m
- Kontras tahanan jenis kedua: bertahanan jenis 11 -12.8  $\Omega$ m, ditafsir sebagai lapisan lempung –

lempung pasir dengan ketebalan mencapai 9 m. Kedalaman lapisan ini diperkirakan mencapai 18 m bmt.

- Kontras tahanan jenis ketiga: bertahanan jenis sebesar 2.69  $\Omega$ m. Lapisan ini ditafsir sebagai lapisan lempung dengan sifat nir akuifer. Lapisan ini memiliki ketebalan mencapai 13.81 m dengan kedalaman mencapai 24 m bmt.
- Kontras tahanan jenis keempat: bertahanan jenis 17.76  $\Omega$ m yang ditafsir sebagai lempung pasir dengan ketebalan 23 m dengan kedalaman mencapai 55 m bmt
- Kontras jenis kelima: tahanan jenis sebesar 4.26  $\Omega$ m yang ditafsir sebagai tuf/lempung.

#### Penampang Tegak Tahanan Jenis GL10

Penampang tegak tahanan jenis pada GL 10 terdiri dari 6 (enam) kontras tahanan jenis secara vertikal yang dapat ditafsir menjadi 5 (lima) jenis lapisanbatuan yang berbeda tahanan sifat fisiknya, dimana sifat fisiknya dapat diuraikan sebagai berikut:

- Kontras tahanan jenis pertama: merupakan tahanan jenis tanah penutup dengan tahanan jenis sebesar 17.94  $\Omega$ m. Lapisan tanah penutup ini setebal 1.83 m.
- Kontras tahanan jenis kedua: bertahanan jenis 6.31  $\Omega$ m, ditafsir sebagai lapisan lempung dengan ketebalan mencapai 10 m. Kedalaman lapisan ini diperkirakan mencapai 16 m bmt.
- Kontras tahanan jenis ketiga: bertahanan jenis sebesar 17.74  $\Omega$ m. Lapisan ini ditafsir sebagai lapisan lempung pasir akuifer bebas. Lapisan ini memiliki ketebalan mencapai 13 m dengan kedalaman mencapai 40 m bmt.
- Kontras tahanan jenis keempat: bertahanan jenis 7.3  $\Omega$ m yang ditafsir sebagai lempung dengan ketebalan 40 m. Batas bawah kedalaman lebih dari 80 m bmt.
- Kontras tahanan jenis kelima: bertahanan jenis 13.46  $\Omega$ m yang diduga sebagai lempung pasir. Batas atas lapisan ini diperkirakan lebih dari 70 m bmt.

#### Karakteristik dan Sebaran Akuifer

Hasil tahanan jenis batuan dikelompokkan dalam tahanan jenis dengan rentang nilai yang sama menjadi lapisan batuan yang sama. Lempung pasir dan pasir lempungan adalah batuan penyusun akuifer yang lebih dominan. Sebaran akuifer disajikan pada Gambar 5.

Kedalaman akuifer tertekan (*confined aquifer*) diperkirakan pada kedalaman lebih dari 60 m di bawah muka tanah (bmt) setempat. Ketebalan akuifer diperkirakan 30 – 50 m. Batuan penyusun akuifer tertekan memiliki konduktivitas hidrolik yang lebih baik dari akuifer bebas. Konduktivitas hidrolik diperkirakan 3 – 40 m/hari.

Hasil *cross section* utara – selatan tahanan jenis batuan menunjukkan sebaran akuifer yang dibatasi oleh lapisan impermeable berupa lapisan lempung.

Lapisan tersebut mempunyai tahanan jenis lebih kecil dari 13  $\Omega$ m dan berada pada kedalaman 17 m bmt.

### Potensi Airtanah

Potensi airtanah di sekitar CV. Mitra Makmur Industri dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Darcy. Airtanah di daerah studi diduga berasal dari arah selatan yaitu Kabupaten Bogor bagaian selatan ke utara yang mengalir secara gravitasi melalui akuifer. Dengan menghitung faktor konduktivitas hidrolik, penampang akuifer dan kemiringan hidrolik dapat ditentukan potensi airtanah di daerah tersebut.

### Airtanah Bebas

Berdasarkan hasil geolistrik, airtanah bebas (airtanah dangkal) berada pada kedalaman 3 sampai 30 m bawah muka tanah setempat. Ketebalan akuifer dangkal rata-rata adalah 10 m. Akuifer terbatas secara hidrologis oleh Sungai Cianten dan Sungai Ciampea yang berjarak 5000 m dengan jenis akuifer lempung pasir dan pasir lempungan. Konduktivitas hidrolik rata-rata 2.5 m/hari. Berdasarkan Tabel 1, kemiringan hidrolik daerah studi adalah 0.0175 sehingga didapatkan potensi airtanah 3,829  $m^3$ /hari atau setara 38 liter/detik. Potensi debit sumur diperkirakan kurang dari 1 liter/detik.

### Airtanah Dalam

Airtanah dalam terletak pada akuifer yang tertekan dengan kedalaman lebih dari 60 m bmt. Ketebalan akuifer mencapai 40 m. Akuifer dibatasi oleh satuan batuan nir akuifer dengan jarak 17.6 Km dengan jenis akuifer pasir, breksi pasir, pasir lempungan dan lempung pasir dengan konduktivitas hidrolik rata-rata 0.8 - 36.4 m/hari. Kemiringan hidrolik daerah studi adalah 0.017 sehingga didapatkan potensi airtanah dalam adalah 18,947.37  $m^3$ /hari atau setara 219.30 liter/detik.

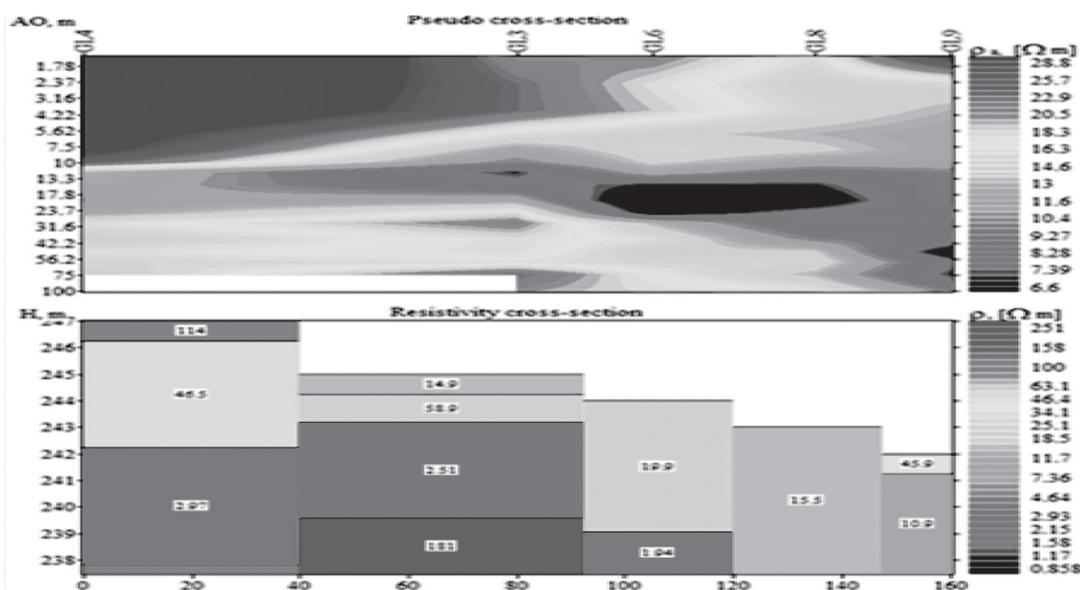
## Simpulan

Simpulan yang didapat dari penelitian adalah:

1. Airtanah dangkal/airtanah bebas pada kawasan industri air minum dalam kemasan Cemplang terletak pada lapisan lempung pasir dan pasir lempungan dengan potensi airtanah 3,829  $m^3$ /hari atau setara 38 liter/detik. Potensi debit sumur diperkirakan kurang dari 1 liter/detik. Potensi airtanah dalam adalah 18,947.37  $m^3$ /hari atau setara 219.30 liter/detik. Luah sumur diperkirakan kurang 5 liter/detik.
2. Potensi airtanah dangkal dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan domestik, sedangkan potensi airtanah dalam dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan industri air mineral dalam kemasan.

## Daftar Pustaka

- Dobrin, M.B., 1998, Introduction to Geophysical Prospecting, edisi ke-4, Mc Graw Hill Book, Co., Singapore.
- Fetter, C.W. 1994. *Applied Hydrogeology*. 3<sup>rd</sup> ED. Merrill Publishing Company, Ohio
- Kashef, A.A.I. 1987. *Groundwater Engineering*, Mc Graw - Hill Book Co, Singapore.
- Kusnaedi. 1996. *Sumur Resapan untuk Pemukiman Perkotaan dan Pedesaan*. Penebar Swadaya, Jakarta
- Mays, L.W. dan Tung Y.K. 1992. *Hydrosystem Engineering & Managenment*, Mc Graw-Hill, Singapore
- Mays, L.W. 2005. *Water Resources Engineering*. Second Edition. John Wiley & Sons, New York
- Todd, DK. 1995. *Groundwater Hydrology*. Second Edition. John Wiley & Sons, Singapore.



Gambar 5. Penampang Melintang (*Crosssection*)Tahanan JenisUtara – Selatan.

*Technical Paper*

## **Pengaruh Jenis Kemasan dan Penyimpanan Suhu Rendah Terhadap Perubahan Kualitas Cabai Merah Keriting Segar**

### *Effect of Different Packaging and Low Temperature Storage on the Quality Changes of Fresh Red Curly Chili*

Asmeri Lamona, Program Studi Teknologi Pascapanen, Institut Pertanian Bogor.  
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.

Y. Aris Purwanto, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.  
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680. Email: arispurwanto@gmail.com

Sutrisno, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.  
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

#### **Abstract**

*During postharvest handling of red curly chili, transportation and temporary storage are critical step due to high losses. The objectives of this study were to analyze the effect of packaging material and low temperature storage on the quality changes of fresh red curly chili and to determine the optimum combination of packaging material and temperature storage. After being harvested, samples of red curly chili were sorted and packed in different packaging material of 3 kg and transported to the laboratory within 5 hours at ambient temperature condition. During storage period, the visual appearance, change in respiration rate, weight loss, firmness and color were measured. Waring, plastic sack and polipropilene plastic were selected as packaging materials, temperature of 10, 15°C and ambient temperature were set as storage temperature. The results show that packaging material and temperature storage influenced the respiration rate, weight loss and firmness of red curly chili. Lightness ( $L^*$ ) correlated only with packaging material. The interaction between packaging material and temperature storage has only correlation with weight loss. The highest losses of  $21.06 \pm 0.4$  was resulted for the combination of waring packaging at room temperature. The lowest losses of  $0.12\% \pm 0.1$  was found for the combination of polipropilene plastic packaging at 10°C. The longest storage period up to 29 days was found for those red curly chili stored at combination of polipropilene plastic packaging at 10°C.*

**Keywords:** red curly chili, packaging, low temperature storage, shelflife, weight loss

#### **Abstrak**

Proses penanganan pasca panen cabai merah keriting selama transportasi dan penyimpanan sementara merupakan permasalahan yang kritis karena susut yang tinggi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh jenis kemasan dan penyimpanan suhu rendah terhadap kualitas cabai merah keriting segar serta menentukan kombinasi jenis kemasan dan suhu penyimpanan yang optimum. Setelah dipanen dan dilakukan sortasi, cabai merah keriting dikemas dalam kemasan jala plastik, karung plastik dan plastik film polipropilen (PP) dengan berat sampel 3 kg per kemasan. Selanjutnya dilakukan pengiriman dari rumah kemasan ke Laboratorium dengan lama pengangkutan 5 jam pada kondisi suhu udara lingkungan. Proses penyimpanan di Laboratorium dilakukan pada suhu 10°C, 15°C dan suhu ruang. Selama penyimpanan, dilakukan pengamatan secara visual dan pengukuran respirasi, susut bobot, kekerasan dan warna. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa jenis kemasan dan suhu penyimpanan berpengaruh nyata terhadap laju respirasi, susut bobot dan kekerasan sedangkan tingkat kecerahan ( $L^*$ ) hanya dipengaruhi oleh jenis kemasan. Interaksi antara jenis kemasan dan suhu penyimpanan hanya berpengaruh nyata terhadap susut bobot. Nilai susut bobot paling tinggi ( $21.06\% \pm 0.4$ ) dihasilkan dari penyimpanan cabai keriting dengan kemasan jala plastik pada suhu ruang. Sedangkan susut paling rendah ( $0.12\% \pm 0.1$ ) dihasilkan dari penyimpanan dalam plastik film PP pada suhu 10°C. Cabai keriting yang disimpan dengan menggunakan plastik film PP dan pada suhu penyimpanan 10°C dapat mempertahankan kualitas cabai sampai 29 hari.

**Kata Kunci:** cabai merah keriting, kemasan, penyimpanan suhu rendah, umur simpan, susut bobot

*Diterima: 11 Juni 2015; Disetujui: 4 September 2015*

## Pendahuluan

Cabai merah keriting merupakan produk hortikultura yang mudah rusak sehingga tidak dapat disimpan untuk waktu yang lama. Jika tidak didistribusikan segera, cabai akan mengalami kerusakan baik kualitas maupun kuantitas. Secara fisiologi, setelah dipanen cabai merah keriting tetap melakukan kegiatan metabolisme seperti respirasi dimana laju respirasi ini tergantung dari kondisi lingkungannya. Aktivitas respirasi ini tidak bisa dihentikan tetapi bisa dikurangi dengan cara salah satunya melalui penyimpanan pada suhu rendah yang dikombinasikan dengan pengemasan yang tepat. Walker (2010) menyatakan bahwa penggunaan ruang pendingin cocok untuk penyimpanan cabai karena dapat mempertahankan kesegaran produk untuk waktu yang lebih lama. Kondisi optimum penyimpanan cabai merah segar berada di antara 5 sampai 10°C dengan kelembaban relatif 95% (Thompson 2002). Pantastico (1986) menyatakan bahwa untuk penyimpanan cabai merah di daerah tropis sebaiknya dilakukan pada suhu 5.6-7.2°C dengan kelembaban 90-95% agar cabai dapat bertahan selama dua minggu. Penyimpanan pada suhu yang lebih rendah dapat menyebabkan *chilling injury* yang akan menyebabkan produk menjadilunak, munculnya bintik dan lubang pada permukaan kulit dan sangat rentan terhadap kebusukan (Purwanto *et al.* 2005; 2011). Penggunaan suhu rendah yang sesuai dapat mempertahankan kesegaran cabai 2-3 minggu (Purwanto *et al.* 2013).

Selain penyimpanan suhu rendah, pengemasan juga dapat mempengaruhi masa simpan cabai. Dengan kandungan air yang cukup tinggi (55-85 %) pada saat panen menyebabkan cabai merah memiliki tingkat kerusakan yang dapat mencapai 40% selama transportasi dan penyimpanan. Menurut Walker (2010), penyimpanan cabai dengan kotak akan menghilangkan bobot sekitar 3.5% pada suhu 24°C setiap harinya, namun hanya 0.5% jika menggunakan suhu penyimpanan 8°C, sedangkan jika menggunakan kemasan plastik polietilen (PE), kehilangan bobotnya lebih rendah. Susut bobot setelah 1 minggu penyimpanan hanya mencapai 0.3% pada penyimpanan suhu 24°C dan 0.2% pada suhu 8°C. Zaulia *et al.* (2006) melaporkan bahwa penggunaan plastik jenis polipropilen (PP) dapat mempertahankan mutu dan kesegaran cabai potong sampai 4 minggu dengan suhu penyimpanan 2°C. Purwanto *et al.* (2013) pada hasil penelitiannya menyatakan bahwa penggunaan kemasan karton dapat mempertahankan kualitas cabai lebih baik dibandingkan kemasan jala dan karung plastik pada suhu 10°C sampai 17 hari penyimpanan. Pangidoan *et al.* (2014) pada hasil penelitiannya menambahkan bahwa penggunaan kemasan karton dan keranjang memberikan hasil yang sama terhadap perubahan kualitas cabai selama transportasi dari pendistribusiannya.

Secara praktek di lapangan, petani dan pedagang menggunakan berbagai macam jenis kemasan untuk proses pengangkutan dan penyimpanan cabai merah keriting. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh jenis kemasan yang dikombinasikan dengan perlakuan suhu rendah untuk penyimpanan sementara terhadap perubahan kualitas cabai keriting dan menentukan kombinasi jenis kemasan dan suhu penyimpanan yang optimum.

## Bahan dan Metode

### Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah cabai merah keriting segar (Cabai Hibrida - TM 99) yang diambil langsung dari petani di daerah dataran tinggi Pasirwangi-Garut pada musim panen bulan November. Cabai berasal dari kebun yang sama dengan penanganan yang sama mulai dari benih, pemupukan, pemanenan sampai pengangkutan hasil panen dari lapang. Cabai dipanen mulai pukul 07.00 WIB dan dibawa ke tempat sortasi sekitar pukul 10.00 WIB. Cabai yang baru dipanen diberi perlakuan pendinginan pendahuluan (*pre-cooling*) selama  $\pm 2$  jam dengan cara dihamparkan pada tempat yang terlindung dari sinar matahari sambil dilakukan sortasi untuk memisahkan bagian yang tidak layak seperti patah/memar, terkena hama/penyakit dan busuk. Cabai yang dipilih memiliki keseragaman warna dan bebas dari penyakit serta kerusakan mekanis maupun busuk. Cabai dimasukkan ke dalam kemasan jala plastik (sebagai kontrol), karung plastik dan plastik film PP dengan kapasitas pengisian masing-masingnya 3 kg. Jenis kemasan yang digunakan pada penelitian ini dipilih berdasarkan kemasan yang umum dipakai oleh petani dan pedagang cabai namun dengan skala ukuran yang lebih kecil. Bahan pengemas plastik berupa jala (*waring*) dan karung (*woven bags*) yang biasa digunakan di pasaran mempunyai ukuran 80x120 cm dengan kapasitas isi  $\pm 40$  kg sedangkan untuk plastik film, beberapa pedagang lebih memilih plastik film yang berukuran 40x60 cm dengan kapasitas isi  $\pm 5$  kg. Untuk penelitian, kemasan yang digunakan rata-rata dengan kapasitas isi  $\pm 3$  kg dengan penyesuaian ukuran kemasan. Kemasan jala plastik yang dipakai berukuran 35x55 cm, karung plastik berukuran 45x75 cm dan kemasan plastik *film* PP berukuran 40x60 cm. Cabai yang sudah dikemas dibawa ke laboratorium menggunakan transportasi darat dengan waktu tempuh  $\pm 5$  jam pada malam hari. Masing-masing kemasan yang berisi cabai disimpan dalam *cool storage* dengan suhu 10°C, 15°C dan suhu ruang (28-32°C). Parameter mutu yang diamati adalah laju respirasi, susut bobot, perubahan nilai kekerasan dan perubahan warna dengan mengukur nilai kecerahan ( $L^*$ ) dan  $^{\circ}$ hue. Pengamatan dilakukan setelah penyimpanan hari ke 1,3 dan 5.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah lemari pendingin (*cold storage*) yang dapat diatur suhunya, cosmotector untuk mengukur konsentrasi gas O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> pada proses respirasi, chromameter CR400 merek Minolta untuk mengukur warna, rheometer CR-300DX untuk mengukur kekerasan, timbangan Mettler PM 4800, *chamber* untuk respirasi berupa toples kaca kapasitas 3310 ml.

**Rancangan Percobaan**

Rancangan percobaan yang digunakan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) secara faktorial yang terdiri dari 2 faktor utama, yaitu jenis kemasan yang terdiri dari jala plastik, karung plastik dan plastik film PP serta faktor suhu penyimpanan yang terdiri suhu 10°C, 15°C dan suhu ruang. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali. Data hasil pengamatan dianalisa secara sidik ragam dengan uji Anova (analisis varians) menggunakan SAS (Versi 9.1.3) dan jika hasil yang didapatkan berbeda nyata maka pengujian dilanjutkan dengan uji *Duncan's New*

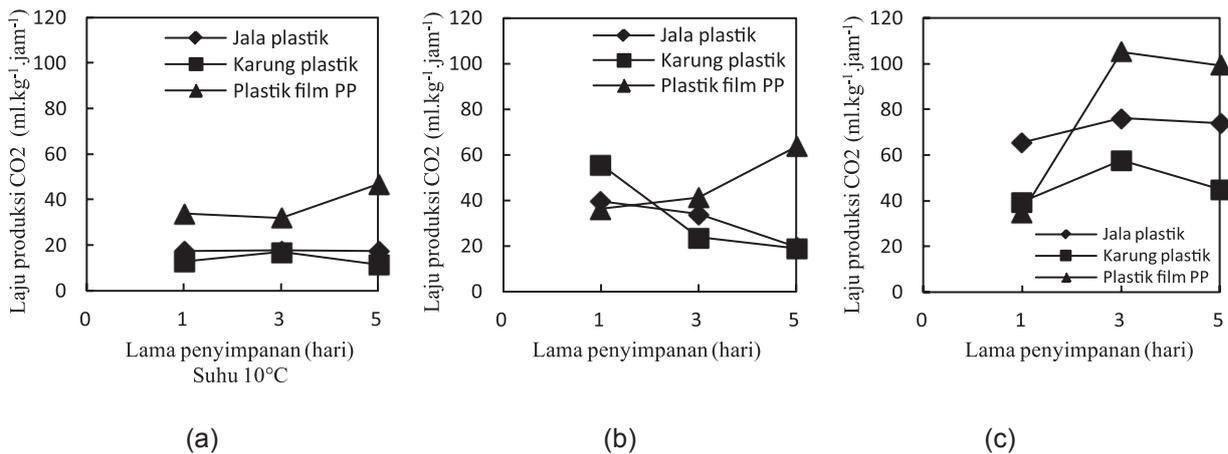
*Multiple Range Test* (DNMRT) pada taraf 5% untuk mengetahui perbedaan nilai tengah.

**Hasil dan Pembahasan**

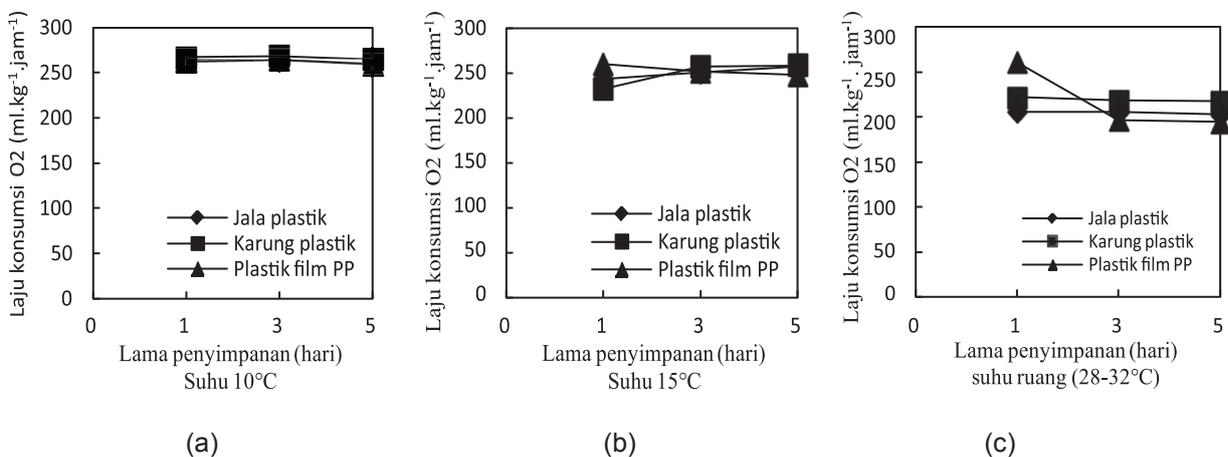
**Laju Respirasi**

Komoditi hortikultura seperti cabai akan terus melakukan proses respirasi walaupun setelah dilakukan pemanenan (Winarno 2002). Laju respirasi sangat dikendalikan oleh suhu. Setiap kenaikan suhu 10°C lajunya akan meningkat dua kali atau tiga kali (hukum Van't Hoff's). Pengukuran laju ini dapat dilakukan dengan menentukan substrat yang hilang, O<sub>2</sub> yang diserap dan CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan serta panas yang dihasilkannya (Pantastico 1986).

Laju produksi CO<sub>2</sub> dan konsumsi O<sub>2</sub> cabai merah keriting yang dihasilkan selama penyimpanan pada beberapa jenis kemasan dan tingkat suhu ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2. Pada Gambar 2 dapat dilihat pola konsumsi O<sub>2</sub> cabai merah selama penyimpanan menurun dan tidak menunjukkan adanya puncak respirasi mulai dari



Gambar 1. Pola laju produksi CO<sub>2</sub> cabai pada penyimpanan (a) suhu 10°C, (b) suhu 15°C dan (c) suhu ruang (28-32°C).



Gambar 2. Pola laju konsumsi O<sub>2</sub> cabai pada penyimpanan (a) suhu 10°C, (b) suhu 5°C dan (c) suhu ruang (28-32°C).

pengukuran hari pertama dan pada Gambar 1 juga menunjukkan terjadinya penurunan jumlah produksi CO<sub>2</sub> kecuali pada penyimpanan suhu ruang. Cabai yang disimpan pada suhu ruang mengalami penurunan jumlah produksi CO<sub>2</sub> dimulai pada hari ke-3 (Gambar 1.c). Hal ini dapat disebabkan oleh cabai yang disimpan pada suhu ruang matang maksimal pada hari ke-3 dan pola produksi CO<sub>2</sub>-nya mengalami penurunan setelah hari ke tiga penyimpanan. Terjadinya penurunan pada pola produksi CO<sub>2</sub> dan konsumsi O<sub>2</sub> serta tidak terjadinya puncak respirasi menunjukkan bahwa cabai merah termasuk jenis sayuran dengan pola respirasi non klimakterik. Winarno (2002) menyatakan pada produk hortikultura golongan non-klimakterik proses respirasinya akan berjalan lambat sehingga tidak terlihat nyata perubahan yang terjadi pada fase pemasakan. Hal ini mengakibatkan beberapa buah non klimakterik termasuk cabai harus dipanen pada saat matang penuh untuk mendapatkan kualitas maksimum dalam hal penerimaan visual (kesegaran, warna dan tidak adanya kebusukan atau kerusakan fisiologis), tekstur (kekerasan, *juiciness* dan kerenyahan), cita rasa dan kandungan nutrisi yang meliputi vitamin, mineral dan serat .

Laju produksi CO<sub>2</sub> cabai pada penyimpanan suhu ruang lebih tinggi dibandingkan suhu 10°C dan 15°C. Laju paling tinggi dihasilkan dari cabai yang disimpan dalam kemasan plastik PP, diikuti jala plastik dan karung plastik. Hal sama juga terjadi pada penyimpanan cabai pada suhu 10°C dan 15°C pada hari yang sama.

Laju produksi CO<sub>2</sub> cabai yang dihasilkan selama penyimpanan berkisar antara 16.24±1.95 sampai 73.93±11.70 ml.kg<sup>-1</sup>.jam<sup>-1</sup> dan laju konsumsi O<sub>2</sub> cabai yang dihasilkan sekitar 206.20±4.49 sampai 265.90±1.86 ml.kg<sup>-1</sup>.jam<sup>-1</sup>. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penggunaan kemasan dan suhu yang berbeda berpengaruh nyata (P<0.05) terhadap laju produksi CO<sub>2</sub> dan laju konsumsi O<sub>2</sub>, namun intraksi antara keduanya tidak berpengaruh nyata (P>0.05) terhadap laju produksi CO<sub>2</sub> laju konsumsi O<sub>2</sub> cabai selama penyimpanan. Hasil uji lanjut Duncan ( $\alpha=0,05$ ) menunjukkan bahwa laju produksi CO<sub>2</sub> cabai dalam kemasan plastik film PP lebih tinggi dibandingkan jala plastik dan karung plastik dan laju konsumsi O<sub>2</sub> cabai dalam plastik film PP dan karung plastik lebih tinggi dibandingkan cabai dalam kemasan jala plastik. Hal ini dapat disebabkan oleh terperangkapnya panas hasil respirasi cabai dalam kemasan yang mempercepat terjadinya proses respirasi.

Laju respirasi merupakan petunjuk yang baik untuk mengetahui daya simpan produk hasil pertanian. Intensitas respirasi dianggap sebagai ukuran laju jalannya metabolisme sehingga dapat dianggap sebagai petunjuk untuk pengukuran daya simpan. Daya simpan komoditi akan berbanding terbalik dengan laju respirasi atau laju evolusi panasnya. (Pantastico 1986).

### Susut Bobot

Susut bobot dapat dijadikan sebagai indikator penurunan mutu produk hasil pertanian terutama produk hasil hortikultura seperti cabai. Tingginya kandungan air pada cabai segar yang baru dipanen, yaitu sekitar 77.74% menyebabkan produk ini harus segera diberi penanganan agar tidak terjadi kebusukan atau mengalami kekeringan akibat tingginya aktivitas respirasi dan transpirasi yang terjadi pada cabai setelah dipanen. Pemberian kemasan dan penyimpanan pada suhu rendah merupakan bagian dari penanganan pascapanen yang dapat diterapkan untuk menahan penurunan kandungan air cabai merah yang sangat berpengaruh terhadap susut bobot cabai.

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan susut bobot cabai pada semua perlakuan sampai pengamatan hari ke-5. Susut bobot yang tertinggi dihasilkan oleh cabai dalam kemasan jala plastik pada ketiga suhu penyimpanan. Penggunaan jala plastik sebagai pengemas sama halnya dengan penyimpanan terbuka, karena itu susut bobot akibat keluarnya kandungan air cabai dapat terjadi dengan mudah. Selain itu susut juga dapat disebabkan oleh tercecernya cabai selama pemindahan tempat karena besarnya pori-pori kemasan yang dapat meloloskan buah cabai.

Penyimpanan pada suhu rendah dapat memperlambat terjadinya reaksi metabolisme seperti respirasi dan transpirasi. Hasil yang sama didapatkan dari penyimpanan paprika pada beberapa tingkat suhu. Susut bobot dari penyimpanan paprika pada suhu 20°C lebih tinggi dibandingkan paprika yang disimpan pada suhu 14°C dan 8°C dan susut bobot paprika yang disimpan pada suhu 25°C lebih tinggi dibandingkan suhu 10°C (Rao *et al*, 2011). Pada penelitian ini, susut bobot cabai pada penyimpanan suhu 10°C lebih tinggi jika dibandingkan penyimpanan pada suhu 15°C. Hasil tersebut sudah terlihat dari awal penyimpanan sehingga kecil kemungkinan disebabkan oleh terjadinya *chilling injury* yang biasanya terjadi pada penyimpanan produk hortikultura dengan suhu rendah. Gejala *chilling injury* pada cabai ditandai dengan pengkriputan bagian permukaan (Purwanto *et al.*, 2005; 2012), berlubang dan gampang busuk (Walker, 2010), namun pada pengukuran pertama yang dilakukan, kondisi cabai masih normal. Walker (2010) menambahkan bahwa kondisi penyimpanan optimum untuk cabai segar adalah 7-10°C dengan kelembaban relatif 90-95%, sehingga kemungkinan terjadinya *chilling injury* pada penyimpanan suhu 10°C sangat kecil. Faktor lain yang dapat menjadi penyebab tingginya susut bobot pada penyimpanan suhu 10°C adalah rendahnya kelembaban udara (RH) ruang penyimpanan. Pada penelitian ini, kelembaban udara selama penyimpanan 5 hari, untuk ruang penyimpanan suhu 10°C (rata-rata 75.3±9.77%) lebih rendah jika dibandingkan RH ruang penyimpanan suhu 15°C (rata-rata

76.6±13.06%), sehingga keluarnya kandungan air cabai yang disimpan pada suhu 10°C lebih banyak yang menyebabkan susut bobotnya menjadi lebih tinggi. Peningkatan susut bobot biasanya ditandai dengan terjadinya pelayuan dan kekeringan pada bahan yang disimpan. Kehilangan air selama penyimpanan tidak hanya akan menurunkan bobot namun juga dapat menurunkan mutu dan dapat menimbulkan kerusakan. Kehilangan yang hanya sedikit mungkin tidak akan mengganggu tetapi kehilangan yang cukup besar akan menyebabkan pelayuan dan pengriputan.

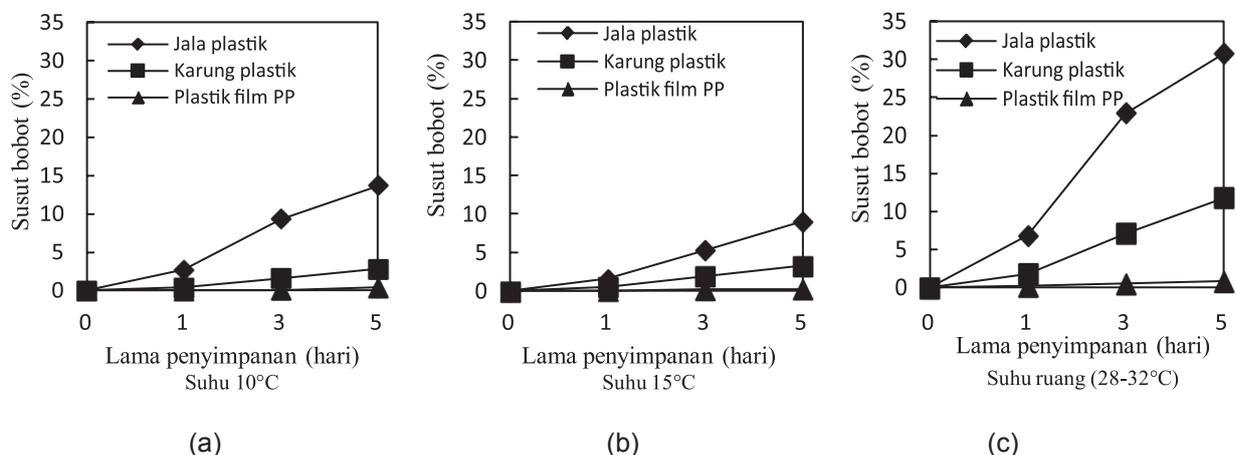
Rata-rata susut bobot cabai yang disimpan dalam tiga jenis kemasan dan suhu yang berbeda berkisar antara 0.13 sampai dengan 21.07%. Hasil analisis sidik ragam ( $\alpha=0.05$ ) menunjukkan bahwa perbedaan jenis kemasan dan suhu penyimpanan serta interaksi antara jenis kemasan dan suhu penyimpanan berpengaruh nyata ( $p<0.05$ ) terhadap susut bobot cabai selama penyimpanan. Hasil uji lanjut Duncan ( $\alpha=0.05$ ) menunjukkan bahwa cabai yang dikemas dengan jala plastik pada penyimpanan suhu ruang lebih tinggi susut bobotnya (21.06%±0.4) dibandingkan cabai dalam kemasan karung plastik dan susut bobot paling rendah didapat dari cabai dalam plastik film PP pada penyimpanan suhu 10°C (0.12%±0.1).

Rendahnya nilai susut bobot cabai dalam kemasan plastik film PP dapat disebabkan oleh sifat bahan pengemas yang mempunyai permeabilitas terhadap uap air yang rendah. Tingginya kelembaban udara dalam kemasan dapat mempertahankan keluarnya air dari permukaan cabai dan rendahnya permeabilitas bahan dapat menekan keluarnya air ke lingkungan sehingga susut bobot akibat evaporasi dapat ditekan. Lownds (1994) menyatakan bahwa kemasan plastik film mampu menahan kehilangan air pada paprika hingga 20 kali lebih rendah. Taksinamanee *et al.* (2006) juga melaporkan bahwa cabai varietas Superhot yang dikemas menggunakan PVC dan plastik film PE lebih efektif dalam menekan susut

berat cabai karena tingginya kelembaban udara dalam kemasan. Pada kemasan karung plastik, uap air ini dengan mudah keluar dari kemasan karena terdapatnya ventilasi udara diseluruh permukaan kemasan dan dengan adanya proses evaporasi dari permukaan jaringan akan dapat meningkatkan susut bobot cabai selama penyimpanan.

**Nilai Kekerasan**

Nilai kekerasan yang tinggi mengindikasikan terjadinya kekeringan pada cabai. Hal ini dapat disebabkan oleh besarnya nilai kehilangan air dari cabai yang menyebabkan cabai menjadi layu dan keriput sehingga teksturnya menjadi lebih keras. Wills *et al.* (1998) menyatakan ketika air menguap dari jaringan buah, tekanan turgor menurun dan sel-sel mulai menyusut dan rusak sehingga buah kehilangan kesegarannya. Pada Gambar 4 dapat dilihat penurunan nilai kekerasan cabai yang disimpan dalam kemasan karung plastik dan plastik film PP pada penyimpanan hari ke-4 suhu 10°C dan 15°C lebih besar dibandingkan cabai dalam kemasan jala plastik namun cabai dalam kemasan jala plastik pada kedua suhu tersebut tidak mengalami perubahan nilai kekerasan yang nyata. Hal ini dapat disebabkan oleh sifat kemasan karung plastik dan plastik film PP yang mampu menekan jumlah kehilangan air cabai sehingga cabai yang dikemas tidak menjadi kering/keriput yang dapat menyebabkan teksturnya jadi keras walaupun disimpan pada suhu dan kelembaban udara yang lebih rendah. Sedangkan cabai dalam kemasan jala plastik akan mengalami penguapan akibat terjadinya kesetimbangan kandungan air di udara tempat penyimpanan sehingga nilai kekerasannya cenderung stabil selama penyimpanan. Karena sifat kemasan jala plastik yang sangat rendah permeabilitasnya terhadap uap air maka cabai yang disimpan pada kemasan ini memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dua kemasan lainnya walaupun pada penyimpanan suhu yang berbeda dan pada penyimpanan suhu ruang perbedaan



Gambar 3. Susut bobot cabai (%) pada penyimpanan (a) suhu 10°C, (b) suhu 15°C dan (c) suhu ruang (28-32°C).

nilainya lebih besar.

Semakin besar nilai penurunan kekerasan cabai menandakan tekstur cabai semakin lunak. Pelunakan ini dapat terjadi akibat perubahan komposisi dinding sel yang termasuk ke dalam salah satu mekanisme pelunakan yang biasa terjadi pada buah saat matang (Tucker *et al.* 1993). Peningkatan dan penurunan nilai kekerasan berhubungan dengan penguapan air dan tingkat kekerasan bergantung pada tebalnya bagian kulit luar, kandungan total padatan dan kandungan pati pada suatu bahan (Pangidoan *et al.* 2014; Pantastico 1986). Peningkatan nilai kekerasan ini juga mempengaruhi susut bobot cabai karena tingginya nilai kekerasan disebabkan oleh banyaknya kandungan air cabai yang hilang yang berarti susut bobotnya juga semakin tinggi.

Rata-rata nilai kekerasan cabai selama penyimpanan berkisar antara 0.30 sampai dengan 0.43N. Hasil analisis sidik ragam ( $\alpha=0,05$ ) menunjukkan bahwa perbedaan jenis kemasan dan suhu penyimpanan berpengaruh nyata ( $p<0.05$ ) terhadap nilai kekerasan cabai selama penyimpanan. Sedangkan interaksi antara kedua perlakuan tidak berpengaruh nyata ( $p>0.05$ ). Hasil uji lanjut Duncan ( $\alpha=0,05$ ) menunjukkan bahwa kemasan jala plastik (rerata 0.40N) dan plastik film PP (rerata 0.37N) yang digunakan sebagai wadah penyimpanan cabai pada penelitian ini menghasilkan nilai kekerasan cabai lebih tinggi dibandingkan cabai dalam kemasan karung plastik (rerata 0.33N), namun hasil antara plastik film PP dengan jala plastik dan plastik film PP dengan karung plastik tidak berbeda nyata. Suhu penyimpanan cabai 10°C dan 15°C menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan penyimpanan suhu ruang (rerata 0.33N).

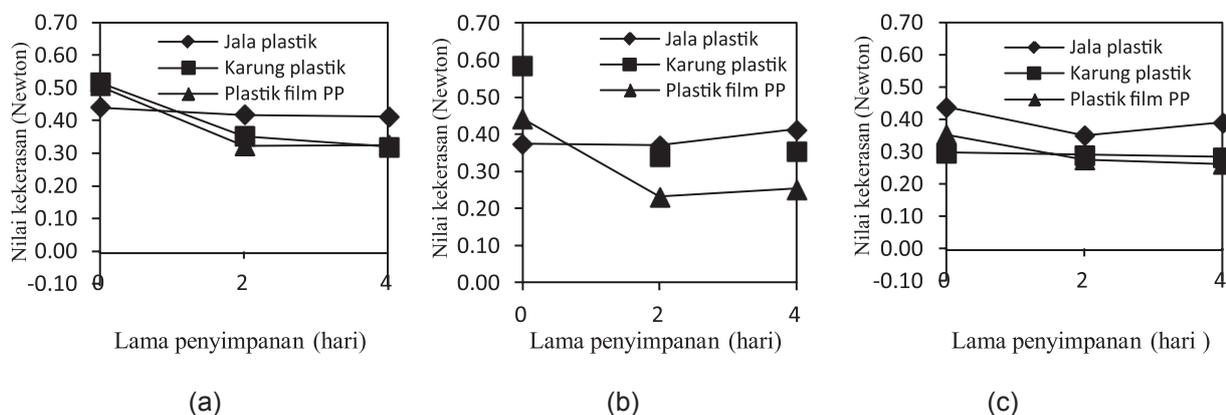
### Perubahan Warna

Warna merah pada cabai disebabkan oleh adanya kandungan pigmen karotenoid yang warnanya bervariasi dari kuning hingga sampai merah gelap (Purseglove 2003). Perubahan warna cabai selama penyimpanan dinilai menggunakan sistem notasi

Hunter yang dicirikan dengan tiga parameter warna, yaitu warna kromatik (*hue*) yang ditulis dengan notasi  $a^*$  menunjukkan warna kromatik campuran merah-hijau, notasi  $b^*$  menunjukkan warna kromatik campuran biru-kuning dan tingkat kecerahan dengan notasi  $L^*$  [ $L^*=0$  (Hitam) dan  $L^*=100$  (Putih)]. Derajat Hue ( $^{\circ}H$ ) dihitung dengan persamaan  $[\arctan(b/a)]$ . Jika  $^{\circ}H$  berkisar antara  $18^{\circ}$  sampai  $54^{\circ}$  warnanya adalah merah,  $54^{\circ}$  sampai  $90^{\circ}$  kuning kemerahan,  $90^{\circ}$  sampai  $126^{\circ}$  kuning dan besar dari  $126^{\circ}$  kuning kehijauan (Hutching 1999). (Monopolouet *al.* 2012) juga berpendapat kisaran sudut  $h^*$  ( $^{\circ}$ Hue) yang mendekati  $90^{\circ}$  lebih mendekati warna kuning dan besar dari  $90^{\circ}$  lebih mendekati warna hijau.

Tingkat kecerahan cabai ( $L^*$ ) yang diperoleh pada penelitian ini berkisar antara 34.95 sampai dengan 38.03. Hasil analisis sidik ragam ( $\alpha=0,05$ ) menunjukkan bahwa perbedaan suhu berpengaruh nyata ( $p<0.05$ ) terhadap tingkat kecerahan cabai selama penyimpanan namun perbedaan jenis kemasan dan interaksi antara jenis kemasan dan suhu penyimpanan tidak berpengaruh nyata ( $p>0.05$ ). Hasil uji lanjut Duncan ( $\alpha=0,05$ ) menunjukkan bahwa cabai yang disimpan pada suhu 10°C rata-rata memiliki tingkat kecerahan yang lebih tinggi (kisaran nilai  $L^*$  36.59-38.03) dibandingkan penyimpanan suhu 15°C (kisaran nilai  $L^*$  36.60-37.82) dan suhu ruang (kisaran nilai  $L^*$  34.95-36.60). Tingginya tingkat kecerahan cabai yang disimpan pada suhu 10°C dapat disebabkan oleh rendahnya angka kehilangan air cabai selama penyimpanan. Rendahnya suhu penyimpanan dapat menekan terjadinya penguapan air dari cabai sehingga tingkat kecerahannya lebih tinggi dari cabai yang disimpan pada suhu yang lebih tinggi.

Hasil analisis sidik ragam ( $\alpha=0,05$ ) menunjukkan bahwa perbedaan jenis kemasan dan suhu penyimpanan serta interaksi antara jenis kemasan dan suhu penyimpanan tidak berpengaruh nyata ( $p>0.05$ ) terhadap tingkat kemerahan ( $a^*$ ) cabai selama penyimpanan. Tingginya nilai  $a^*$  berarti warna merah cabai mendekati arah merah cerah dan semakin rendah nilai  $a^*$  warna merah cabai



Gambar 4. Nilai kekerasan (N) pada penyimpanan (a) suhu 10°C, (b) suhu 15°C dan (c) suhu ruang (28-32°C).

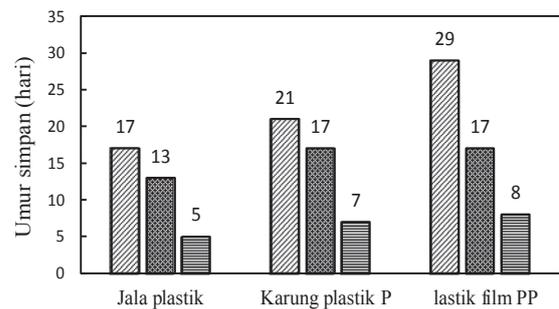
mendekati gelap/ungu (notasi warna Hunter). Hal ini dapat disebabkan oleh teroksidasinya pigmen karoten dan xanthophyl yang terjadi secara bertahap akibat adanya kontak dengan udara bebas.

Derajat Hue ( $^{\circ}$ Hue) yang didapatkan dari pengukuran nilai  $a^*$  dan  $b^*$  cabai yang disimpan berkisar antara  $24.75^{\circ}$  sampai dengan  $28.5^{\circ}$  dan termasuk dalam kategori merah karena berada pada *range* : $18^{\circ}$ - $54^{\circ}$  (Hutching 1999). Pengamatan secara visual tidak menunjukkan adanya perubahan warna merah yang terjadi selama penyimpanan namun analisis sidik ragam ( $\alpha=0,05$ ) menunjukkan bahwa perbedaan suhu penyimpanan berpengaruh nyata ( $p<0.05$ ) terhadap derajat *hue* ( $^{\circ}$ Hue) cabai namun jenis kemasan dan interaksi antara jenis kemasan dan suhu penyimpanan tidak berpengaruh nyata ( $p>0.05$ ). Hasil uji lanjut Duncan ( $\alpha=0,05$ ) menunjukkan bahwa cabai yang disimpan pada suhu  $10^{\circ}\text{C}$  (rata-rata 27.10) memiliki  $^{\circ}$ Hue lebih tinggi dibandingkan penyimpanan suhu  $15^{\circ}\text{C}$  (rata-rata 26.54) dan berbeda nyata dengan suhu ruang (rata-rata 25.57).

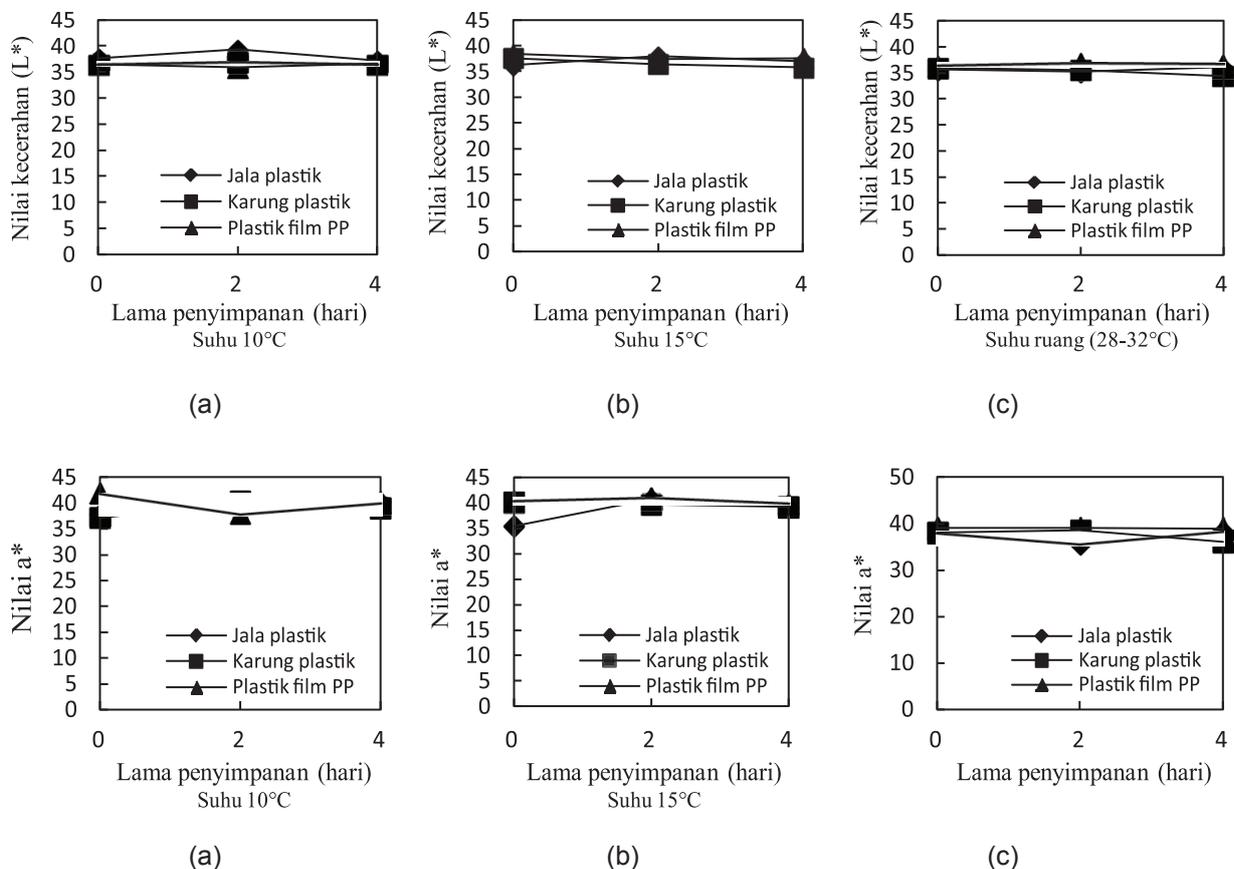
**Pengamatan Visual**

Umur simpan cabai keriting dari masing-masing kemasan yang disimpan pada beberapa tingkat suhu sampai batas maksimal kelayakan dapat dilihat pada Gambar 5. Untuk mengetahui pengaruh masing-masing kemasan dan penggunaan suhu

penyimpanan yang berbeda terhadap mutu fisik cabai, maka analisa statistik dihitung sampai hari ke-5, sesuai dengan pencapaian maksimal umur simpan cabai kontrol (jala plastik). Hasil pengamatan visual secara umum terhadap cabai pada masing-masing perlakuan memperlihatkan terjadinya kerusakan pada cabai yang disimpan seperti tumbuhnya cendawan dan perubahan tekstur yang jumlah keseluruhannya melebihi 40% pada tiap-tiap kemasan. Pada kemasan jala plastik, kerusakan yang terjadi berupa pengkripitan bagian kulit cabai dengan penurunan bobot mencapai 20% akibat hilangnya kandungan air cabai selama penyimpanan. Pada cabai dalam kemasan karung



Gambar 6. Umur simpan cabai keriting dalam kemasan pada suhu berbeda.



Gambar 5. Perubahan warna cabai pada penyimpanan (a) suhu  $10^{\circ}\text{C}$ , (b) suhu  $15^{\circ}\text{C}$  dan c) suhu ruang ( $28-32^{\circ}\text{C}$ ).

plastik, kerusakan lebih banyak disebabkan oleh tumbuhnya cendawan dan busuk basah, sedangkan pada cabai dalam kemasan plastik film kerusakan yang terjadi adalah busuk basah dan munculnya bau akibat terjadinya fermentasi anaerob selama penyimpanan. Cabai dapat bertahan pada kondisi optimalnya paling lama 29 hari penyimpanan menggunakan plastik PP yang disimpan pada suhu 10°C.

### Simpulan

Perbedaan jenis kemasan dan suhu penyimpanan berpengaruh nyata terhadap laju produksi CO<sub>2</sub> dan konsumsi O<sub>2</sub>, susut bobot dan nilai kekerasan sedangkan tingkat kecerahan (L\*) hanya dipengaruhi oleh jenis kemasan saja dan interaksi antara jenis kemasan dan suhu penyimpanan hanya berpengaruh nyata terhadap susut bobot. Susut bobot cabai yang paling tinggi di hasilkan dari penyimpanan cabai dalam kemasan jala plastik pada penyimpanan suhu ruang dengan nilai susut 21.06%±0.4 dan yang paling rendah pada penyimpanan dalam plastik film PP suhu 10°C (0.12%±0.1). Nilai kekerasan paling tinggi pada cabai dalam kemasan jala plastik dengan nilai rata-rata 0.40N dan tingkat kecerahan (L\*) paling tinggi didapat dari cabai yang disimpan pada suhu 10°C dengan kisaran nilai L\* 36.59-38.03. Kombinasi antara jenis kemasan dan suhu penyimpanan yang paling baik dalam mempertahankan mutu fisik cabai dan umur simpan yang lebih lama adalah pengemasan cabai dengan plastik film PP yang disimpan pada suhu 10°C dengan umur simpan mencapai 29 hari.

### Daftar Pustaka

- Hutching, J.B. 1999. Food Color and Appearance. 2<sup>nd</sup>Ed. Maryland: Aspen Publ. Inc.
- Lownds, N.K., M. Banaras, P.W. Bosland. 1994. Postharvest water loss and storage quality of nine pepper (*Capsicum*) Cultivar. HortScience 29(3): 191-193.
- Monolopoulou, H., L. Gregory, X. George. 2012. Active modified atmosphere packaging of fresh-cut bell peppers: effect on quality indices. Journal of Food Research: Vol 1 No.3. Canadian Center of Science and Education. Canada.
- Pangidoan, S., Sutrisno, Y.A. Purwanto. 2014. Transportasi dan Simulasinya dengan Pengemasan Curah untuk Cabai Keriting Segar. *Jurnal Keteknik Pertanian* Vol. 28 No 1: 23-30.
- Pantastico, E.R.B., A.K. Mattoo, T. Murata, K. Ogata. 1986. Kerusakan-Kerusakan karena Pendinginan dalam Fisiologi Pasca Panen dan Pemanfaatan Buah-Buahan dan Sayur-Sayuran Tropika dan Subtropika. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Purseglove. 2003. Spice Volume II. New York : Longman Inc
- Purwanto, Y.A., S. Oshita, Y. Makino, Y. Kawagoe. 2005. Determination of chilling injury index in cucumber fruits through proton NMR analysis. Proceeding of International Conference on Research Highlights and Vanguard Technology on Environmental Engineering in Agricultural Systems, September 12-15, 2005, Kanazawa, Japan.
- Purwanto, Y.A., S. Oshita, Y. Makino, Y. Kawagoe. 2011. Indication of Chilling Injury symptoms in Japanese cucumber (*Cucumis sativus* L.) based on The Change in ion leakage. Indonesian Journal of Agricultural Engineering. Vol.26, 1.
- Purwanto, Y.A., R. Nurdjannah, A. Lamona, E. Darmawati, N. Purwanti. 2013. Packaging of curly chilies during transportation and temporary storage for domestic market in Indonesia. Proceeding of The International Symposium on Quality Management of Fruits and Vegetables for Human Health (FVHH2013) 5-8 August 2013 at Golden Tulip Sovereign Hotel, Bangkok, Thailand.
- Rao, T.V.R., B. Neeta, Gol, K.S. Khilana. 2011. Effect of postharvest treatments and storage temperature on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annum* L). Scientia Horticulturae 132 : 18-26.
- Taksinamane, A., V. Srilaong, A. Uthairatanakij, S. Kanlayanarat. 2006. Effect of hydro-cooling combine with packing method on enzymatic antioxidant activity and some physical changes in red hot chilli cv. 'Superhot'. Acta Hort. 712. ISH : 873-878
- Thompson, J.F. 2002. Storage System. P. 113-128. In A.A. Kader (ed), Postharvest Technology of Horticultural Crops (3<sup>rd</sup>Ed.): The Regents of The University of California
- Tucker, G.A. 1993. Biochemistry of Fruit Ripening. Chapman and Hall, London
- Walker, S. 2010. Postharvest Handling of Fresh Chiles. New Mexico State University. Mexico
- Wills, R., B. Mcglasson, D. Graham, D. Joyce. 1998. Post Harvest: An Introduction to the Physiology and Handling on Fruits and Vegetable. Australia (AU): NSW Pr Limited.
- Winarno, F.G. 2002. Fisiologi Lepas Panen Produk Hortikultura. Bogor: M-BRIO Press.
- Zaulia, O., M. Razali, H. Aminuddin, D. Che Omar, K.H. Ng, M. Habsah. 2006. Effect of different packagings and storage temperatures on the quality of fresh-cut red chilli. J. Trop. Agric. and Fd. Sc. 34(1)(2006): 67-76

*Technical Paper*

## **Desain dan Pengujian Mesin Sortasi Telur Ayam**

### *Design and Performance Test of Egg Sorting Machine*

Feby Nopriandi, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Institut Pertanian Bogor,  
Email: [nopriandifeby@yahoo.co.id](mailto:nopriandifeby@yahoo.co.id)

Desrial, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.  
Email: [desrial@ipb.ac.id](mailto:desrial@ipb.ac.id)

Wawan Hermawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.  
Email: [w\\_hermawan@ipb.ac.id](mailto:w_hermawan@ipb.ac.id)

#### **Abstract**

*Based on Indonesian National Standard (SNI) No 3926:2008, egg weight is classified into three classifications: small (<50 g), medium (50-60 g), and large (>60 g). Nowadays egg grading process in Indonesia was still done manually. The objective of this research was for designing, constructing, and performance testing of egg sorting machine. The machine testing includes performance accuracy, machine capacity, and egg crack of the sorting result. The egg sorting machine consisted of five main parts: conveyor system, steering conveyor system, sorting conveyor system, and exit conveyor system. Test result showed that the machine could sort the egg with accuracy of 83 % without any cracking in eggshell. The machine capacity was most affected by the speed of sorting conveyor system. The variables which influence the speed of sorting conveyor system were initial speed rotation ( $N_a$ ), work speed rotation ( $N_b$ ), and length of the track on initial speed rotation path ( $L$ ). The maximum machine capacity was 61 eggs per minute and obtained by configuration of  $N_a$ ,  $N_b$ , and  $L$  of 15.5 rpm, 24.5 rpm, and 6 cm respectively.*

**Keywords:** eggs, sorting machine, design, and performance test

#### **Abstrak**

Berdasarkan standar nasional Indonesia ( SNI ) No 3926:2008, bobot telur dikelompokkan menjadi tiga kelompok: ukuran kecil (<50 g), ukuran sedang (50-60 g), dan ukuran besar (>60 g). Selama ini proses pengelompokkan telur masih dilakukan secara manual. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain, membuat dan menguji mesin sortasi telur. Pengujian meliputi pengujian akurasi mesin sortasi, pengujian retak telur dan pengujian kapasitas mesin sortasi. Mesin sortasi telur terdiri dari lima bagian utama : sistem konveyor masuk, konveyor pengarah, konveyor sortasi, penyortir dan konveyor keluar. Mesin ini dapat menyortir telur dengan akurasi 83 % tanpa adanya keretakan pada telur. Kapasitas mesin ditentukan oleh kecepatan dari konveyor penyortir. Pada konveyor penyortir terdapat kecepatan awal dan akhir ( $N_a$ ), kecepatan kerja ( $N_b$ ) dan panjang lintasan pada kecepatan awal dan akhir ( $L$ ). Nilai kapasitas tertinggi didapat pada  $N_a$  15.5 rpm,  $N_b$  24.5 rpm, dan  $L$  6 cm dengan kapasitas maksimum 61 butir/ menit.

**Kata kunci:** telur, mesin sortasi, desain, dan pengujian mesin

*Diterima: 24 Juni 2015; Disetujui: 17 September 2015*

#### **Pendahuluan**

Telur ayam yang akan dijual di pasar baik pasar domestik maupun yang akan diekspor ke negara lain harus mempunyai standar mutu yang sesuai dengan yang diinginkan. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia SNI No. 3926: 2008, Bobot telur dibedakan menjadi 3 kelompok yaitu kecil kurang dari 50 g, sedang 50 g sampai 60 g dan besar lebih

dari 60 g. Produksi telur di Indonesia pada tahun 2013 mencapai 1,223,718 ton (Dirjen Perternakan 2013). Dengan jumlah produksi tersebut maka pengklasifikasian telur secara manual memerlukan tenaga kerja yang sangat besar. Selain itu penyortiran secara manual dapat menyebabkan hasil pengelompokan telur tidak seragam karena tergantung pada subjek yang melakukan sortasi dan waktu yang digunakan relatif lebih lama. Penggunaan

mesin sortasi merupakan suatu pemecahan untuk mengatasi masalah tersebut. Proses sortasi telur secara manual dilakukan dengan memisahkan telur dari penampungan menggunakan tangan dengan pengukuran secara visual yang selanjutnya telur dimasukkan kedalam kemasan atau tray.

Terdapat 2 jenis mesin sortasi telur yaitu mesin sortasi telur semi otomatis dan full otomatis. Mesin sortasi telur semi otomatis masih menggunakan tenaga manusia untuk memasukkan telur ke pengumpan, sehingga kecepatan dari mesin sortasi juga ditentukan oleh operator. Mesin sortasi telur full otomatis digunakan pada proses produksi telur yang sudah menggunakan otomatisasi dari proses pengumpulan telur di kandang sampai ke proses pengepakan, sehingga mesin sortasi telur full otomatis merupakan kesatuan dari unit produksi telur. Mesin sortasi yang ada selama ini merupakan hasil produksi luar negeri. Kapasitas dari mesin sortasi bervariasi mulai dari 30 butir/menit sampai 360 butir/menit. Semakin tinggi kapasitas dari mesin sortasi maka harganya semakin mahal. Untuk mesin sortasi semi otomatis dengan kapasitas 60 butir/menit memiliki harga berkisar antara U\$4,500 sampai U\$5,000/set. Oleh karena itu perlu dilakukan perancangan mesin sortasi telur dengan akurasi tinggi, teruji dan menemukan kondisi optimum agar mesin mencapai kapasitas maksimum. Dari hasil penelitian ini akan didapatkan mesin sortasi telur yang telah teruji dan dapat digunakan oleh pengusaha telur dalam melakukan proses sortasi telur untuk mengurangi tenaga kerja dan meningkatkan pendapatan

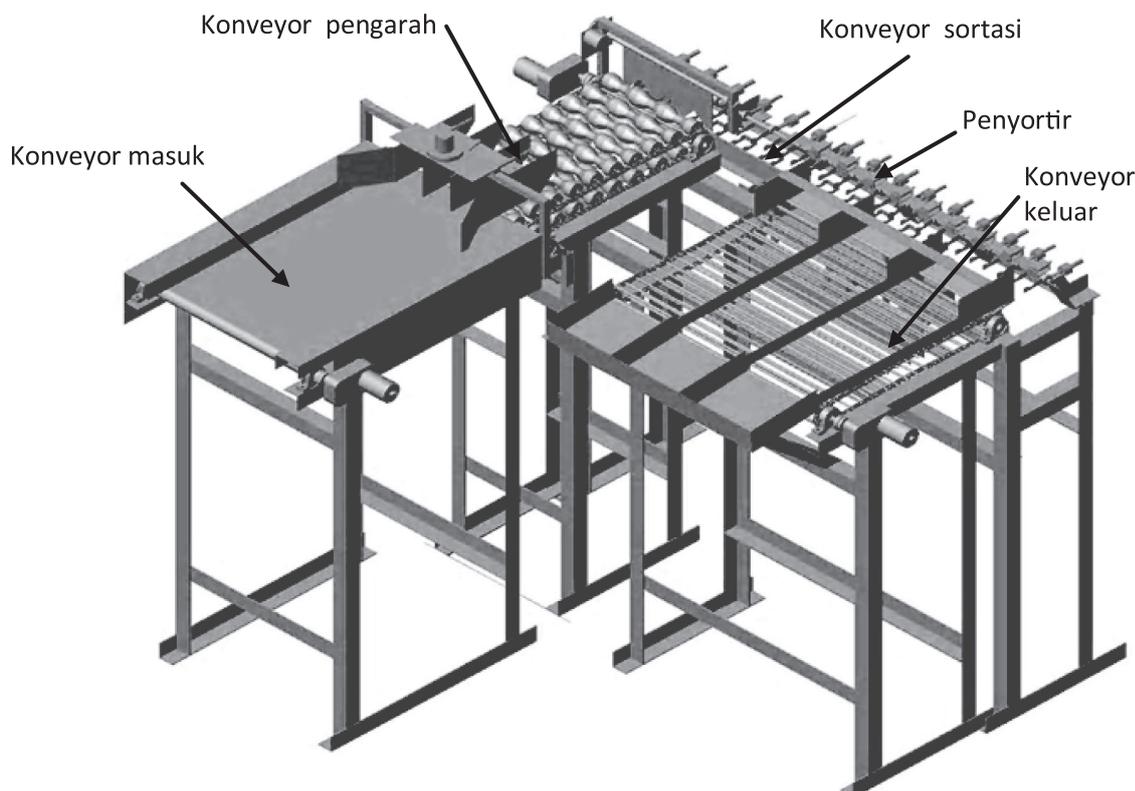
## Metode Penelitian

### Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini terdiri dari tahap desain, tahap pembuatan dan tahap uji kinerja mesin sortasi telur. Desain mesin dimulai dengan menentukan kriteria dan spesifikasi mesin, sifat mekanik telur dan mekanisme kerja mesin. Tahapan pembuatan mesin terdiri dari 3 tahap yaitu pembuatan sistem mekanis, pembuatan sistem relay dan pengujian mesin. Sistem mekanis terdiri dari beberapa bagian yaitu sistem konveyor masuk, konveyor pengarah, konveyor sortasi, penyortir dan konveyor keluar. Pengujian mesin sortasi terdiri dari pengujian akurasi sortasi, pengujian retak telur, dan kapasitas sortasi mesin.

### Analisa Desain

Penentuan kriteria dan spesifikasi mesin sortasi telur ayam ini diharapkan dapat mensortasi telur berdasarkan bobotnya secara otomatis dengan kapasitas 60 telur/menit dan tingkat akurasi mencapai 90% tanpa mengakibatkan kerusakan fisik pada telur. Dengan spesifikasi tersebut diharapkan dapat setara dengan kinerja sortasi manual namun dengan tingkat akurasi yang lebih baik. Penentuan sifat mekanik telur diperlukan untuk menentukan mekanisme dan gaya pada mesin sortasi agar tidak menimbulkan kerusakan pada telur. Sifat mekanik telur yang perlu diketahui di antaranya kekuatan pecah, rupture energy, koefisien gesek, elastisitas kulit telur, dan tekanan maksimum agar telur tidak retak. Nilai kekuatan pecah telur berkisar antara



Gambar 1 Rancangan mesin sortasi telur

25 N sampai 28 N, sedangkan nilai rupture energy untuk telur ayam berkisar antara 2.2 N.mm sampai 4.77 N.mm. Telur memiliki nilai koefisien gesek tertinggi dengan karet sebesar 0.26 dan terendah dengan kaca sebesar 0.108 (Ebubekir dan Ahmet 2007).

Elastisitas kulit telur berhubungan dengan gaya maksimum yang dapat diberikan pada permukaan kulit telur. Ketika pembebanan diberikan pada bagian ujung telur maka besar gaya maksimum yang dapat diberikan berkisar antara 33 N hingga 49 N. Jika beban pembebanan diberikan pada sisi telur maka gaya maksimum yang dapat diberikan sekitar 28.1 N hingga 41.1 N (Bain et al 2006). Retak pada telur juga terjadi karena adanya tegangan pada telur. Tegangan ini biasa disebabkan oleh penumpukan telur. Besar tegangan maksimum yang terjadi pada telur sekitar 15.2 MPa (Entpeluit dan Reddy 1996)..

**Rancangan Fungsional**

Rancangan unit mesin sortasi telur ini terdiri dari beberapa bagian yaitu bagian roller, konveyor pengumpan, konveyor pengarah, konveyor sortasi, penyortir telur, konveyor keluar, dan sistem kontrol (Gambar 1). Konveyor masuk merupakan sebuah unit belt konveyor yang menggerakkan telur menuju bagian konveyor pengarah. Konveyor pengarah berfungsi untuk mengarahkan telur agar berada pada posisi yang tepat sebelum masuk ke bagian konveyor sortasi. Setelah melalui konveyor pengarah telur menggelinding menuju konveyor sortasi untuk dipindahkan ke unit penyortir. Sistem unit penyortir menggunakan prinsip timbangan manual yang dihubungkan dengan kontak untuk menyalakan selenoid. Jika telur sesuai dengan gradenya maka selenoid akan mendorong telur keluar menuju proses berikutnya.

**Rancangan Struktural**

**Daya, Putaran, dan Torsi Motor Listrik pada Konveyor**

Daya motor listrik sebagai penggerak sistem konveyor dihitung menggunakan persamaan:

$$P = F \times V \tag{1}$$

dimana  $P$  adalah daya motor listrik (watt),  $F$  adalah gaya (N), dan  $V$  adalah kecepatan linear (m/s). Menurut Sularso (1997) untuk menentukan daya rencana motor listrik maka hasil perhitungan daya dari persamaan (2) perlu dikalikan faktor koreksi sesuai dengan persamaan:

$$P_d = P \times F \tag{2}$$

Dimana  $P_d$  adalah daya rencana motor listrik (watt),  $P$  adalah daya motor listrik (watt), dan  $F_c$  adalah faktor koreksi yang nilainya 1.2. Sedangkan putaran motor ( $N$ ) dapat dihitung dari kecepatan linear

konveyor ( $V$ ) dengan persamaan:

$$N = \frac{V \times 60}{D \times \pi} \tag{3}$$

dimana  $N$  adalah putaran motor (rpm),  $V$  adalah kecepatan linear (m/s) dan  $D$  adalah diameter puli (m). Sedangkan torsi motor dapat dihitung dengan persamaan:

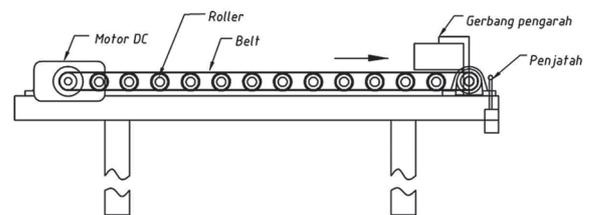
$$\tau = F \times r \tag{4}$$

dimana  $\tau$  adalah torsi motor (Nm),  $F$  adalah gaya (N), dan  $r$  adalah jari-jari (m)

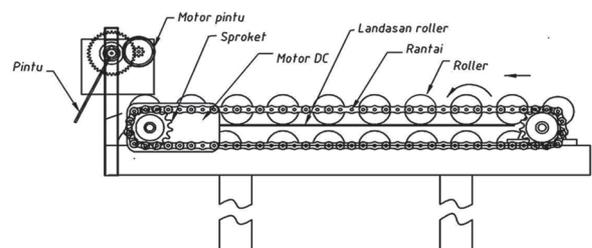
**Konveyor Masuk**

Konveyor masuk merupakan jenis belt konveyor yang dilengkapi roller untuk mencegah belt melentur. Konveyor masuk berdimensi panjang 70 cm, lebar 50 cm, dan tinggi 95 cm. Sistem dari konveyor masuk dapat dilihat pada Gambar 2. Besarnya beban total yang akan dipindahkan oleh konveyor pengarah sebesar 43 kg. Beban tersebut terdiri dari berat maksimum telur dan berat dari sabuk. Dari tabel nilai koefisien gesek diketahui besarnya koefisien gesek antara dua buah baja yang dilumasi berkisar antara 0.15 sampai 0.2, sehingga besarnya gaya yang diperlukan untuk menggerakkan konveyor sebesar 85 N.

Daya rencana dan putaran dari motor listrik dapat dihitung dengan persamaan (2) dan (3), besarnya daya rencana dan putaran dari motor konveyor masuk berturut-turut sebesar 3 W dan 14.4 rpm. Sedangkan torsi dari motor dihitung dengan persamaan (4), torsi motor yang diperlukan sebesar 1.07 Nm.



Gambar 2. Sistem konveyor masuk.



Gambar 3. Sistem konveyor pengarah.

**Konveyor Pengarah**

Konveyor pengarah merupakan jenis roller konveyor. Konveyor ini terdiri dari susunan beberapa roller yang dihubungkan dengan rantai. Sistem dari konveyor pengarah dapat dilihat pada Gambar 3.

Konveyor pengarah berdimensi panjang 60 cm, lebar 40 cm, tinggi 90 cm, dan jarak antara roller sebesar 5 cm. Besarnya beban total yang akan dipindahkan oleh konveyor pengarah sebesar 9.43 kg. Beban tersebut terdiri dari berat maksimum telur, berat rantai dan berat roller, sehingga besarnya gaya yang diperlukan untuk menggerakkan konveyor sebesar 18.8 N. Daya rencana dan putaran dari motor listrik dapat dihitung dengan persamaan (2) dan (4), besarnya daya rencana dan putaran dari motor konveyor masuk berturut-turut sebesar 1.1 W dan 19.1 rpm. Sedangkan torsi dari motor dihitung dengan persamaan (3), torsi motor yang diperlukan sebesar 0.46 Nm.

Menurut Song et al. (2013) diameter rol yang baik 40 sampai 50 mm, jarak antara rol 45 sampai

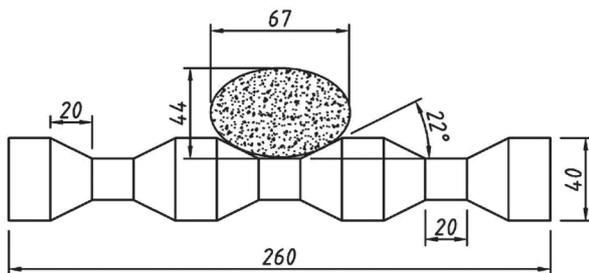
65 mm sudut kemiringan pembatas telur 20° sampai 30°, dan jarak sisi pembatas telur harus dibawah 5 mm. Dari data pengukuran 100 sampel telur diketahui tinggi maksimum dari telur 67 mm dengan diameter 44 mm. Sehingga diperoleh selisih antara tinggi dan diameter telur 24 mm. Desain dari bentuk roller disajikan pada Gambar 4.

**Konveyor Sortasi**

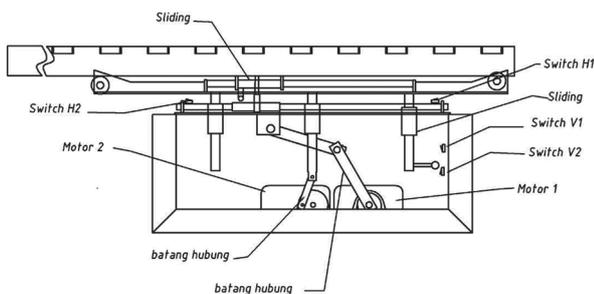
Gambar 5 memperlihatkan sistem penggerak pada konveyor sortasi. Konveyor digerakan oleh dua buah motor listrik yaitu motor listrik 1 dan motor listrik 2. Motor listrik 1 menggerakkan sistem mekanisme engkol peluncur arah horizontal dan motor listrik 2 menggerakkan mekanisme engkol peluncur arah vertikal, sehingga pola dari gerakan konveyor sortasi berbentuk persegi panjang dengan panjang 24 cm dan tinggi 4 cm. Konveyor sortasi memiliki dimensi panjang 190 cm, lebar 22 cm dan tinggi 95 cm. Terdapat 2 variasi kecepatan konveyor arah horizontal. Kecepatan yang pertama merupakan kecepatan awal dan akhir ( $N_a$ ) sedangkan kecepatan kedua merupakan kecepatan kerja ( $N_b$ ). Penggunaan 2 variasi kecepatan dimaksudkan untuk memperkecil nilai momentum dan memperbesar kecepatan konveyor sortasi sehingga dapat meningkatkan kapasitas mesin.

Mekanisme engkol peluncur untuk menggerakkan konveyor sortasi ditunjukkan pada Gambar 6. Beban yang ditanggung oleh mekanisme untuk menggerakkan konveyor meliputi beban telur dan wadah telur yang memiliki beban maksimum sebesar 14.2 kg.

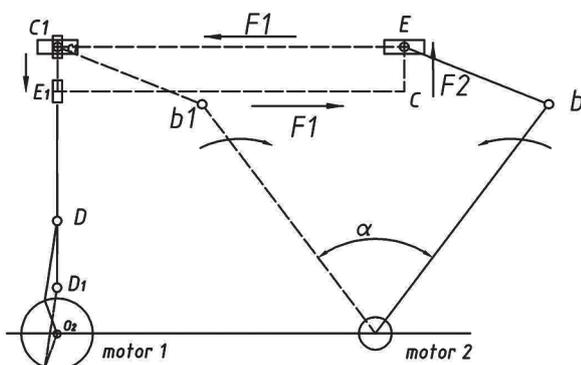
Gaya  $F_1$  pada Gambar 6 menunjukkan besarnya beban total yang akan dipindahkan oleh mekanisme engkol peluncur setelah dikalikan dengan koefisien gesek. Besar gaya horizontal  $F_1$  yang diperlukan untuk menggerakkan beban tersebut sebesar 34.8 N. Setelah diketahui besarnya  $F_1$  maka dengan menggunakan metode grafis didapat besarnya kecepatan dan gaya pada batang 2 berturut-turut sebesar 14.11 cm/s dan 43.44 N. Dengan menggunakan persamaan (2) maka didapat besarnya daya rencana motor listrik 1 sebesar 7.36 W, sehingga putaran motor dan torsi dapat dihitung dengan persamaan (3) dan (4) yang besarnya berturut turut sebesar 6.74 rpm dan 8.68 Nm. Besarnya gaya  $F_2$  untuk menggerakkan konveyor kearah vertikal sebesar 139.16 N. Dengan menggunakan metode grafis didapat besarnya kecepatan dan gaya pada batang 2 berturut-turut sebesar 41.4 cm/det dan 404.5 N. Dengan menggunakan persamaan (2) maka didapat besarnya daya rencana motor listrik 2 sebesar 200.1 W. Putaran motor dan torsi dapat dihitung dengan persamaan (3) dan (4) yang besarnya berturut turut sebesar 62.8 rpm dan 86.1 Nm.



Gambar 4. Bentuk roller.



Gambar 5. Sistem penggerak konveyor sortasi.



Gambar 6. Mekanisme pada konveyor sortasi.

**Penyortir**

Penyortir digunakan untuk mengelompokkan telur sesuai dengan bobotnya. Pada bagian atas penyortir dilengkapi dengan solenoid yang berfungsi untuk mendorong telur. Jumlah penyortir sebanyak 9 buah, di antara telur dan pemberat dipasang bearing agar gerakan dari penyortir benar-benar bebas. Desain dari penyortir disajikan pada gambar 7.

Untuk mengatur besarnya bobot dari pemberat maka dipasang ulir agar pemberat dapat diatur dengan cara memutar pemberat tersebut. Bobot dari pemberat dapat ditentukan sebagai berikut:

$$F_b = \frac{F_a \times L_a}{L_b} \tag{5}$$

dimana  $F_a$  bobot telur maksimum,  $F_b$  bobot pemberat,  $L_a$  jarak antara telur ke bearing dan  $L_b$  jarak pemberat ke bearing. Diketahui  $F_a$  80 g,  $L_a$  6.5 cm dan  $L_b$  5.5 cm, sehingga nilai  $F_b$  94.55 g.

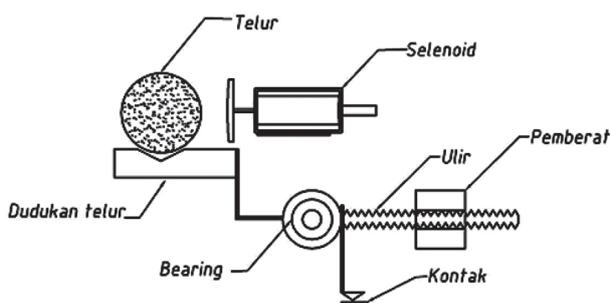
**Konveyor Keluar**

Konveyor keluar berdimensi panjang 85 cm, lebar 65 cm, dan tinggi 85 cm. Sistem dari konveyor keluar dapat dilihat pada Gambar 8. Besarnya beban total yang akan dipindahkan oleh konveyor keluar sebesar 16.4 kg. Beban tersebut terdiri dari berat maksimum telur, berat rantai, dan berat roll aluminium. Besarnya gaya yang diperlukan untuk menggerakkan konveyor sebesar 20.9 N. Daya dan putaran dari motor listrik dapat dihitung dengan persamaan (2) dan (4), besarnya daya rencana dan putaran dari motor konveyor masuk berturut-turut sebesar 3.7 W dan 57.3 rpm. Sedangkan torsi dari motor dihitung dengan persamaan (3), torsi motor yang diperlukan sebesar 0.522 Nm

**Metode Pengujian Kinerja Mesin Sortasi**

**Pengujian Kapasitas**

Pengujian kapasitas bertujuan untuk mendapatkan kecepatan maksimum yang dapat diberikan pada mesin sortasi. Kapasitas mesin didapat setelah melakukan pengujian dengan kombinasi antara nilai L (panjang lintasan pada kecepatan  $N_a$ ) dan N (kecepatan putar). Nilai  $N_a$  yang digunakan untuk pengujian sama dengan Nilai  $N_b$  yaitu  $N_{b1}$  11.4 rpm,  $N_{b2}$  15.5 rpm dan  $N_{b3}$



Gambar 7. Sistem penyortir.

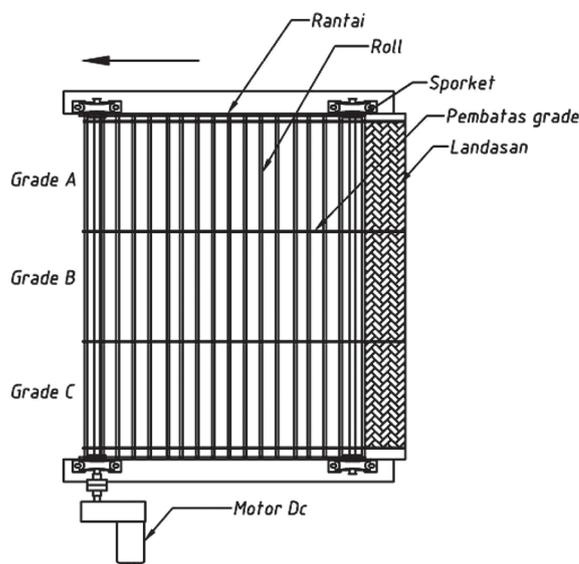
24.5 rpm. Sedangkan nilai L adalah  $L_1$  0 cm,  $L_2$  3 cm dan  $L_3$  6 cm. Dari kombinasi dari nilai tersebut akan didapat kapasitas maksimum. Pada pengujian ini dilakukan dengan 135 sampel telur. Pola gerakan dari konveyor penyortir ditunjukkan pada Gambar 9.

**Pengujian Akurasi**

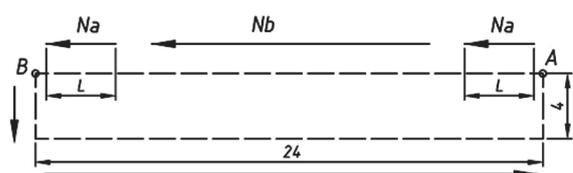
Pengujian akurasi bertujuan untuk melihat seberapa akurat mesin sortasi ini dalam melakukan pengelompokan telur. Pada pengujian ini digunakan 18 sampel telur yang dikondisikan dengan 6 kali pengulangan. Berat telur yang digunakan dalam pengujian ini adalah empat telur pada grade A yaitu 64 g, 63 g, 62 g, 61 g, delapan telur pada grade B yaitu 60 g, 59 g, 58 g, 57 g, 56 g, 54 g, 53 g, 52 g, 51 g, 50 g, dan empat telur pada grade C yaitu 49 g, 48 g, 47 g, 46 g. Pengkondisian sampel tersebut dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kesalahan pada masing-masing grade. Akurasi dapat dihitung dengan membandingkan jumlah telur yang berhasil dikelompokkan dengan jumlah yang seharusnya terkelompok. Akurasi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$A = \frac{j_t}{j_h} \times 100\% \tag{6}$$

dimana A adalah akurasi (%),  $J_t$  adalah jumlah telur yang tersortasi dengan tepat, dan  $J_h$  adalah jumlah telur yang seharusnya terkelompok.



Gambar 8. Sistem konveyor keluar.



Gambar 9. Pola gerakan dari konveyor penyortir.

Tabel 1. Nilai persentase akurasi bobot telur.

	Ulangan						Rata -rata (%)
	1	2	3	4	5	6	
Akurasi grade A (%)	100	100	67	80	67	80	82.30
Akurasi grade B (%)	90	90	90	90	80	90	88.30
Akurasi grade C (%)	80	80	75	100	100	50	80.83
Akurasi mesin (%)							83.81

### Pengujian Keretakan

Pengujian ini bertujuan untuk melihat apakah telur yang telah melewati mesin sortasi mengalami retak. Pengujian ini menggunakan 30 sampel telur dengan grade yang berbeda. Sebelum disortasi telur terlebih dahulu diteropong untuk melihat kondisi awal. Telur yang kondisinya baik dimasukkan ke dalam mesin sortasi, setelah keluar dari mesin sortasi telur tersebut kembali diteropong untuk melihat keadaan akhir telur setelah melewati mesin sortasi

gerakan dari setiap bagian dapat tersinkronisasi, sehingga mesin sortasi ini dapat digunakan untuk proses penyortiran telur.

### Keretakan

Dari hasil pengujian pada 30 sampel telur tidak ditemukan terjadinya keretakan pada telur. Sebelum disortasi telur diteropong terlebih dahulu untuk dipastikan tidak terdapat retak (Gambar 11b), kemudian hasil dari penyortiran diteropong kembali dan tidak ditemukan terjadinya retak (Gambar 11c).

## Hasil dan Pembahasan

### Prototipe Mesin

Gambar 10 menunjukkan bagian-bagian mesin sortasi telur yang telah selesai dibangun. Bagian utama mesin sortasi seperti konveyor masuk, konveyor pengarah, konveyor sortasi, penyortir dan konveyor keluar dapat berfungsi dengan baik dan

### Akurasi

Dari pengujian 18 telur sebanyak 6 kali pengulangan, dapat diketahui kesalahan dalam penyortiran terjadi pada bobot telur yang mendekati batas dari grade. Nilai akurasi dari mesin sortasi ini adalah sebesar 83.8 %. Kurangnya tingkat akurasi dikarenakan titik berat dari telur yang tidak selalu berada di tengah sehingga penimbangan bobot



Gambar 10. Mesin sortasi telur.

Tabel 2. Hasil pengujian kapasitas pada berbagai kombinasi.

		L1			L2			L3		
		U-1	U-2	U-3	U-1	U-2	U-3	U-1	U-2	U-3
N <sub>b1</sub>	N <sub>a1</sub>	29.4	29.4	29.4	32.1	32.1	32.1	32.4	32.4	32.4
	N <sub>a2</sub>	29.4	29.4	29.4	7.62	10.16	7.62	38.4	38.4	35.84
	N <sub>a3</sub>	29.4	29.4	29.4	0	0	0	12.54	8.36	0
N <sub>b2</sub>	N <sub>a1</sub>	47.4	47.4	47.4	38.4	38.4	38.4	32.4	32.4	32.4
	N <sub>a2</sub>	44.24	47.4	44.2	43.4	40.3	40.3	42.84	45.9	45.9
	N <sub>a3</sub>	9.48	12.64	12.64	11.58	15.44	15.44	11.4	0	11.4
N <sub>b3</sub>	N <sub>a1</sub>	0	0	0	21.56	9.8	8.4	33	33	33
	N <sub>a2</sub>	0	0	0	12.84	0	8.56	61.8	61.8	57.68
	N <sub>a3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Keterangan : N<sub>a1</sub> = 11.4 rpm      N<sub>a2</sub> = 15.5 rpm      N<sub>a3</sub> = 24.5 rpm  
 N<sub>b1</sub> = 11.4 rpm      N<sub>b2</sub> = 15.5 rpm      N<sub>b3</sub> = 24.5 rpm  
 L1 = 0 cm      L2 = 3 cm      L3 = 6 cm

yang menggunakan sistem pengungkit menjadi tidak akurat. Selain itu getaran yang terjadi pada konveyor grading mempengaruhi dalam penimbangan bobot telur. Adanya impact saat telur diletakkan ke penyortir juga berakibat penimbangan bobot menjadi lebih besar dari nilai yang seharusnya. Untuk mengatasi hal tersebut dan meningkatkan akurasi maka dapat digunakan sistem timbangan dengan sensor load cell sehingga getaran atau noise dari pembacaan bobot telur dapat dihilangkan. Hasil pengujian akurasi dari tiap grade telur disajikan pada Tabel 1.

### Kapasitas

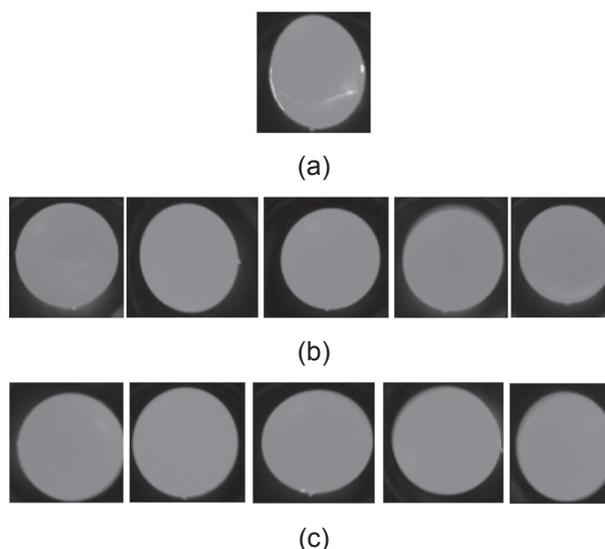
Hasil pengujian pengaruh kecepatan awal dan akhir (N<sub>a</sub>), kecepatan kerja (N<sub>b</sub>), jarak perubahan kecepatan awal dan akhir (L) terhadap kapasitas penyortiran disajikan pada Tabel 2. Kondisi dimana nilai N<sub>a</sub> adalah 15.5 rpm, N<sub>b</sub> 24.5 rpm, dan L 6 cm, merupakan kondisi terbaik dengan kapasitas 61.8 butir/menit.

Pada saat nilai L diturunkan menjadi 3 cm kapasitas akan menurun karena kecepatan kerja V<sub>b</sub> masih tersisa meskipun kecepatan sudah berubah menjadi V<sub>a</sub>. Hal ini berakibat momentum yang terjadi saat konveyor sortasi mencapai titik B masih cukup besar yang mengakibatkan telur menjadi jatuh. Dengan memperlambat N<sub>a</sub> menjadi 11.4 rpm akan terjadi penurunan nilai kapasitas karena memperlambat kecepatan dari konveyor penyortir. Sedangkan mempercepat N<sub>a</sub> menjadi 24.5 rpm akan menurunkan nilai kapasitas karena kecepatan yang terlalu tinggi mengakibatkan besarnya nilai momentum saat menyentuh titik B. Selain itu nilai percepatan yang dihasilkan dari titik A juga menjadi besar yang berakibat telur jatuh dari penyortir sehingga menurunkan nilai kapasitas.

### Simpulan dan Saran

#### Simpulan

Mesin telur ayam berdasarkan bobot telah berhasil dirancang dan diuji coba. Mesin sortasi ini dapat menyortir dengan akurasi 83.8 % dengan kapasitas 61 butir/menit tanpa mengakibatkan keretakan pada telur. Kapasitas mesin sortasi dipengaruhi oleh kecepatan konveyor sortasi dimana kecepatan konveyor sortasi ditentukan dari kombinasi kecepatan awal dan akhir (N<sub>a</sub>), kecepatan kerja (N<sub>b</sub>) dan panjang lintasan N<sub>a</sub> (L).



Gambar 11. Contoh telur yang mengalami retak (a), hasil peneropongan sebelum penyortiran (b), hasil peneropongan sesudah penyortiran (c).

**Saran**

Untuk meningkatkan akurasi sebaiknya mengganti sistem penyortir manual dengan sistem digital agar getaran yang terbaca pada penyortir dapat dihilangkan.

**Daftar Pustaka**

- Bain M., MacLeod., Thomson R., Hancock JW. 2006. Microcracks in eggs. *Poultry Science* Vol.85:2001-2008.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2008. Standar Nasional Indonesia (SNI) No: 3926: 2008 Mutu dan Kualitas Telur Ayam Ras. Jakarta (ID) : BSN.
- Ebubekir A., Ahmet S. 2007. Effect of egg shape index on mechanical properties of chicken eggs. *Journal of Food Engineering* Vol. 85(2008): 606-612.
- Entwhistle K.M., Reddy T.Y. 1996. The fracture strength under internal pressure of the eggshell of the domestic fowl. *Biologi Science* Vol. 263: 433-438.
- Song J., Ke Sun., Guo W., Jiang Y., Guo-qiang G. 2013. Study on the mechanical automatic orientation regulations about the axial and the turnover motions of eggs. *Journal of Food Engineering* Vol.133(2014): 46-52.
- Stewart G.F., Abbott J.C. 1972. *Marketing Eggs and Poultry*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 3rd printing. Rome. Italy
- Sularso. 1997. *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Pradnya pramita Jakarta.
- Dirjen Peternakan dan Kesehatan Hewan. 2013. *Statistik Peternakan dan Kesehatan Hewan Tahun 2013*. Jakarta (ID): Kementrian Pertanian.