

Technical Paper

Rancang Bangun Konverter Biogas untuk Motor Bensin Silinder Tunggal

Design of Biogas Converter for Single Cylinder Gasoline Engine

Desrial, Dep. Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB.
Email: desrial@ipb.ac.id

Dyah Wulandani, Dep. Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB.
Email: dyahwulandani@yahoo.com

Abstract

The need for energy continues to increase along with the increase of population in Indonesia. This is in contrast with the fact that the main oil energy source is reducing day by day. To overcome this problem renewable energy sources such as biogas becomes very important. Methane content in the biogas ranged between 60-65 %, where the value is large enough to be used as an energy source replacement of gasoline. The purpose of this study is to design a converter that is capable to perform biogas and air mixing for optimum use of biogas in gasoline engine. The main parts of biogas converter are the venturi, choke valves, throttle valves, as well as the coupler to the engine. Testing was done by applying converter on a gasoline engine with biogas fuel. Engine performance was tested using a dynamometer and the results are compared with the performance of the motor using gasoline fuel. Test results show that the optimal power is achieved at 0.979 kW at 3146 rpm and a torque of 4.3 Nm, while the motor power with gasoline kW and a torque of 1.86 Nm at 6:21.

Keywords: renewable energy, biogas, converter, gasoline engine, agricultural machinery

Abstrak

Kebutuhan energi terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk di Indonesia. Hal ini berkebalikan dengan kenyataan bahwa sumber energi utama kita sehari - hari, yaitu minyak bumi terus menipis. Untuk mengatasi kelangkaan ini diperlukan adanya sumber energi baru dan terbarukan, salah satunya biogas. Kandungan metana dalam biogas berkisar antara 60 - 65 %, dimana nilai ini cukup besar untuk dijadikan sebagai sumber energi pengganti bahan bakar bensin. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang sebuah konverter yang mampu mencampur biogas dan udara dengan campuran yang tepat dan agar motor bensin mampu beroperasi dengan bahan bakar biogas secara optimal. Konverter yang dirancang memiliki bagian - bagian utama yaitu venturi, selongsong venturi, katup *choke*, katup *throttle*, serta dudukan. Pengujian konverter dilakukan dengan cara memasang konverter pada motor bensin 4 tak dan menjalankan motor dengan bahan bakar biogas. Selanjutnya motor diuji kinerjanya menggunakan dynamometer dan hasilnya dibandingkan dengan kinerja motor menggunakan bahan bakar bensin. Hasil pengujian menunjukkan daya optimal yang dicapai sebesar 0.98 kW pada 3146 rpm dan torsi sebesar 4.31 Nm, sementara daya motor dengan bahan bakar bensin sebesar 1.86 kW dan torsi sebesar 6.21 Nm.

Kata kunci: energi terbarukan, biogas, konverter, motor bensin, alat mesin pertanian

Diterima: 01 Oktober 2013; Disetujui: 07 Januari 2014

Pendahuluan

Kebutuhan energi di masyarakat saat ini terus meningkat seiring dengan terus bertambahnya jumlah penduduk. Sementara sumber energi utama saat ini, yaitu energi fosil terus mengalami penurunan produktivitas dan cadangan yang semakin menipis. Untuk mengatasi hal ini, maka pencarian berbagai alternatif energi baru yang terbarukan harus

dilakukan. Salah satu sumber energi terbarukan yang cukup menjanjikan adalah biogas.

Secara umum, biogas mengandung 60-65% gas metana (Harikishan, 2008), dimana jumlah kandungan metana ini adalah nilai yang cukup potensial untuk digunakan sebagai sumber energi alternatif. Selama ini biogas pada umumnya digunakan sebagai bahan bakar untuk untuk kompor memasak ataupun lampu penerangan.

Di negara-negara maju biogas juga sudah mulai digunakan sebagai bahan bakar motor bensin untuk alternatif bahan bakar premium (Herringshaw B. 2009). Namun demikian penggunaannya masih terbatas pada motor bensin berukuran besar yang dipakai pada pembangkit listrik berbahan bakar biogas. Teknologi konverter bahan bakar biogas yang digunakan pada mesin tersebut juga relatif tinggi dengan biaya yang cukup mahal. Dalam rangka memasyarakatkan pemanfaatan biogas sebagai sumber energi terbarukan, maka perlu dikembangkan suatu teknologi konverter biogas yang sederhana dan dengan harga terjangkau yang dapat digunakan untuk motor bensin ukuran kecil yang banyak digunakan sebagai penggerak mesin-mesin pertanian. Konverter biogas tersebut akan didesain agar dapat menggantikan fungsi karburator yang biasa digunakan pada motor bensin standar.

Pengembangan energi terbarukan sebagai alternatif pengganti energi fosil merupakan suatu program pemerintah yang penting untuk menuju ketahanan energi nasional. Penelitian tentang penggunaan bahan bakar nabati berkembang pesat dalam dasawarsa terakhir dan telah menghasilkan berbagai inovasi bahan bakar nabati yang telah dimanfaatkan oleh masyarakat seperti biodiesel, bioetanol ataupun penggunaan minyak nabati secara langsung yang dikenal dengan istilah *straight vegetable oil*, SVO untuk digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Namun demikian, masih ada sumber energi terbarukan yang potensinya sangat tinggi namun belum dimanfaatkan secara optimal yaitu energi biogas. Dewasa ini biogas sudah banyak dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk kompor memasak ataupun lampu penerangan (Wahyuni, 2011). Penggunaan biogas sebagai bahan bakar untuk motor bakar diesel ataupun bensin penggerak genset juga sudah mulai digunakan, namun masih sangat terbatas, itupun masih menggunakan motor bakar bensin/diesel yang diimpor dari luar negeri dengan harga yang relatif mahal.

Mengingat pada masa mendatang ketersediaan bahan baku biogas akan semakin meningkat dengan adanya program pemerintah untuk pemenuhan kebutuhan sapi nasional, maka pemanfaatan biogas perlu dikembangkan lagi. Pengembangan pemanfaatan biogas perlu dilakukan secara khusus untuk bahan bakar alternatif yang digunakan untuk menggerakkan motor bensin bagi mesin-mesin pertanian seperti mesin pompa air, mesin giling, mesin pengolahan dan lain-lain. Hal ini sangat diperlukan khususnya pada daerah pedesaan pertanian yang terpencil dimana kebutuhan bahan bakar fosil sangat sulit dipenuhi dan harganya yang mahal. Untuk itu penelitian ini difokuskan pada pengembangan teknologi konverter biogas yang dapat digunakan pada motor bensin bersilinder tunggal untuk penggerak mesin-mesin pertanian. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi

pemecahan masalah kesulitan bahan bakar fosil pada daerah terpencil yang memiliki potensi peternakan yang besar dan pada akhirnya akan dapat meningkatkan kegiatan agroindustri dan kesejahteraan masyarakat petani dan peternak.

Metode Penelitian

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Motor Bakar dan Penggerak Mula, Laboratorium Teknik Energi Terbarukan, dan Laboratorium Lapangan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem IPB pada bulan Juni sampai dengan Oktober 2013.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan biogas dari bahan baku kotoran hewan sapi. Sedangkan peralatan yang akan digunakan adalah motor bakar bensin, peralatan perbengkelan manufaktur, instrumentasi (*termokopel, thermorecorder, load cell, tachometer, barometer* dan *data recorder, Engine test bench dynamometer*) serta peralatan pengujian karakteristik biogas.

Metode

Penelitian ini dilakukan mengikuti metode baku dari proses rancang bangun yaitu identifikasi masalah, perumusan pemecahan masalah, rancangan fungsional, rancangan struktural, analisis teknik, gambar teknik, fabrikasi dan pengujian kinerja. Berdasarkan kriteria rancangan maka rancangan fungsional dari konverter biogas yang terdiri dari bagian venturi, selongsong venturi/ruang nozel, *choke, throttle, packing*, dan *flens, float chamber/* kantung penjatah. Rancangan struktural konverter biogas dibuat berdasarkan analisis teknik yang dirancang berdasarkan pemilihan dan kekuatan bahan, serta persyaratan teoritis dari pencampuran bahan bakar dan udara yang optimal. Untuk mendukung akurasi rancangan struktural dilakukan simulasi menggunakan CFD untuk melihat kinerja pencampuran bahan bakar biogas dan udara pada konverter biogas.

Pengujian kinerja konverter biogas dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya pada kinerja daya poros motor bensin. Parameter yang diukur pada pengujian ini meliputi putaran motor, daya, dan torsi yang dihasilkan. Konverter diuji pada berbagai perlakuan sesuai jumlah lubang penyaluran biogas yang terbuka dimana jumlah lubang (*port*) biogas yang terbuka menentukan rasio luas penampang antara lubang udara masuk dan lubang biogas (Tabel 1).

Pengujian kinerja poros dilakukan menggunakan *dynamometer* merk Dyno-Mite dengan perangkat lunak Dyno-Max yang telah diinstal pada seperangkat komputer (Gambar 1). Pengujian dilakukan dengan metode standar pengukuran

Tabel 1. Rasio luas penampang dengan jumlah port yang berbeda

Jumlah lubang (port)	Rasio biogas/udara
2	1 : 5.556
4	1 : 2.778
6	1 : 1.852
8	1 : 1.389

kinerja motor bakar (Pramuhadi et al, 2010). Sebelum dilakukan pengujian, motor bensin akan dipanaskan terlebih dahulu dengan cara dinyalakan dan dibiarkan pada kecepatan putar rendah selama beberapa menit. Hal ini perlu dilakukan agar semua sistem di dalam motor berjalan normal, terutama sistem pelumasan.

Pengujian kinerja lapangan dilakukan dengan menggunakan beberapa jenis motor bensin penggerak mesin-mesin pertanian yang dalam penelitian ini menggunakan pompa air. Pada pengukuran kinerja lapang dievaluasi kinerja kerja mesin pertanian (pompa air) yang menggunakan konverter biogas berupa kapasitas kerja dan konsumsi bahan bakar biogas dengan beban kerja yang biasa digunakan pada saat kerja di lapangan.

Hasil dan Pembahasan

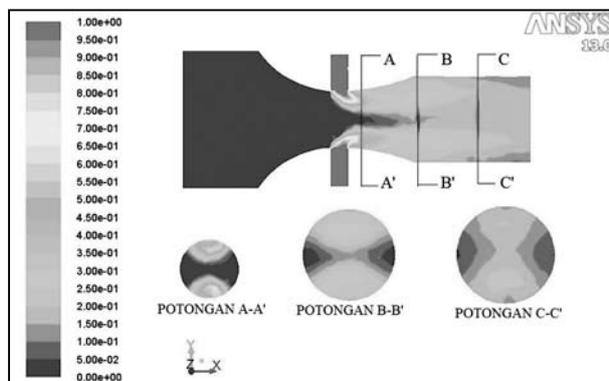
Simulasi Aliran Menggunakan *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

Simulasi CFD dilakukan dengan tujuan untuk memprediksi pola aliran dan campuran di dalam venturi pada konverter biogas. Beberapa parameter dapat diamati pada simulasi ini, diantaranya ialah fraksi campuran, kecepatan aliran, dan tekanan. Fraksi campuran hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 2.

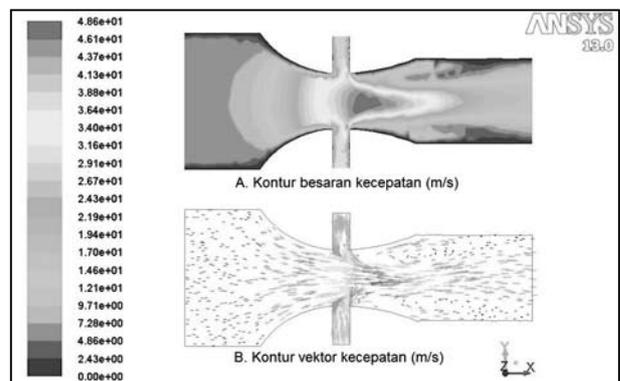
Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa biogas mampu menyebar dengan cukup merata ke seluruh bagian bagian saluran. Campuran yang merata atau homogen sangat penting dalam pembakaran. Campuran yang homogen dapat diartikan pula bahwa luas permukaan kontak antara molekul metana dan molekul oksigen besar. Hal ini berarti bahwa pembakaran akan semakin efisien dan semakin sedikit molekul metana yang tidak terbakar karena kurangnya molekul oksigen di sekitar molekul tersebut. Pada potongan A-A' dapat dilihat bahwa biogas masih terkonsentrasi pada dinding atas dan bawah venturi sebagai akibat dari posisi port biogas yang berada di atas dan di bawah. Pada potongan B-B' terlihat bahwa biogas mulai menyebar dan bercampur dengan udara. Pada potongan C-C' biogas dari port atas maupun port



Gambar 1. Pengaturan pengujian kinerja konverter dengan dinamometer



Gambar 2. Hasil simulasi CFD fraksi campuran udara dan biogas pada konverter.



Gambar 3. Hasil simulasi CFD kontur besaran kecepatan (A) dan kontur vektor kecepatan (B) pada konverter biogas

bawah telah bersatu di bagian tengah dan menjadi lebih homogen.

Secara teoritis, campuran udara - bahan bakar yang tepat secara stoikiometrik untuk biogas dengan kadar metana 60% ialah sebesar 1:5.74 atau sebesar 17.4%. (Keating, Eugene L., 1993) Dari hasil simulasi didapatkan bahwa campuran yang dihasilkan berada pada kisaran 10 hingga 20 persen. Hal ini menunjukkan bahwa konverter mampu mensuplai campuran pada rasio campuran yang cukup baik. Hal ini sangat penting dalam proses pembakaran di dalam silinder. Rasio yang terlalu kaya akan menyebabkan banyak molekul metana yang tidak terbakar sehingga pembakaran menjadi tidak efisien. Begitu sebaliknya apabila campuran terlalu miskin, akan ada banyak molekul oksigen yang tidak membakar apapun di dalam silinder. Selain itu, karena suplai energi yang masuk ke dalam silinder lebih rendah maka daya motor yang dihasilkan pun akan lebih rendah

Sementara itu pola kecepatan aliran dapat dilihat pada Gambar 3. Karakteristik aliran yang didapat dari

hasil simulasi cukup baik. Biogas mampu mengalir terhisap ke dalam venturi pada kecepatan sekitar 30 m/s dan langsung ikut terbawa dalam aliran udara yang berkecepatan sekitar 45 m/s pada leher venturi. Pada gambar kontur besaran kecepatan dapat dilihat bahwa aliran pada corong atau *cone venturi* cenderung terkonsentrasi di tengah dan pada bagian dinding aliran berjalan lambat. Apabila dibandingkan dengan vektor kecepatan pada gambar B dapat disimpulkan bahwa terjadi turbulensi pada bagian ini, sehingga campuran hanya berputar-putar dan tidak langsung mengalir menuju *intake manifold*. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh sudut corong venturi yang terlalu besar, sehingga aliran cenderung turbulen pada bagian tersebut. Cara untuk mengatasi hal ini ialah dengan mengurangi sudut corong venturi, namun pada praktiknya hal ini sulit dilakukan karena mengurangi sudut corong berarti pula menambah panjang venturi, padahal ruang yang tersedia untuk venturi dan katup *throttle* sangatlah terbatas.

Prototipe Konverter Biogas

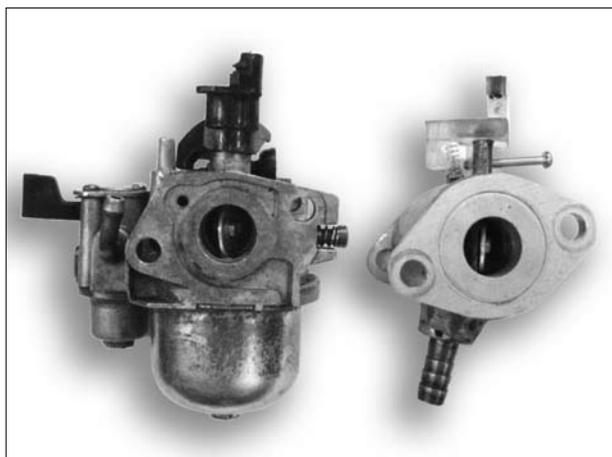
Pembuatan prototipe konverter biogas dilakukan berdasarkan hasil rancangan struktural dan gambar desainnya. Perbandingan antara konverter biogas hasil rancangan dan karburator bahan bakar bensin yang asli ditunjukkan pada Gambar 4.

Pada Gambar 4 terlihat bahwa bentuk karburator biogas lebih sederhana apabila dibandingkan dengan karburator bensin. Hal ini disebabkan karena banyak bagian - bagian pada karburator bensin yang tidak lagi dibutuhkan pada karburator biogas, seperti mangkok penampung bensin, filter bahan bakar, dan pelampung. Karburator biogas yang telah dibuat secara umum telah memenuhi kriteria perancangan yang ditentukan. Prototipe yang dibuat telah berfungsi dengan baik pada setiap komponennya dan sesuai dengan gambar kerja yang dibuat.

Pemasangan konverter biogas ini tidak mengubah apapun pada motor bensin kecuali karburator asli yang dilepas. Setelah prototipe dibuat dan dicoba dipasangkan pada motor, diketahui bahwa konverter sama sekali tidak mengganggu kinerja bagian lain pada motor dan tuas *throttle* pada karburator mampu mengikuti mekanisme *throttle* yang ada pada motor. Prototipe konverter biogas yang telah terpasang pada motor bensin dapat dilihat pada Gambar 5.

Kinerja Konverter Biogas

Gambar 6 memperlihatkan grafik kinerja poros pada pengujian dengan 2 sampai 8 buah lubang pemasukan biogas. Konverter dengan 8 buah lubang (Gambar 6a) secara umum cukup sulit untuk dioperasikan. Kesulitan ini disebabkan karena rasio luas penampang antara lubang udara dan biogas terlalu kecil, hanya sebesar 1 : 1.39, padahal secara teoritis campuran yang ideal untuk



(a)

(b)

Gambar 4. Perbandingan karburator bensin (a) dan karburator biogas hasil rancangan(b)



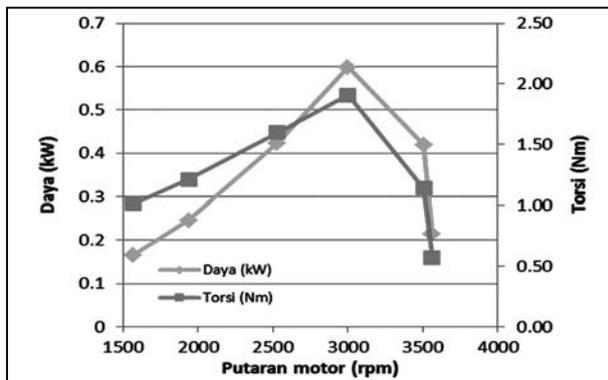
Gambar 5. Konverter biogas yang dipasang pada motor bensin

pembakaran biogas adalah sebesar 1 : 5.7. Hal ini akan menyebabkan campuran yang masuk ke dalam silinder terlalu kaya dan tidak bisa terbakar. Untuk mengatasi hal ini, dalam pengujian ada satu orang yang bertugas mengatur bukaan katup biogas hingga diperoleh bukaan yang tepat untuk menahan laju biogas sehingga campuran tidak terlalu kaya. Rasio yang terlalu jauh dari teori juga menyebabkan hasil pengujian kinerja konverter lubang 8 menunjukkan hasil yang paling buruk di antara semua perlakuan yang diuji. Torsi maksimum yang mampu dicapai hanya berada pada kisaran 2.1 Nm dan daya maksimum berada pada kisaran 0.7 kW.

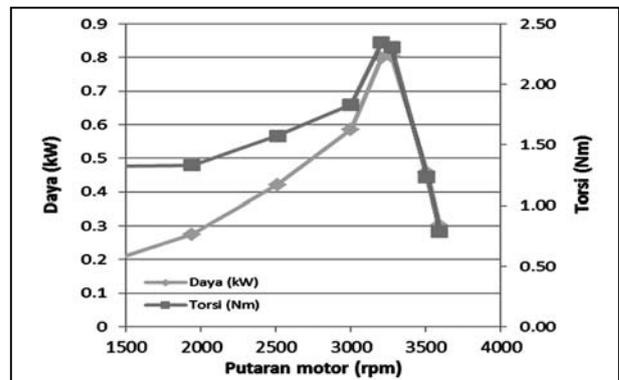
Secara umum karakteristik motor bakar dengan konverter 6 lubang (Gambar 6b) tidak jauh berbeda dengan motor dengan konverter 8 lubang. Torsi yang mampu dihasilkan berada pada kisaran 2.5 Nm dan daya yang dihasilkan ada pada kisaran 0.8 kW. Hal ini diakibatkan karena rasio luas penampang lubang udara dan biogas lebih mendekati teori dibanding pada karburator 8 lubang. Saat pembebanan dilakukan, motor lebih mampu menahan beban yang diberikan, hal ini terlihat dari bentuk ketiga grafik di atas. Walau hasil yang dicatat lebih baik dibanding karburator lubang 8, namun karburator lubang 6 ternyata masih tidak layak untuk diaplikasikan di lapangan.

Pada pengujian karburator dengan 4 lubang (Gambar 6c) didapatkan daya yang paling besar diantara semua perlakuan yang diuji. Pada pengujian ini didapatkan daya maksimum mencapai 1.415 kW pada 3664 rpm dan torsi maksimum sebesar 3.631 Nm pada 3664 rpm. Karburator lubang 4 memiliki rasio luas penampang 1 : 2.778, lebih mendekati teori dibanding dua pengujian sebelumnya. Meskipun belum sesuai dengan teori, namun kinerja motor dengan karburator 4 lubang lebih baik dibanding dua perlakuan sebelumnya.

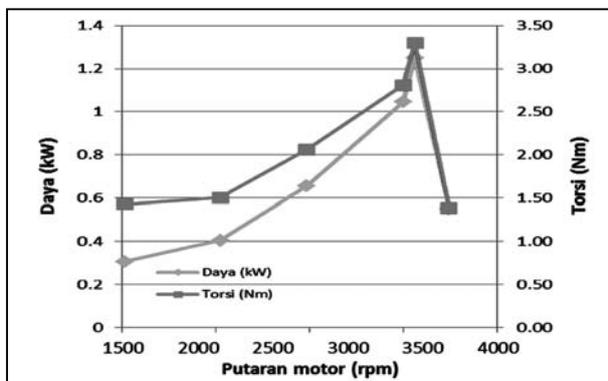
Kurva kinerja konverter dengan dua lubang ditunjukkan pada (Gambar 6d). Pada pengujian konverter dengan dua lubang, didapatkan daya maksimum mencapai 0.979 hp pada 3146 rpm dan torsi maksimum mencapai 4.307 Nm pada 1521 rpm. Konverter dengan dua lubang ini dirasakan oleh operator penguji sebagai karburator yang paling mudah untuk dinyalakan. Pengaturan katup tidak sesulit pada karburator lubang 8, 6, ataupun 4. Operator cukup membuka katup dan motor dapat dinyalakan dengan mudah. Saat diuji pembebanan menggunakan dinamometer, karburator dengan 2 lubang mampu melawan beban yang diberikan dinamometer dengan menambah torsi. Hal ini sangat terlihat dari ketiga grafik di atas. Pada grafik Gambar 6d terlihat bahwa torsi semakin tinggi pada putaran rendah, sementara daya mencapai



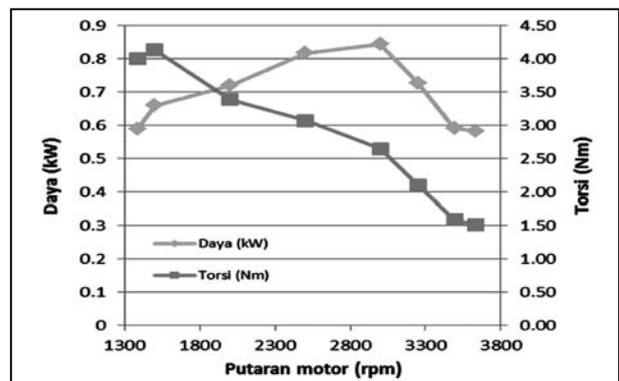
a. 8 lubang



b. 6 lubang



c. 4 lubang



d. 2 lubang

Gambar 6. Grafik kinerja motor bensin dengan konverter biogas pada jumlah lubang pemasukan biogas yang berbeda.

Tabel 2. Perbandingan daya pada motor antara bahan bakar biogas dengan bahan bakar bensin.

No.	Jumlah lubang	Kinerja yang dicapai		Penurunan yang terjadi	
		Daya (kW)	Torsi (Nm)	Daya	Torsi
1	8	0.70	2.12	62.4 %	65.8 %
2	6	0.83	2.51	55.2 %	59.6 %
3	4	1.30	3.42	30 %	45 %
4	2	0.89	3.83	52 %	38.3 %

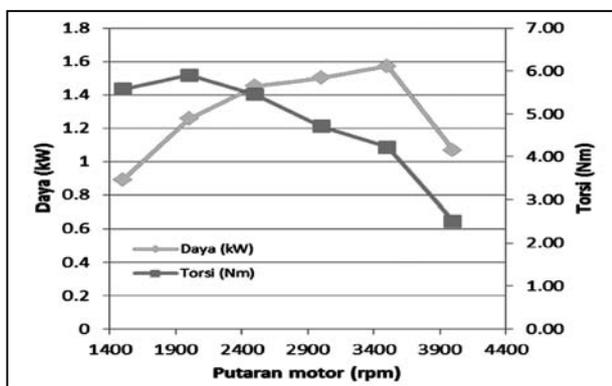
puncaknya pada kisaran 2000 hingga 3000 rpm. Bentuk grafik ini merupakan yang paling mendekati grafik kinerja motor yang ideal.

Hal yang menarik dari pengujian – pengujian di atas ialah bahwa walaupun kinerja motor secara keseluruhan yang paling baik diperoleh pada karburator dengan 2 lubang, namun daya maksimum yang dicapai justru diperoleh dari karburator dengan 4 lubang. Menurut Ganesan (2007), Campuran yang menghasilkan daya maksimum akan jauh lebih kaya dibandingkan dengan campuran stoikiometrik, sedangkan campuran yang paling ekonomis akan sedikit lebih miskin dibanding campuran stoikiometrik. Hal inilah yang menyebabkan daya maksimum diperoleh pada karburator 4 lubang, bukan pada dua lubang. Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa karburator dengan 2 lubang

memberikan hasil yang paling baik dan paling layak untuk diaplikasikan di lapangan sebagai salah satu langkah untuk memanfaatkan energi terbarukan yang ada di sekitar kita.

Hasil pengujian kinerja motor menggunakan bahan bakar bensin dan semua komponen standar diperlihatkan pada Gambar 7.

Dari grafik Gambar 7 terlihat bahwa kinerja motor masih cukup baik. Hal ini diperlihatkan dengan bentuk kurva torsi dan daya yang masih cukup baik. Walaupun demikian, kondisi motor sudah tidak 100% sesuai dengan kondisi yang diiklankan oleh produsen. Pada kondisi baru, motor ini seharusnya mampu menghasilkan daya hingga 3.5 hp atau setara 2.61 kW. Namun pada pengujian ini didapatkan daya maksimum yang dicapai rata-rata hanya sebesar 1.86 kW dan torsi sebesar 6.21 Nm. Apabila dibandingkan dengan kinerja motor ketika dijalankan dengan bahan bakar biogas, terjadi penurunan yang cukup drastis. Penurunan kinerja ini dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 7. Grafik kinerja motor dengan bahan bakar bensin

Kinerja Konverter Biogas di Lapangan

Setelah berhasil melakukan pengujian kinerja konverter biogas di Laboratorium menggunakan dinamometer maka, kegiatan selanjutnya adalah melakukan pengujian kinerja konverter biogas di lapang menggunakan mesin pertanian. Dalam penelitian ini mesin yang digunakan adalah mesin pompa air. Alasan menggunakan mesin pompa air adalah karena mesin pompa air merupakan salah satu mesin pertanian yang banyak dibutuhkan pada



Gambar 8. Pengaturan pada pengujian lapang menggunakan mesin pompa air.

Tabel 3. Jarak semprot dan debit pompa air menggunakan konverter biogas.

Putaran Motor (rpm)	Jarak (meter)	Debit (l/menit)
1650	7.25	4.5
1850	9.20	5.6
2020	11.40	6.5

peternakan sapi dimana biogas dihasilkan. Dengan menggunakan konverter biogas ini maka diharapkan peternak sapi tidak perlu lagi membeli bahan bakar bensin untuk menjalankan mesin pompa airnya melainkan dapat menggunakan langsung biogas hasil dari peternakan itu sendiri.

Pengujian konverter biogas menggunakan mesin pompa air di lakukan di Lab. lapangan Siswadi Soepardjo dengan menggunakan mesin pompa air tipe piston bertekanan tinggi sebagaimana yang biasa digunakan untuk penyemprotan/pembersihan kandang sapi. Pengaturan mesin pada pengujian tersebut diperlihatkan pada Gambar 8. Air yang digunakan adalah air yang tersedia pada penampungan air yang ada pada tandon air. Selanjutnya pengukuran yang dilakukan adalah debit dari pompa air serta jarak jangkauan semprotan dari pompa. Disamping itu juga diamati kinerja mesin dengan cara mengamati getaran dan suara mesin pada saat mengoperasikan pompa air tersebut.

Hasil pegujian menunjukkan bahwa mesin pompa air dapat dioperasikan dengan baik menggunakan motor bensin yang menggunakan konverter biogas. Biogas ditempatkan di dalam kantung plastik berukuran 1 m³. Hasil pengujian berupa jarak jangkauan semprot dan debit pompa disajikan pada Table 3. Pada pengukuruan konsumsi bahan bakar biogas diketahui bahwa rata rata konsumsi bahan bakar biogas adalah 0.5 m³ biogas per jam operasi mesin. Konsumsi bahan bakar biogas ini tergantung dari beban kerja mesin tersebut. Semakin besar beban kerja, maka semakin tinggi konsumsi bahan bakar biogas yang digunakan.

Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan telah dilakukan dan direalisasikan dalam bentuk sebuah prototipe konverter biogas dan dari hasil pengujian diketahui bahwa motor bensin mampu menyala dengan bahan bakar biogas dengan konverter biogas hasil rancangan.
2. Hasil pengujian menunjukkan konverter biogas dengan 2 lubang dengan rasio luas penampang 1 : 5.56 menghasilkan kinerja yang paling baik, dengan daya maks sebesar 0.979 kW pada 3146 rpm dan torsi maksimum sebesar 4.307 Nm pada 1521 rpm.
3. Setelah dibandingkan dengan kinerja motor berbahan bakar bensin, diketahui terjadi penurunan kinerja sebesar 52% untuk daya dan 38.3% untuk torsi pada karburator 2 lubang.
4. Pengujian lapangan dari konverter biogas dengan mesin pompa air menunjukkan hasil kinerja yang baik dengan debit maksimum 6.5 l/ menit.

Daftar Pustaka

- Ganesan V. 2008. *Internal Combustion Engine. Second Edition*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- Harikishan S. 2008. *Biogas Processing and Utilization as an Energy Source*. In: Khanal, Samir Khumal(ed). *Anaerobic for Bioenergy Production*. Iowa: Wiley-Blackwell, 267-291.
- Herringshaw B. 2009. A Study of Biogas Utilization Efficiency Highliting Internal Combustion Electrical Generator Units [undergraduate honors thesis]. Ohio: College of Food, Agricultural, and Biological Engineering, The Ohio State University.
- Keating, Eugene L. 1993. *Applied Combustion*. 270 Madison Avenue, New York: Marcell Dekker, Inc.
- Pramuhadi G, Desrial, Hermawan W, Sembiring EN. 2010. *Buku Pedoman dan Lembar Kerja Praktikum Motor dan Tenaga Pertanian*. Bogor: Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Insititut Pertanian Bogor.
- Wahyuni S. 2011. *Menghasilkan Biogas dari Aneka Limbah*. Jakarta: Agromedia Pustaka

Technical Paper

Perkembangan Desain dan Kinerja Aerator Tipe Kincir

Design and Performance of Paddle Wheel Aerator Development

Samsul Bahri, Mahasiswa pascasarjana Ilmu Keteknikan Pertanian Institut Pertanian Bogor dan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe, Email: soel_73@yahoo.com
 Radite Praeko Agus Setiawan, Departemen Teknik Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
 Email: iwan_radit@yahoo.com
 Wawan Hermawan, Departemen Teknik Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
 Email: w_hermawan@ipb.ac.id
 Muhammad Zairin Yunior, Departemen Budidaya Perairan, Institut Pertanian Bogor.

Abstract

Paddle wheel aerator widely used in aquaculture because it has the function of aeration and circulation as well as their construction is simple. However, its efficiency is not maximized so it is still expensive in operation because of the large power consumption. Aerator performance is an important factor in the selection and use of the aerator as it relates to investment and operating cost, so the paddle wheel aerator design development and improvement of the performance of the operation is still possible to do. Developing of three-dimensional blade with the optimum geomerty and blade development that can move is a solution that can be done. The study aims to review the principle of aeration, performance test, evaluation criteria, and performance comparison aerator design development that have been made so as to provide an alternative to the developing of performance improvement paddle wheel aerator. This article is a summary of the "state of the art" design and performance of a paddle wheel aerator development.

Keywords : design, aeration, paddle wheel, dissolved oxygen, efficiency

Abstrak

Aerator kincir banyak digunakan dalam budidaya air karena mempunyai fungsi aerasi dan sirkulasi yang baik serta konstruksinya sederhana. Namun demikian, efisiensinya belum maksimal sehingga masih mahal dalam pengoperasian karena besarnya pemakaian daya listrik. Kinerja aerator merupakan faktor penting dalam pemilihan dan penggunaan aerator karena berhubungan dengan biaya investasi dan operasional, sehingga pengembangan desain aerator kincir dan peningkatan kinerja pengoperasian masih memungkinkan untuk dilakukan. Pengembangan sudu tiga dimensi dengan geometri optimumnya dan pengembangan sudu yang dapat bergerak merupakan solusi yang dapat dilakukan. Kajian ini bertujuan menelaah kembali prinsip aerasi, uji kinerja, kriteria evaluasi, perbandingan kinerja dan perkembangan desain aerator yang sudah dilakukan sehingga dapat memberikan alternatif pengembangan guna peningkatan kinerja aerator kincir. Artikel ini merupakan rangkuman dari "state of the art" desain dan kinerja aerator kincir untuk penggunaan budidaya air.

Kata kunci: desain, aerasi, kincir, kelarutan oksigen, efisiensi.

Diterima: 12 November 2013; Disetujui: 15 Januari 2014

Pendahuluan

Tingkat keberhasilan budidaya tambak secara intensif sangat dipengaruhi oleh kemampuan petani untuk mengatasi penurunan kualitas air yang salah satunya masalah kelarutan oksigen yang rendah. Oksigen terlarut (*dissolved oxygen* atau *DO*) merupakan faktor yang sangat penting dalam budidaya ikan dan udang. Kekurangan oksigen dapat membahayakan hewan air karena bisa menyebabkan stress, mudah tertular penyakit, menghambat pertumbuhan bahkan

dapat menyebabkan kematian sehingga dapat menurunkan produksifitasnya (Kordi & Tacung, 2007). Atas dasar itulah perlu dilakukan usaha penyegaran kembali air atau aerasi dengan menggunakan aerator.

Salah satu tipe alat aerasi adalah aerator kincir (*paddle wheel*) yang mana merupakan aerator yang paling umum digunakan untuk tambak budidaya air (Wyban *et al.* 1989; Moore & Whitis 1999; Laksitanonta *et al.* 2003). Hal ini dikarenakan aerator kincir merupakan alat aerasi yang paling baik dari segi mekanisme aerasi dan tenaga penggerak yang

dapat digunakan (Avnimelech *et al.* 1992; Romaire & Merry 2007).

Beberapa model aerator tipe kincir, seperti aerator Taiwan tersedia di pasaran dan dipergunakan secara meluas karena harga yang relatif murah, ringan dan tahan korosi, namun aerator ini memiliki efisiensi aerasi yang rendah (Wyban 1989; Laksitanonta, 2003). Aerator buatan atau desain Taiwan mempunyai nilai SAE (standard aeration efficiency) $1.063 \text{ kg O}_2 \text{ kW h}^{-1}$ (Peterson & Walker 2002). Aerator rancangan Bhuyar *et al* (2009) mempunyai nilai SAE $2.269 \text{ kg O}_2 \text{ kWh}^{-1}$. Aerator kincir terbaik adalah rancangan Moore dan Boyd dengan nilai SAE $2.54 \text{ kg O}_2 \text{ kWh}^{-1}$. Beberapa pabrikan menggunakan dasar rancangan aerator 2.25-7.5 kW dengan nilai SOTR 17.4- 23.2 $\text{kg O}_2 \text{ h}^{-1}$ dan nilai SAE rata-rata nilai $2.2 \text{ kg O}_2 \text{ kW h}^{-1}$ (Moore & Boyd 1992).

Laju aerasi dipengaruhi oleh luas permukaan kontak air dan udara, perbedaan konsentrasi oksigen, koefisien lapisan film dan turbulensi yang terjadi (Boyd 1998). Geometri, ukuran, dan kecepatan putaran kincir mempengaruhi kinerja aerasi (Peterson & Walker 2002; Moulick *et al.* 2002). Kincir dengan ukuran yang lebih besar mempunyai kecenderungan aerasi yang lebih besar. Namun peningkatan laju aerasi tersebut selalu diikuti oleh besarnya tahanan gerak dari sudu sehingga membutuhkan tenaga penggerak kincir yang besar pula. Besarnya tenaga penggerak ini merupakan permasalahan tersendiri dalam penggunaan aerator tipe kincir karena berkenaan dengan biaya operasional yaitu konsumsi daya listrik ataupun penggunaan bahan bakar.

Bertolak dari pemikiran tersebut, maka akan dilakukan telaahan perkembangan desain dan kinerja aerator sehingga memberi alternatif pengembangan dan perbaikan desain guna peningkatan kinerja aerator tipe kincir.

Prinsip Aerasi

Aerasi adalah penambahan udara yang mengandung oksigen kedalam air. Aerasi dapat dilakukan dengan bantuan alat mekanik yang disebut aerator (Boyd, 1982). Aerasi dapat dilakukan dengan dua cara; yang pertama udara dimasukkan ke dalam air dengan dideburkan (*splasher aerator*) dan yang kedua gelembung udara dilepaskan ke dalam air (*bubbler aerator*). Seberapa banyak dan cepat gas (oksigen) dipindahkan kedalam dan keluar dari air tergantung pada kondisi kesetimbangan (konsentrasi jenuh) dan perpindahan massa (Boyd, 1998; Lekang, 2007).

Menurut Lekang (2007) pelarutan oksigen dalam air terjadi melalui tiga tahapan, yaitu gas oksigen dari udara menuju permukaan film, kemudian berdifusi melalui permukaan film dan terakhir bergerak kedalam massa air. Gaya dorong menyebabkan oksigen masuk ke air yang kurang jenuh dimana adanya perbedaan tekanan oksigen dalam air dan

tekanan oksigen di udara. Perbedaan ini lebih besar ketika konsentrasi DO dalam air 0 mg l^{-1} . Peningkatan konsentrasi DO dalam air menurunkan kekurangan oksigen (gaya dorong berkurang), sehingga laju pemindahan oksigen dari sebuah aerator menurun sebagaimana meningkatnya konsentrasi DO.

Tekanan oksigen di udara membawa oksigen ke dalam air hingga tekanan oksigen dalam air sama dengan tekanan oksigen di atmosfer. Ketika tekanan oksigen dalam air dan atmosfer sama, gerakan molekul oksigen dari atmosfer menuju air berhenti. Air dikatakan menuju kesetimbangan atau jenuh dengan oksigen terlarut ketika tekanan oksigen dalam air sama dengan tekanan oksigen di udara (Boyd, 1998). Konsentrasi oksigen terlarut dalam air pada saat jenuh bervariasi berdasarkan temperatur, salinitas, dan tekanan pengukuran. Temperatur dan salinitas yang tinggi akan menurunkan kelarutan oksigen dalam air (Benson dan Krause, 1984; Ruttanagosrigit *et al*, 1991; Fast *et al*, 1999 dan Vinatea, 2007). Pada kondisi normal (26°C , 0 ppt) kelarutan oksigen sekitar 8 ppm.

Oksigen terlarut atau *dissolved oxygen (DO)* diperlukan biota air untuk pernapasannya sehingga bila ketersediaannya di dalam air tidak mencukupi maka segala aktivitas biota akan terhambat (Kordi dan Tacung, 2007). Hal ini dapat terjadi pada malam hari, karena respirasi ikan, tumbuhan dan organisme lainnya mengakibatkan konsentrasi DO menurun drastis, sedangkan pada siang hari terjadi sebaliknya karena proses fotosintesis tanaman di dalam tambak banyak menghasilkan oksigen.

Metode Pengujian

Transfer oksigen dalam tambak

Pengujian kinerja aerator dalam memindahkan oksigen dapat dilakukan dengan pengujian tunak dan tidak tunak. Pengujian tunak dilakukan dengan pemasangan aerator dalam air dan mengukur volume aliran dan konsentrasi DO sebelum dan sesudah aerasi. Selisih massa DO antara aliran masuk dan aliran keluar menunjukkan massa pemindahan oksigen menuju air oleh aerator (Boyd, 1998). Metode ini sulit dilakukan karena aerator permukaan digunakan dalam budidaya tambak yang luas sehingga dibutuhkan aliran yang besar. Pengujian tak tunak dalam kolam lebih tepat untuk mengevaluasi kinerja aerator (American Society of Civil Engineers, 1992).

Pengujian keadaan tak tunak dilakukan dengan deoksigenisasi air kolam dengan sodium sulfat dan mengukur perubahan konsentrasi DO air reoksigenisasi oleh aerator. Pengujian aerator permukaan lebih tepat dilakukan pada kolam persegi dengan kedalaman 1–1.5 m, dimana rasio daya aerator-volume air tidak boleh melebihi 0.1 kW m^{-3} .

Pengujian kinerja aerator tergantung pada tipe

aerator. Menurut Lekang (2007) secara umum laju perpindahan oksigen dapat ditentukan berdasarkan pengukuran aliran massa (Q_w) dan perbedaan konsentrasi oksigen yang masuk dan meninggalkan aerator ($C_{out} - C_{in}$). Laju perpindahan oksigen atau *oxygen transfer rate* (OTR) dapat dihitung dengan persamaan:

$$OTR = Q_w (C_{out} - C_{in}) \quad (1)$$

Jika Q_w dalam (l/min), C_{out} dan C_{in} dalam (mg O_2 /l), persamaan berikut dapat digunakan untuk mendapatkan nilai OTR dalam kg perpindahan oksigen per jam :

$$OTR = 3.6 Q_w (C_{out} - C_{in}) \quad (2)$$

Laju perpindahan oksigen standar atau *standardized oxygen transfer rate* (SOTR) dalam kg/jam diberikan oleh persamaan berikut:

$$SOTR = K_{LA20} C_{20} V \times 10^{-3} \quad (3)$$

dimana:

K_{LA20} : koefisien perpindahan gas pada pengaerasian 20 °C (kg O_2 /h)

C_{20} : konsentrasi kesetimbangan pada 20 °C (kg O_2 /h)

V : volume tangki (m^3)

10^{-3} : faktor konversi gram ke kilogram

Pengujian di atas digunakan untuk air bersih, untuk kondisi lapangan diperlukan faktor koreksi sehingga dapat digunakan persamaan berikut:

$$OTR_f = SOTR \left(\frac{\beta C_s - C_w}{C_{s20}} \right) \theta^{T-20} (\alpha) \quad (4)$$

dimana:

OTR_f : laju perpindahan oksigen aktual dibawah kondisi operasi lapang

SOTR: laju perpindahan oksigen standar (kg/h)

α : faktor koreksi lapang (bervariasi sesuai dengan tipe aerator, geometri kolam, dan tingkat pencampuran)

β : faktor koreksi lapang untuk perbedaan solubiliti oksigen

θ : faktor koreksi temperatur

C_s : konsentrasi oksigen pada kondisi jenuh dan temperatur pengukuran

C_{s20} : konsentrasi oksigen pada keadaan jenuh pada 20 °C

C_w : konsentrasi oksigen dalam air yang teraerasi

Semua aerator membutuhkan energi penggerak dan pemilihan aerator dengan efisiensi tinggi adalah hal yang penting, efisiensi aerasi standar atau *standardized aeration efficiency* (SAE) dalam kg O_2 / kWh dapat dihitung:

$$SAE = \frac{SOTR}{Power\ input} \quad (5)$$

Sedangkan untuk kondisi lapang, efisiensi aerasi lapang atau *field aeration efficiency* (FAE) dapat dihitung:

$$FAE = \frac{OTR_f}{Power\ input} \quad (6)$$

Efektifitas dari aerator atau *effectiveness* (E) dapat dihitung:

$$E = \frac{(C_{out} - C_{in})}{(C_{sat} - C_{in})} \times 100 \quad (7)$$

dimana:

C_{in} : konsentrasi gas dalam cairan masuk aerator atau sebelum menghidupkan aerator

C_{out} : konsentrasi gas dalam cairan keluar aerator atau setelah penggunaan aerator

C_{sat} : konsentrasi gas pada keadaan jenuh

Sirkulasi air

Kemampuan aerasi berupa penambahan oksigen merupakan fungsi utama dari aerator, disamping itu pergerakan air yang dihasilkan oleh aerator juga memberi keuntungan. Sirkulasi air selama aerasi dengan menggerakkan air teroksigenisasi dari aerator ke bagian lain tambak, menurunkan destratifikasi suhu dan kimiawi (Avnimelech, 1992. Romaine, 2007). Gerakan air yang dihasilkan oleh aerator membantu mempertahankan efisiensi tinggi perpindahan oksigen karena air teroksigenasi baru di putar menjauh dari aerator dan digantikan oleh air dengan konsentrasi DO rendah.

Moore dan Whitis (1999) menyebutkan aerasi oleh kincir menghasilkan keseragaman DO pada setiap kedalaman air dalam tambak, demikian juga hasil yang ditemukan oleh Rogers dan Fast, 1988. Air bergelombang mempunyai efek negatif terhadap peningkatan konsumsi oksigen ikan, karena ikan harus mengeluarkan energi yang lebih banyak untuk berenang, namun hal ini bukanlah faktor penting pada kondisi tambak yang baik.

Boyd dan Martinson (1984) mengemukakan dua pengujian sirkulasi air, yaitu pengujian pewarnaan dan penggaraman. Pada pengujian pewarnaan, pewarna yang sangat pekat dituang di depan aerator dan diukur waktu yang dibutuhkan aerator untuk menyebarkan pewarna pada permukaan tambak. Pengujian garam juga dapat digunakan untuk menghitung waktu yang diperlukan aerator untuk mencampur sejumlah volume air masuk ke dalam tambak. Salinitas diperoleh dari sodium clorida yang dilarutkan dalam kontainer besar dengan 100-200mg l^{-1} yang dituangkan sekeliling aerator. Hubungan spesifik diukur dengan interval tempat dan kedalaman sampai semua mempunyai nilai hubungan spesifik yang sama. Laju pencampuran dapat diestimasi:

$$MR = \frac{AD}{PT} \quad (8)$$

dimana

MR : laju pencampuran ($m^3 \text{ kW h}^{-1}$)

A : luas tambak (m^2)

D : kedalaman (m)

P : konsumsi daya aerator (kW)

T : waktu pencampuran (h).

Kemampuan sirkulasi air dari aerator juga dapat diestimasi dari volume air keluaran atau dari kecepatan air keluaran. Laju pemompaan dari aerator yang airnya dikeluarkan dapat diestimasi dari kurva pompa atau dari pengukuran, sedangkan kecepatan air pada interval jarak dari aerator diukur dengan meteran arus.

Perbandingan Kinerja Aerator

Sejumlah pengujian aerator telah dilakukan, khususnya dalam hal efisiensi pemindahan oksigen. Boyd dan Ahmad (1987) menguji sejumlah aerator listrik dengan nilai $SOTR$ dan SAE , dimana nilai SAE didasarkan pada estimasi daya pengereman. Hasilnya memperlihatkan nilai $SOTR$ mempunyai jangkauan lebih luas dari nilai SAE dengan aerator yang bervariasi ukuran. Data tersebut menunjukkan bahwa aerator *paddle wheel* (kincir) umumnya lebih efisien dibandingkan aerator tipe *propeller-aspirator-pump*, *vertical pump*, *pump sprayer* dan *diffused air*, dengan nilai SAE terendah dipunyai oleh aerator *diffused air*. Pengujian berikutnya oleh Boyd dan Moore (1993) menyimpulkan bahwa aerator *diffused air* dapat mempunyai nilai SAE sama baiknya dengan aerator tipe *paddle wheel* jika diffuser yang digunakan mencukupi sehingga dapat melepaskan udara menuju air dengan laju yang rendah. Jika udara dilepaskan cukup lambat, nilai SAE tinggi bahkan dapat dicapai dalam tambak dengan hanya kedalaman 1 m. Aerasi menggunakan hembusan udara dengan instalasi kedalaman diffuser 4 m dan dipasang lubang bor

dengan kedalaman 3 m pada bagian dasar dalam kedalaman tambak 1 m diperoleh SAE $6.37 \text{ kg O}_2 \text{ kW h}^{-1}$ (Boyd, 1995).

Aerator kincir yang serupa rancangan Ahmad dan Boyd (1988) lebih tinggi nilai $SOTR$ dan SAE . Beberapa pabrikan menggunakan dasar rancangan aerator 2.25-7.5 kW dengan nilai $SOTR$ 17.4- 23.2 $\text{kg O}_2 \text{ h}^{-1}$ dan nilai SAE 2.6 - 3.0 $\text{kg O}_2 \text{ kW h}^{-1}$, dimana rata-rata nilai SAE untuk aerator tersebut adalah $2.2 \text{ kg O}_2 \text{ kW h}^{-1}$.

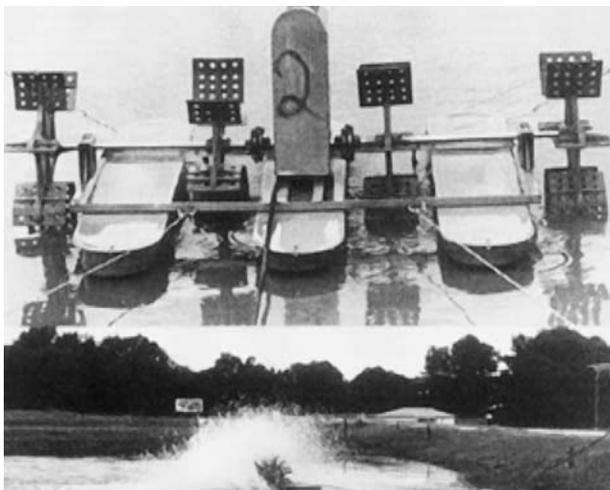
Boyd dan ahmad (1987) menguji beberapa pompa sprayer bertenaga traktor dan aerator kincir. Nilai $SOTR$ berkisar 7.8 sampai $73.8 \text{ kg O}_2 \text{ h}^{-1}$. Daya yang diaplikasikan untuk poros aerator tidak diukur, namun untuk aerator pump sprayer membutuhkan traktor yang lebih besar dari pada aerator kincir. Satu aerator *pump sprayer* membutuhkan traktor 60 kW dan mempunyai $SOTR$ $21.2 \text{ kg O}_2 \text{ h}^{-1}$, sedangkan satu aerator kincir membutuhkan traktor 50 kW dan mempunyai $SOTR$ $29.8 \text{ kg O}_2 \text{ h}^{-1}$.

Pengujian kemampuan untuk mensirkulasikan air menunjukkan bahwa aerator *propeller aspirator pump* jauh lebih efisien dalam pencampuran air tambak dari pada aerator *vertical pump*. Sebuah aerator *propeller-aspirator-pump* 1.5 kW menyebar pewarna pada permukaan tambak 0.4 ha dalam waktu 32 menit, sedangkan sebuah aerator *vertical pump* 2.25-kW dengan waktu yang sama menyebarkan pewarna hanya seperlima permukaan tambak (Boyd and Martinson, 1984). Aerator kincir 2.25-kW menyebar pewarna pada tambak 0.4-ha dalam waktu 28 menit.

Pengujian laju pencampuran air dari aerator permukaan lebih baik diperoleh dengan pengujian pencampuran garam, sebab pengujian ini mengevaluasi pencampuran dari seluruh volume tambak bukan hanya air permukaan. Laju pencampuran untuk aerator *propeller-aspirator-pump*, aerator *vertical pump* dan aerator kincir berturut-turut adalah 1778, 305, $3235 \text{ m}^3 \text{ kW h}^{-1}$.

Pengujian kinerja pengerasian dalam kolam (Boyd and Ahmad, 1987) mengindikasikan bahwa aerator kincir lebih efisien dalam pemindahan oksigen dan pensirkulasian air dari pada aerator tipe lain yang biasa digunakan dalam budidaya air. Untuk aerator 1 kW dan lebih besar, aerator kincir sama atau lebih rendah biaya dari pada aerator lainnya. Bagaimanapun, aerator kincir kecil lebih mahal dari pada tipe aerator elektrik kecil lainnya, sebab gigi motor dibutuhkan untuk aerator kincir kecil sangat mahal. Untuk alasan ini, aerator *vertical pump*, aerator *propeller-aspirator-pump* dan aerator *diffused air* lebih umum digunakan dalam tambak kecil dari pada aerator kincir meskipun aerator kincir lebih efisien (Boyd, 1998).

Meskipun aerator kincir buatan Taiwan secara luas digunakan dalam budidaya air, namun aerator ini tidak seefisien aerator tipe kincir lainnya (Gambar 1). Aerator buatan Taiwan mendominasi pasar lebih disebabkan oleh harga yang relatif tidak mahal,



Gambar 1. Aerator kincir Taiwan

ringan, cocok untuk tambak intensif, tahan korosi, dan kebaikan lainnya sehingga aerator ini sangat terkenal dalam penggunaan budidaya tambak udang intensif di Asia (Wyban et al, 1989, Peterson 2002, Laksitanonta, 2003)

Perkembangan Desain Aerator Kincir

Oleh karena beberapa keunggulan, aerator kincir terus dikembangkan dalam hal desain guna mendapatkan efisiensi yang lebih baik. Sebuah aerator kincir listrik biasanya terdiri dari sebuah motor, mekanisme reduksi kecepatan, pedal kincir dan pelampung. Efisiensi transfer oksigen aerator kincir tergantung pada rancangan dan karakteristik dari roda kincir, sehingga spesifikasi fabrikasi roda kincir sangat menentukan, sedangkan sistem pengapungan merupakan komponen yang lebih fleksibel.

Efisiensi transfer oksigen paling tinggi diperoleh dengan diameter kincir 91 cm, dengan pedal triangular 120^o-135^o (sudut dalam) melingkar pada poros (Ahmad dan Boyd, 1988). Pengujian ini dilakukan dengan celupan pedal 9-11 cm kedalam air dan putaran kincir 75-80 rpm. Kedalaman celupan pedal yang bertambah mengakibatkan kebutuhan daya akan meningkat dan efisiensi pemindahan oksigen akan menurun. Daya poros optimum sekitar 1 kW untuk setiap panjang pedal kincir 40 cm. Rancangan ini bekerja baik untuk aerator 2 kW keatas.

Moore dan Boyd (1992) mengembangkan aerator kincir dengan beberapa variasi diameter kincir (61-91 cm) dan panjang kincir (15-75 cm). Pengujian dilakukan pada kedalaman celupan pedal 8-18 cm dan kecepatan 75-125 rpm. Nilai SAE tertinggi diperoleh 2.54 kg O₂ kW h⁻¹ dengan diameter kincir 69 cm, kedalaman pedal 10 cm pada kecepatan 75 rpm. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, Moore dan Boyd memberikan persamaan hubungan antara parameter desain dan kinerja aerator kincir kecil sebagai berikut:

$$SOTR = 0.0325D + 0.0218L + 0.0913I + 0.0193S - 4.9693 \quad (9)$$

$$BP = 0.0228D + 0.0115L + 0.0555I + 0.0122S - 3.3256 \quad (10)$$

$$SAE = -0.0142D - 0.0065L - 0.0288I - 0.0063S + 4.3285 \quad (11)$$

dimana

- D : diameter kincir (cm)
- L : panjang kincir (cm)
- H : kedalaman kincir (cm)
- S : kecepatan kincir (rpm)
- BP: daya pengereman (kW).

Persamaan tersebut dengan asumsi: (1) pedal triangular dalam potongan melintang, dengan sudut bagian dalam 135^o dan lebar sisi bukaan 5 cm; (2) mempunyai empat barisan pedal yang masing-masing 90^o mengelilingi lingkaran poros; (3) barisan

pedal melingkar (offset 15^o antara dua baris) pada poros seperti ditunjukkan pada gambar 2.

Maulick (2002) juga mendesain dan membuat prediksi kinerja dari aerator kincir secara eksperimental. Prediksi didasarkan pada sifat fisik air dan udara, parameter aliran, dan parameter geometri dari sistem aerator. Ketiga faktor tersebut dikelompokkan dalam variabel geometri, variabel material dan variabel proses sebagai berikut:

Variabel geometri : h = kedalaman celupan pedal (L), b = lebar pedal (L), α = sudut kelengkungan (M⁰T⁰L⁰), l' = proyeksi horizontal panjang kelengkungan (L), s = jarak impeler (L), V = volume air yang diaerasi (L³), l = panjang sudu rotor(L), d = diameter rotor (L).

Variabel material : ρ_u = massa jenis udara (ML⁻³), ρ_a = massa jenis air (ML⁻³), D_L = difusi molekul oksigen dalam air (L² T⁻¹), u = viskositas kinematik air (L² T⁻¹), σ = tegangan permukaan air (M T⁻²).

Variabel proses : N = putaran (T⁻¹), g = percepatan gravitasi (L T⁻²). Hasilnya menunjukkan bahwa kinerja aerator kincir (SAE) berpengaruh nyata oleh parameter-parameter tersebut.

Variabel yang mempengaruhi laju perpindahan oksigen dinyatakan sebagai fungsi hubungan dari bentuk yang diberikan aerasi tangki sebagai berikut:

$$SOTR/\Delta c = f(h, b, \alpha, l', s, V, l, d, N, g, \rho_u, \rho_a, \sigma, \nu, D_L) \quad (12)$$

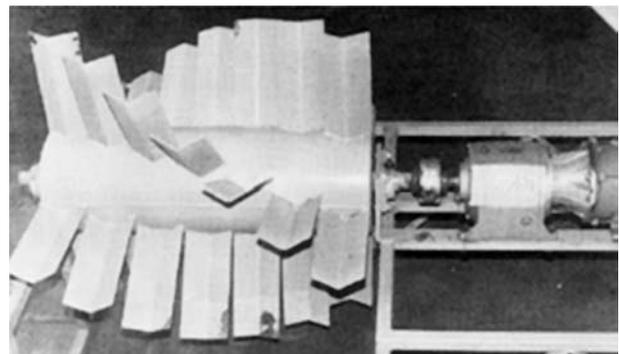
$$Y = f(h/d, b/d, \alpha, l'/d, s/d, V/d^3, l/d, \rho_u/\rho_a, \nu/D_L, N^2 d/g, Nd^2/\nu, N^2 d^3/\rho\sigma) \quad (13)$$

$$Ne = f(h/d, b/d, \alpha, l'/d, s/d, N^2 d/g, Nd^2/\nu) \quad (14)$$

$$SAE = Y/Ne = f(h/d, b/d, \alpha, l'/d, s/d, V/d^3, N^2 d/g, Nd^2/\nu) \quad (15)$$

dimana,

- Y = jumlah absorpsi = SOTR x (u/g²)^{1/3}/(Δc x d³)
- N² d/g = bilangan Froude, Fr
- Nd²/ν = bilangan Reynolds, Re
- N² d³/ρσ = bilangan Weber, We
- ν/D_L = bilangan Schmidt, Sc
- P/(ρN³d⁵) = bilangan Daya, Ne



Gambar 2. Aerator kincir Moore dan Boyd

Nilai Ne dan SAE pada persamaan tersebut tergantung hanya pada parameter dinamik Fr dan Re sehingga persamaannya untuk kesamaan geometri sistem adalah

$$Ne = f_0(F_r, R_e) \quad (16)$$

$$SAE' = f(F_r, R_e) \quad (17)$$

Hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk variasi perbandingan kedalaman celupan pedal dengan diameter rotor (h/d) 0.025-0.225, diperoleh nilai SAE optimal pada $h/d=0.125$. Untuk variasi perbandingan lebar pedal dengan diameter rotor (b/d) 0.1-0.4, diperoleh nilai SAE optimal pada $b/d=0.325$.

Untuk variasi sudut kelengkungan (α) 0-75⁰, diperoleh nilai SAE optimal pada $\alpha = 45^0$. Untuk variasi perbandingan panjang kelengkungan proyeksi horizontal dengan diameter rotor (l'/d) 0.025-0.075, diperoleh nilai SAE optimal pada $l'/d=0.0625$. Untuk perbandingan jarak kelengkungan dengan diameter rotor (s/d) $\pi/12$ - $\pi/14$, diperoleh nilai SAE optimal pada $s/d=0.5238$. Untuk variasi perbandingan volume air yang diaerasi dengan diameter rotor (v/d^3) 76.56-89.06, diperoleh nilai SAE optimal pada $v/d^3=82.81$.

Pengaruh penskalaan, untuk diameter yang sama peningkatan bilangan Froude meningkatkan nilai SAE , demikian juga dengan pembesaran diameter pada bilangan Froude yang sama mempunyai kecenderungan meningkatkan nilai SAE . Demikian juga dalam kaitannya dengan bilangan Reynold, namun pembesaran diameter pada bilangan Reynold yang sama mempunyai kecenderungan menurunkan SAE . Untuk diameter yang sama peningkatan bilangan Froude menurunkan nilai Ne , demikian juga dengan pembesaran diameter pada bilangan Froude yang sama mempunyai kecenderungan menurunkan nilai Ne . Begitu juga dengan bilangan Reynold, namun pembesaran diameter pada bilangan Reynold yang sama mempunyai kecenderungan meningkatkan nilai Ne .

Setiawan (2002) mendesain kincir dengan pedal menyerupai pedal kincir buatan Taiwan dengan panjang 214 cm, lebar 200 cm dan tinggi 80 cm. Aerator ini dapat meningkatkan kadar oksigen dari 5 ppm sampai batas jenuh (7.5 ppm) hanya dalam waktu 2 jam dengan membutuhkan daya sebesar 980 Watt.

Susanti (2003) melakukan pengujian lanjut kincir tersebut dengan memvariasikan diameter kincir (600 mm, 650 mm, 700 mm), kecepatan putar (80 rpm, 98 rpm, 116 rpm) dan kedalaman operasi pedal (50 mm, 100, 150 mm). Hasil pengujian menunjukkan efek aerasi terbaik dihasilkan oleh kincir dengan diameter 700 mm, kecepatan putar 98 rpm dan kedalaman operasi pedal 50 dan 100 mm.

Prasetya (2005) mengembangkan kincir hasil

desain Radite (2003) dengan variasi kelengkungan pedal (25⁰, 35⁰, 45⁰), jumlah lubang (20, 30, 40), kemiringan pedal (0⁰, 15⁰, 30⁰), dan kecepatan operasi (83, 96, 124 rpm).

Parameter pengujian yang dilakukan adalah diameter semburan, lebar semburan, persentase sebaran air, coverage area, coverage volume dan konsumsi daya listrik. Meskipun tidak disertakan parameter kelarutan oksigen (DO), namun hasil pengujian tersebut dapat memberi gambaran pengaruh desain terhadap efisiensi dari sebuah aerator kincir.

Hasil pengujian menunjukkan konsumsi daya terkecil adalah 518 watt pada perlakuan lengkung 35⁰, jumlah lubang 30, kemiringan pedal 30⁰ dan kecepatan putar 96 rpm. Sedangkan daya terbesar adalah 625 watt pada perlakuan lengkung 35⁰, jumlah lubang 20, kemiringan pedal 15⁰ dan kecepatan putar 124 rpm.

Diameter semburan air terbesar adalah 283 cm pada perlakuan lengkung 25⁰, jumlah lubang 20, kemiringan putar 0⁰, dan kecepatan putar 124 rpm. Sedangkan diameter semburan terkecil terjadi pada lengkung pedal 45⁰, jumlah lubang 40, kemiringan pedal 30⁰, dan kecepatan putar 83 rpm yaitu 113 cm. Lebar semburan air terbesar adalah 120 cm pada perlakuan lengkung pedal 45⁰, jumlah lubang 30, kemiringan pedal 0⁰, dan kecepatan putar 124 rpm. Sedangkan lebar semburan terkecil adalah 34 cm pada perlakuan pedal lengkung 25⁰, jumlah lubang 40, kemiringan pedal 30⁰, dan kecepatan putar 83 rpm. Persentase sebaran air terbesar adalah 99% yang terjadi pada perlakuan lengkung 25⁰, jumlah lubang 30, kemiringan pedal 15⁰, dan kecepatan putar 124 rpm. Sedangkan persentase sebaran terkecil terjadi pada perlakuan lengkung 35⁰, lubang 40, kemiringan pedal 30⁰, dan kecepatan putar pedal 83 rpm yaitu 50%.

Coverage area terbesar adalah 38761 cm² pada perlakuan lengkung 45⁰, jumlah lubang 20, kemiringan putar 0⁰, dan kecepatan putar 124 rpm. Sedangkan coverage area terkecil adalah 4360 cm² pada perlakuan lengkung 35⁰, jumlah lubang 40, kemiringan pedal 35⁰, dan kecepatan putar 83 rpm. Coverage volume terbesar adalah 4306771 cm³ pada perlakuan lengkung 45⁰, jumlah lubang 20, kemiringan putar 0⁰, dan kecepatan putar 124 rpm. Sedangkan coverage volume terkecil adalah 130804 cm³ pada perlakuan lengkung 35⁰, jumlah lubang 40, kemiringan pedal 30⁰, dan kecepatan putar 83 rpm.

Kombinasi perlakuan pedal lengkung 45⁰, jumlah lubang 20, kemiringan 0⁰, dan kecepatan putar 124 rpm menghasilkan efek aerasi yang optimum. Sedangkan perlakuan yang mempunyai keamatan paling tinggi terhadap besarnya coverage volume sekaligus kelarutan oksigen adalah kecepatan putar pedal.

Rosmawati (2009) melakukan pengujian kelarutan oksigen (DO) dengan bentuk desain pedal

seperti rancangan Prasetya (2005) pada variasi kecepatan 117, 138 dan 157 rpm. Hasil pengujian menunjukkan *DO* maksimum sebesar 4.88 mg/l di permukaan kolam diperoleh pada pengoperasian kincir pada kecepatan putar 157 rpm dengan kedalaman kincir 5 cm dari permukaan kolam, sedangkan *DO* minimum 2.84 mg/l di dasar kolam pada kecepatan 117 rpm.

Diameter semburan terbesar didapat pada perlakuan pedal lengkung 45°, jumlah lubang pada pedal 20, posisi pedal datar dan kecepatan putar 157 rpm. Diameter lubang terkecil didapat pada perlakuan pedal lengkung 45°, jumlah lubang pedal 20, posisi pedal datar dan kecepatan putar 117 rpm. Coverage area terbesar didapat pada perlakuan dengan kecepatan putar 157 rpm yaitu 41081 cm², sedangkan coverage area terkecil dengan kecepatan putar 117 rpm seluas 30485 cm². Konsumsi daya listrik terkecil adalah 560 watt pada kecepatan putar 117 rpm, sedangkan konsumsi daya listrik terbesar pada kecepatan putar 157 rpm dengan 622 watt.

Berdasarkan pengkajian yang telah dilakukan, selama ini usaha peningkatan efisiensi aerasi dilakukan dengan pengembangan sudu secara dua dimensi. Hal ini tidak memberikan hasil yang optimal karena kebutuhan daya untuk aerasi berbanding lurus dengan kenaikan laju aerasi, sehingga perlu alternatif pengembangan desain lainnya. Salah satunya yaitu pengembangandesain sudu tiga dimensi. Geometri sudu tiga dimensi seperti model *furrower* dapat mengurangi gaya hambat sehingga menurunkan konsumsi energi aerasi. Optimasi desain dapat dilakukan pada geometri sudu meliputi; bentuk, kelengkungan, kemiringan, diameter dan persentase luasan lubang dan kondisi operasi kincir meliputi; putaran dan kecelupan sudu.

Alternatif lainnya adalah pengembangan desain sudu dinamis, dimana selama ini usaha peningkatan efisiensi aerasi dilakukan dengan pengembangan sudu secara statis. Hal ini didasari bahwa daya aerasi diperlukan selama sudu memasuki air, sedangkan efek aerasi hanya terjadi saat sudu hendak keluar dari air. Mekanismenya dilakukan dengan menggerakkan sudu untuk menutup saat memasuki air dan membuka saat keluar dari air. Dengan mekanisme tersebut dapat mengurangi gaya hambat sudu namun tetap memberikan efek aerasi yang tinggi sehingga akan dapat meningkatkan efisiensi aerasi.

Simpulan

Aerator tipe kincir merupakan aerator yang paling umum digunakan untuk tambak budidaya air karena mempunyai keunggulan dibandingkan aerator tipe lainnya. Pengembangan desain dan kondisi operasi aerator kincir telah banyak dilakukan, efisiensi aerasi yang diperoleh 1-2.5 kg O₂ kWh⁻¹. Alternatif pengembangan dapat dilakukan secara statis

dengan pengembangan desain sudu tiga dimensi dan optimasi geometri, sedangkan secara dinamis dengan pengembangan desain kincir dengan sudu bergerak.

Daftar Pustaka

- Ahmad T, Boyd CE. 1988. Design and performance of paddle wheel aerators. *Aquac Eng* 7:39-62.
- American Society of Civil Engineers. 1992. Measurement of oxygen transfer in clean water. ANSI/ASCE 2-91. New York.
- Avnimelech Y, Mozes N, Weber B. 1992. Effects of aeration and mixing on nitrogen and organic matter transformations in simulated fish ponds. *Aquac Eng* 11:157-169.
- Benson BB, Krause D. 1984. The concentration and isotopic fractionation of oxygen dissolved in freshwater and seawater in equilibrium with the atmosphere. Lim no1. *Oceanogr* 29:620-632.
- Bhuyar LB, Thakre SB, Ingole NW. 2009. Design characteristics of curved blade aerator w.r.t. aeration efficiency and overall oxygen transfer coefficient and comparison with CFD modelling. *International Journal of Engineering, Science and Technology* 1: 1-15.
- Boyd CE. 1982. Water quality management for pond fish culture. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Boyd CE. 1995. Deep water installation of a diffused-air aeration system in a shallow pond. *Appl Aquac* 5:1-10.
- Boyd CE. 1998. Pond water aeration systems. *Aquac Eng* 18:9-40.
- Boyd CE, Ahmad T. 1987. Evaluation of aerators fo channel catfish farming. Alabama agricultural experiment station. Bulletin 584:52.
- Boyd CE, Martinson DJ. 1984. Evaluation of propeller-aspirator pump aerators. *Aquaculture* 36:283-292.
- Boyd CE, Moore JM. 1993. Factors affecting the performance of diffused-air aeration system for aquaculture. *Appl Aquac* 2:1-12.
- Fast AW *et al.* 1999. Paddle wheel aerator oxygen transfer efficiencies at three salinities. *Aquac Eng* 19:99-103.
- Kordi, MGHK, Tacung AB. 2007. *Pengelolaan kualitas air dalam budidaya perairan*. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Laksitanonta S, Singh S, Singh G. 2003. A review of aerators and aeration practices in Thai Aquaculture. *Agricultural Machanization in Asia, Africa and Latin America* 34 (4):64-71.
- Lekang OI. 2007. *Aquaculture Engineering*. UK: Blackwell Publishing.
- Moore JM, Boyd CE. 1992. Design of small paddle wheel aerators. *Aquac Eng* 11:55-69.
- Moore JM, Whitis GN. 1999. Vertical water circulation capabilities of an electric paddel

- wheel aerator and dissolved oxygen loss due to daytime aeration. *Appl Aquac* 9(3):25-36.
- Moullick S, Mal BC, Bandyopadhyay. 2002. Prediction of aeration performance of paddle wheel aerators. *Aquac Eng* 25:217-237.
- Peterson EL, Walker MB. 2002. Effect of speed on Taiwanese paddelwheel aeration. *Aquac Eng* 26:129-147.
- Praselia A. 2005. Kinerja aerator tipe kincir pada berbagai kondisi kelengkungan, jumlah lubang, kemiringan, dan kecepatan putar pedal. [skripsi]. Bogor. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Rogers GL. 1989. Aeration and circulation for effective aquaculture pond management. *Aquac Eng* 8:349-355.
- Romaire RP, Merry GE. 2007. Effect of paddle wheel aeration on water quality in crawfish pond. *Appl Aquac* 19(3):61-75.
- Rosmawati S. 2009. Pengaruh modifikasi aerator kincir tipe pedal lengkung pada peningkatan kadar oksigen air. [skripsi]. Bogor. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Ruttanagosrigit W, Musig Y, Boyd CE, Sukchareon L. 1991. Effect of salinity on oxygen transfer by propeller-aspirator-pump and paddle wheel aerators used in shrimp farming. *Aquac Eng* 10:121-131.
- Setiawan RPA. 2002. Aerator tipe kincir. Poster pada seminar nasional Crustaceae ke-2. Bogor 22-23 Agustus 2002.
- Susanti H. 2003. Kinerja aerasi kincir aerator pada berbagai kondisi putaran, ukuran diameter, dan kedalaman operasi. [skripsi]. Bogor. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Vinatea L, Carvalho JW. 2007. Influence of water salinity of the SOTR of paddle wheel and propeller-aspirator-pump aerators, its relation to the number of aerators per hectare and electricity cost. *Aquac Eng* 37:73-78.
- Wyban JA, Pruder GD, Leber KM. 1989. Paddle wheel effect on shrimp growth, production and crop value in commercial earthen ponds. *J World Aquac Soc* 20:18-23.

Technical Paper

Efek Paparan Musik dan Noise pada Karakteristik Morfologi dan Produktivitas Tanaman Sawi Hijau (*Brassica Juncea*)

*Effect of music and noise stimulations to the morphology characteristic and Productivity of Green Mustard (*Brassica Juncea*)*

Joko Prasetyo, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Institut Pertanian Bogor,
Email: jprasetyo2241@gmail.com

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

Abstract

*The objective of present study was to investigate the effect of various sounds on the green mustard's (*Brassica Juncea*) morphology characteristic and productivity. The plant has been subjected to three various sound, namely classical music (rhythmic violin music), machine and traffic noise, and mixed sound (classical music and traffic noise) with 70-75 dB sound pressure level, from germination to harvest for three hours (7-10 am.) each day. Six parameters, i.e. germination, plant height, leaf width, leaf length, total plant length, and fresh weight, related with growth and productivity of plant were been monitored on regular basis. The results showed classical music improves germination up to 15% for 36 hours, plant height 13,5%, leaf width 14,8%, leaf length 14,2%, and wet weight 57,1%. In general, exposure to classical music gives the best results on the morphological characteristics and productivity of green mustard.*

Keywords: Sound exposure, plant morphology, productivity, green mustard

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi efek paparan variasi suara terhadap karakteristik morfologi dan produktivitas tanaman sawi hijau. suara yang dipaparkan antara lain musik klasik (suara biola), bising lalu lintas dan mesin industri (*noise*) dan campuran antara musik klasik dan *noise*. Level suara yang digunakan berkisar antara 70-75 dB dimulai sejak masa perkecambah hingga panen selama 3 jam tiap harinya dimulai pukul 07.00-10.00. Enam parameter yang diamati dan diambil datanya meliputi, daya berkecambah, tinggi tanaman, lebar daun, panjang daun, panjang tanaman total dan berat basah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa musik klasik meningkatkan daya berkecambah sebesar 15%, tinggi tanaman sebesar 13,5%, lebar daun sebesar 14,8%, panjang daun sebesar 14,2%, dan berat basah sebesar 57,1%. Secara umum paparan musik klasik memberikan hasil terbaik terhadap karakteristik morfologi dan produktivitas sawi hijau.

Kata kunci: Paparan suara, morfologi, produktivitas, sawi hijau

Diterima: 21 Oktober 2013; Disetujui: 28 Januari 2014

Pendahuluan

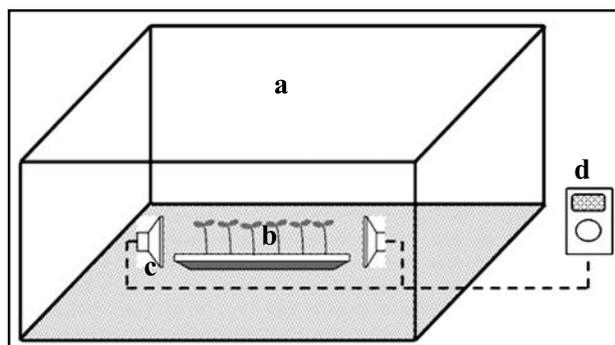
Kemajuan peradaban telah memacu perkembangan industri ke arah penggunaan mesin-mesin dan alat-alat transportasi sehingga menyebabkan kebisingan atau polusi suara. Pada sektor pertanian penyebab pencemaran suara dapat berasal dari suara mesin traktor, mesin pemanen dan mesin-mesin pertanian lainnya meski sumber pencemaran suara tersebut tidak terus menerus ada di lahan pertanian. Selain dari sumber tersebut, sektor non-pertanian seperti sektor industri dengan sumber pencemar suara

yang lebih beragam, seperti pencemaran suara di lingkungan pabrik, turut memberikan andil. Kondisi ini terjadi karena pesatnya perkembangan sektor industri menyebabkan alih fungsi lahan pertanian menjadi lokasi industri. Dengan demikian, hal ini memungkinkan lahan pertanian yang berdampingan atau berdekatan dengan lokasi industri sehingga tanaman di lahan pertanian terpapar oleh pencemaran suara. Paparan pencemaran suara, atau suara secara umum disinyalir memberikan pengaruh, baik pengaruh positif ataupun negatif terhadap pertumbuhan tanaman, sebagaimana yang juga terjadi pada hewan dan manusia.

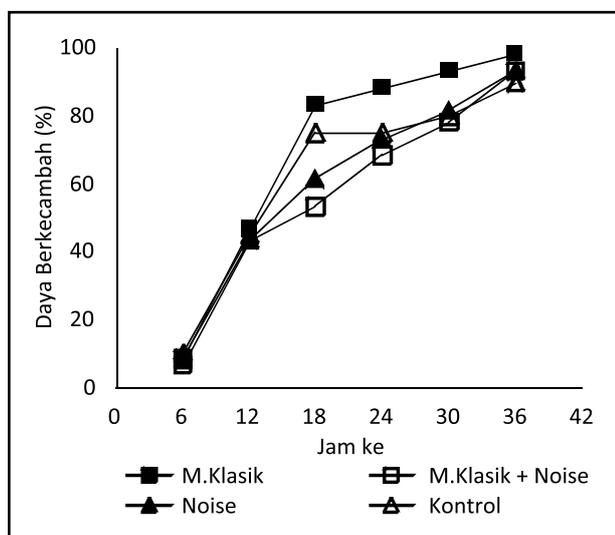
Beberapa dekade terakhir telah dilakukan penelitian tentang pengaruh suara terhadap pertumbuhan tanaman. Sebagian besar penelitian tersebut menggunakan suara tunggal dan teratur (musik) yang dilatarbelakangi pengaruh positif musik terhadap manusia, sehingga diharapkan berdampak serupa terhadap pertumbuhan tanaman. Salah satu teknologi dalam rangka meningkatkan produktivitas adalah melalui penerapan teknologi *sonic bloom*. Teknologi *sonic bloom* merupakan teknologi terobosan yang ditujukan untuk membuat tanaman tumbuh lebih baik. *Sonic bloom* memanfaatkan gelombang suara frekuensi tinggi yang berfungsi memacu membukanya mulut daun (stomata) yang dipadu dengan pemberian nutrisi (Mulyadi, 2005). Getaran bunyi dapat mempengaruhi pembukaan stomata daun menjadi lebih lebar (Kadarisman *et al* 2011), sehingga dapat menyerap air dan CO₂ lebih banyak dan mengoptimalkan proses fotosintesis, sehingga pertumbuhan dan produktivitas tanaman dapat ditingkatkan secara optimal.

Pada penelitian ini dikaji penggunaan gelombang bunyi dengan berbagai jenis suara, yang mana digunakan tiga suara yaitu musik klasik (suara biola), bising kendaraan dan mesin industri

(noise), dan campuran antara musik klasik dan noise. Penggunaan musik klasik sebagai salah satu variabel perlakuan mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Collins (2001) tentang pengaruh suara dengan frekuensi 5000Hz–14000Hz dapat mempengaruhi tinggi dan lebar daun tanaman kacang tanah secara signifikan jika dibandingkan dengan tanaman kacang tanah tanpa perlakuan. Penggabungan musik klasik dan noise dalam variabel perlakuan bertujuan untuk mengetahui seberapa signifikan pengaruh yang diterima jika dibandingkan dengan paparan musik klasik dan noise saja. Penelitian serupa juga pernah dilakukan oleh Yulianto (2008) yang menggunakan teknologi *sonic bloom* pada tanaman bawang merah yang disimpulkan dapat meningkatkan produktivitas hingga 2 ton/ha. Penggunaan tanaman sawi hijau dilatarbelakangi bahwa tanaman tersebut sangat responsif terhadap perubahan lingkungan. Oleh karena itu dari penelitian ini dapat dikaji pengaruh paparan suara bising (noise) terhadap karakteristik morfologi dan produktivitas sawi hijau, sekaligus dibandingkan hasilnya dengan paparan musik klasik dan campuran (musik klasik+noise).



Gambar 1. Skema alat penelitian a. chamber, b. petri, c. speaker aktif, d. mp3 player



Gambar 2. Grafik pengaruh jenis suara terhadap daya berkecambah

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium *Greenhouse* Siswadi Soeparjo, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Institut Pertanian Bogor. Alat-alat yang dipergunakan dalam penelitian diantaranya speaker aktif, mp3 player, sound level meter, penggaris, petri, sprayer, termometer, higrometer, dan chamber. Sedangkan bahan yang digunakan antara lain benih sawi hijau varietas toskan, arang sekam, kapas, dan air.

Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi dua tahap. Pertama adalah fase perkecambahan, dimana pada fase ini pemberian paparan suara dilakukan selama 3 jam setiap harinya mulai pukul 7.00–10.00. Pengamatan benih yang berhasil berkecambah dilakukan setiap 6 jam sekali selama 36 jam menggunakan pengamatan visual. Sedangkan yang kedua adalah fase pertumbuhan dimana paparan suara diberikan mulai disemai hingga umur 46 hari. Penyiraman dilakukan setiap pagi dan pemberian pupuk NPK dilakukan seminggu sekali. Chamber dibuat dari rangka kayu berukuran 100 x 50 x 50 cm dan menggunakan plastik transparan sebagai penutupnya. Penggunaan chamber bertujuan untuk meminimalisasi pengaruh suara dari luar, sehingga diharapkan tanaman murni dipengaruhi oleh treatment suara saja. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 1.

Benih sawi hijau ditanam pada kapas yang berada di dalam petri dan dimasukkan kedalam chamber dimana di dalamnya terdapat speaker aktif. Jumlah benih sawi yang digunakan pada fase perkecambahan sebanyak 20 benih tiap perlakuan,

sehingga total benih yang digunakan sebanyak 80 benih. Suara yang diberikan adalah musik klasik, *noise* dan campuran keduanya. Sebagai tanaman pembanding (kontrol) ditanam benih sawi dan diletakkan pada *chamber* tanpa paparan suara. Level suara yang digunakan berkisar antara 70-75 dB. Penggunaan level suara pada 70-75 dB didasarkan pada hasil terbaik penelitian pendahuluan yang telah dilakukan oleh penulis. Parameter daya berkecambah adalah banyaknya benih yang berhasil berkecambah pada ukuran waktu tertentu. Pada fase pertumbuhan yaitu dari semai hingga panen jumlah sampel yang digunakan sebanyak 10 tanaman tiap sampel, sehingga total sampel sawi yang digunakan ada 40 tanaman yang akan diamati karakteristik morfologinya. Setelah tanaman berusia 15 hari kemudian dipindahkan dari media persemaian menuju pot pembesaran hingga 32 hari kemudian.

Pada penelitian ini faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman sawi hijau dikondisikan homogen baik pH, kelembaban udara, suhu ruangan dan radiasi matahari. Hal ini dimaksudkan agar pertumbuhan sawi hijau hanya dipengaruhi oleh perbedaan jenis dan level suara pada sampel. Data hasil pengamatan diuji dengan analisa sidik ragam menggunakan program *Ms.Excel 2007* dan *SAS* versi 9.1.3. Jika hasil pengujian sidik ragam pada taraf $P < 0.05$ terdapat pengaruh nyata maka dilanjutkan dengan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*).

Hasil dan Pembahasan

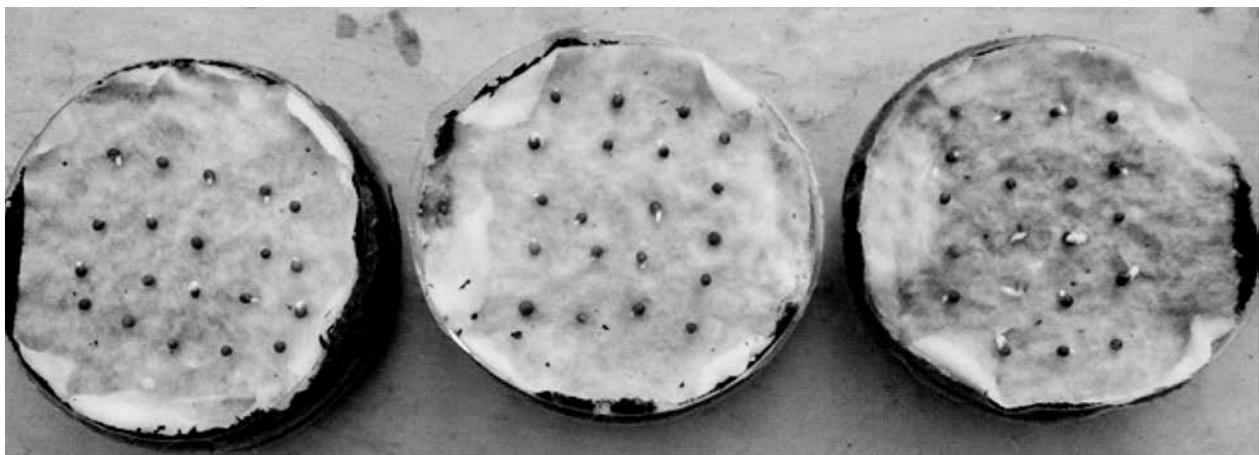
Hasil observasi awal di laboratorium greenhouse Siswadhi Soeparjo pada bulan April- Juni 2014 menunjukkan suhu harian berkisar antara 23,3°C hingga 40,1°C dengan suhu tertinggi pada pukul 12.00. Kelembaban udara berkisar mulai 52%

hingga 95%. Sedangkan untuk radiasi matahari sebesar 5,5 W/m² hingga dengan radiasi tertinggi mencapai 208,7 W/m² pada pukul 12.00. Dari pengukuran tersebut dapat disimpulkan bahwa kondisi lingkungan greenhouse relatif bersuhu cukup tinggi untuk budidaya sawi. Suhu yang ideal untuk tanaman sawi adalah 15°C-21°C pada malam hari dan 27°C-32°C pada siang hari (Francisca 2009)

Pengaruh Jenis Suara Terhadap Daya Berkecambah

Perlakuan stimulasi suara terhadap perkecambahan biji sawi hijau secara umum memberikan pengaruh, namun tidak signifikan. Pada jam ke 6 hingga jam ke 12 belum ada perbedaan yang signifikan dari ketiga perlakuan dengan tanaman kontrol. Perbedaan yang signifikan terjadi pada pengamatan jam ke 18, dari grafik di Gambar 2 terlihat bahwa paparan musik klasik meningkatkan daya berkecambah lebih baik dibandingkan dengan paparan *noise* dan campuran. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Creath *et al* (2004) yang melakukan penelitian dengan objek biji okra dan zucchini yang dipaparkan suara burung dan musik dapat mempercepat proses perkecambahan secara signifikan jika dibandingkan dengan suara *noise* dan tanpa paparan suara.

Pengamatan pada jam ke 30 memperlihatkan bahwa tidak ada perbedaan antara paparan suara *noise* dan campuran terhadap tanaman kontrol, dimana pada jam tersebut perkecambahan mencapai 80% sedangkan paparan musik klasik menghasilkan daya perkecambahan hingga 95%. Pada Gambar 3 dapat dilihat contoh penampakan visual biji sawi pada jam ke 30. Secara umum pada perlakuan ini dapat ditarik kesimpulan bahwa suara dapat meningkatkan daya perkecambahan biji sawi hijau. Mareza *et al* (2009) menyatakan bahwa paparan suara dapat merangsang aktivitas enzim pada kotiledon benih sehingga berkecambah



A

B

C

Gambar 3. Perkecambahan biji sawi setelah 30 jam.
A) Campuran m.klasik+*noise*, B) *Noise*, C) Musik Klasik

lebih cepat, selain itu dugaan lain mengindikasikan terjadi peningkatan vigor benih yang dapat meningkatkan daya berkecambah suatu tanaman. Penelitian serupa juga telah dilakukan oleh Suwardi (2010) yang melakukan penelitian stimulus suara dengan variasi frekuensi 1-15 kHz dengan objek biji kedelai, dimana pada penelitian tersebut didapatkan frekuensi 10 kHz merupakan frekuensi yang paling optimal untuk mempercepat proses perkecambahan biji kedelai.

Pengaruh Paparan Suara terhadap Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman merupakan ukuran tanaman yang paling sering diamati baik sebagai indikator pertumbuhan maupun sebagai parameter yang digunakan untuk mengukur pengaruh lingkungan atau perlakuan yang diterapkan. Hal ini dilakukan karena tinggi tanaman merupakan ukuran pertumbuhan yang paling mudah dilihat sebagai parameter pengaruh lingkungan. Sitompul et al (1995) menyatakan bahwa tinggi tanaman sensitif terhadap faktor lingkungan.

Perlakuan stimulasi suara terhadap tanaman sawi hijau berpengaruh nyata terhadap peningkatan tinggi tanaman. Pada tahap perlakuan ini paparan musik klasik memberikan peningkatan pertambahan tinggi tanaman yang paling baik dibandingkan dengan paparan suara *noise* ataupun campuran. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Iriani et al (2005), dimana stimulasi musik klasik menggunakan *sonic bloom* dapat meningkatkan tinggi tanaman tembakau hingga 30% di Kabupaten Kendal. Namun hasil dari perlakuan ini tidak sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Utami et al (2012) yang melakukan penelitian pengaruh musik klasik, pop, dan *hard rock* terhadap tinggi tanaman cabe keriting justru hasil pertambahan tinggi terbaik pada paparan musik *hard rock*.

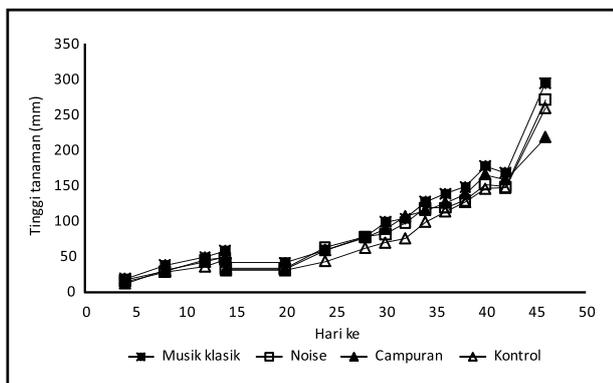
Pada Gambar 4 terlihat bahwa paparan musik klasik memberikan peningkatan tinggi tanaman terbaik sejak awal tanam hingga umur panen pada 46 setelah semai (HSS). Proses *transplanting* yang dilakukan pada hari ke 15 menyebabkan penurunan

tinggi tanaman, hal ini disebabkan pada proses ini batang bibit harus ditanam seluruhnya hingga batas percabangan. Tujuan dari pembenaman batang hingga batas percabangan untuk memperkuat tegakan tanaman pada proses pertumbuhan. Kondisi abnormal juga terlihat pada pengamatan hari ke 42, dimana laju peningkatan tinggi tanaman lebih tinggi dari biasanya. Hal ini disebabkan pada hari ke 42 hingga hari ke 46 cuaca di lokasi penelitian berkondisi hujan, sehingga menurunkan suhu siang hari menjadi 27°C-30°C dari awalnya 32°C-40°C. Kondisi tersebut menyebabkan sawi tumbuh dengan optimal, dimana Francisca (2009) meneliti bahwa sawi hijau tumbuh optimal pada suhu 27°C-32°C pada siang hari. Analisa sidik ragam dan dilanjutkan dengan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) pada tingkat kepercayaan 95% membuktikan bahwa pada 14HSS dan 46HSS paparan musik memberikan pengaruh nyata pertambahan tinggi tanaman jika dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya.

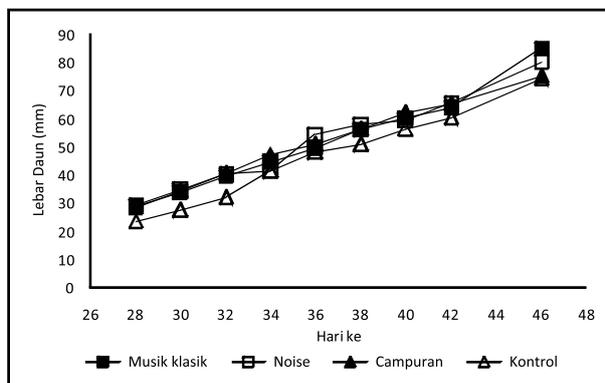
Pengaruh Jenis Suara terhadap Lebar dan Panjang Daun

Pengukuran lebar dan panjang daun merupakan salah satu parameter morfologi yang umum digunakan untuk menentukan baik tidaknya pertumbuhan suatu tanaman. Daun yang diukur lebar dan panjangnya adalah daun pada ruas ke 4, berdasarkan penelitian pendahuluan daun pada ruas ke 4 mempunyai rataan lebar tertinggi hingga hari ke 46. Pengukuran dimulai pada 28HSS saat daun ruas ke 4 telah membuka sempurna.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa paparan musik klasik mempunyai rataan lebar daun tertinggi sebesar 85,88 mm jika dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Rataan lebar daun pada tanaman kontrol sebesar 74,77 mm merupakan rataan terkecil dari semua perlakuan. Analisa sidik ragam (ANOVA) membuktikan bahwa ada pengaruh nyata paparan suara musik klasik, *noise*, dan campuran terhadap peningkatan lebar daun jika dibandingkan dengan tanaman kontrol. Perbedaan nyata tersebut didapatkan pada pengukuran 28HSS



Gambar 4. Pengaruh suara terhadap tinggi tanaman



Gambar 5. Pengaruh suara terhadap lebar daun

dan 46 HSS. Secara umum dapat disimpulkan bahwa paparan suara pada berbagai berpengaruh nyata terhadap perbedaan peningkatan lebar daun sawi hijau. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Singh *et al* (2013), dimana suara musik klasik selama 3 jam meningkatkan indeks luas daun kacang-kacangan.

Uji statistik juga membuktikan bahwa paparan musik klasik berpengaruh nyata terhadap perubahan panjang daun pada 46HSS. Paparan musik klasik pada 46HSS menghasilkan rata-rata panjang daun tertinggi yaitu 143,22 mm. Sedangkan tanaman kontrol menghasilkan rata-rata panjang daun terendah yaitu 122,00 mm. Dari grafik pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan laju pertumbuhan panjang daun pada 42HSS hingga 46HSS. Hal serupa juga terjadi pada grafik di Gambar 5. Cuaca hujan yang terjadi sejak hari ke 42 secara langsung menurunkan suhu lingkungan *greenhouse* dan berdampak pada laju peningkatan lebar dan panjang daun sawi hijau.

Pengaruh Suara terhadap Berat Basah dan Panjang Tanaman

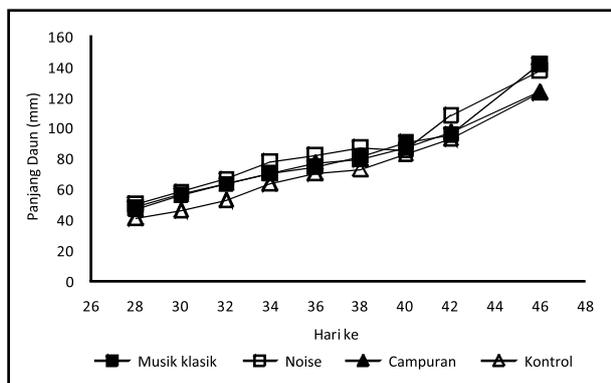
Paparan musik klasik dan *noise* memberikan pengaruh yang nyata terhadap berat basah sawi hijau, jika dibandingkan paparan suara campuran dan kontrol. Pada Gambar 7 terlihat bahwa paparan musik klasik menghasilkan rata-rata berat basah 22,56 gram dan *noise* menghasilkan rata-rata 19,56 gram. Hasil tersebut berbeda nyata pada paparan suara campuran yang menghasilkan rata-rata berat basah sebesar 15 gram dan kontrol sebesar 14,67 gram. Secara umum hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Lirong *et al* (2010) yang melakukan penelitian menggunakan stimulus suara alam (*nature sound*) dengan frekuensi 40-2000 Hz selama 3 jam mulai pukul 09.00 pada tanaman stroberi, dapat meningkatkan jumlah produksi buah sebesar 16,6% dan total biomassa hingga 50%.

Pada Gambar 8 terlihat bahwa paparan suara *noise* menghasilkan panjang tanaman total tertinggi yaitu sebesar 50,9 cm. Sedangkan, rata-rata panjang

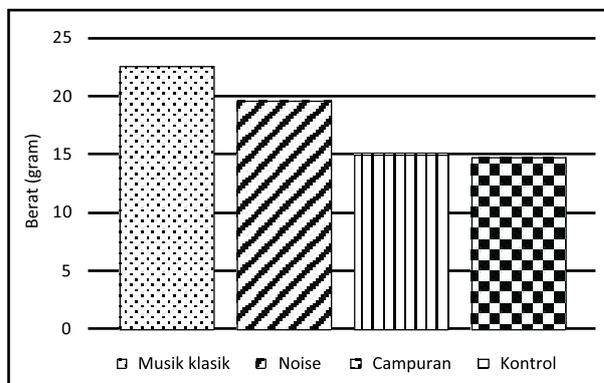
total terendah adalah tanaman kontrol sebesar 42,4 cm. Prasetyo (2014) menyatakan bahwa, paparan suara dengan berbagai jenis dapat memicu bukaan stomata menjadi lebih lebar, sehingga dapat meningkatkan panjang tanaman, lebar daun dan produktivitas tanaman sawi hijau. Pengukuran panjang total tanaman merupakan penjumlahan panjang akar, batang dan ujung daun tertinggi. Penelitian tentang pengaruh suara terhadap pertumbuhan akar juga telah dilakukan oleh Ekici *et al* (2007), dimana stimulasi musik klasik Mozart dan Chopin selama 6 jam hingga 10 hari dengan level suara 64,7-74,6 dB dapat meningkatkan pertumbuhan akar (*root elongation*) bawang merah hampir 50%. Dari perlakuan ini dapat disimpulkan bahwa stimulasi suara dengan berbagai memberikan peningkatan hasil yang signifikan, baik peningkatan berat biomassa dan ukuran tanaman.

Simpulan

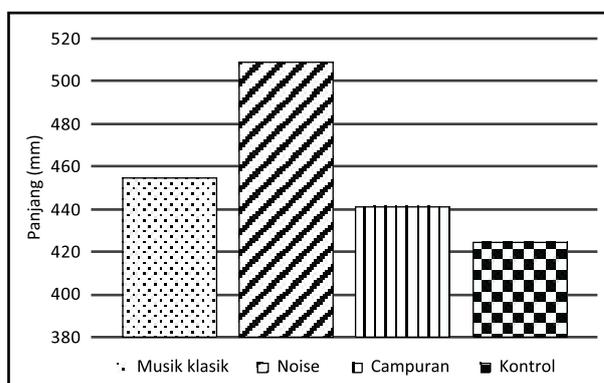
Simpulan dari penelitian ini mengindikasikan bahwa paparan suara musik klasik, *noise*, dan campuran selama 3 jam mulai pukul 07.00-10.00 dapat meningkatkan faktor morfologi dan produktivitas sawi hijau jika dibandingkan dengan tanaman kontrol. Pemaparan musik klasik (suara biola) merupakan perlakuan terbaik, hal ini



Gambar 6. Pengaruh suara terhadap panjang daun



Gambar 7. Pengaruh suara terhadap berat basah sawi hijau



Gambar 8. Pengaruh suara terhadap panjang total tanaman (tanaman+akar)

ditunjukkan dengan peningkatan daya berkecambah sebesar 15%, tinggi tanaman sebesar 13,5%, lebar daun sebesar 14,8%, panjang daun sebesar 14,2%, dan berat basah sebesar 57,1%. Paparan suara *noise* justru meningkatkan hasil dari parameter-parameter yang diamati jika dibandingkan tanaman kontrol (tanpa paparan), hal ini dapat dijadikan jawaban bahwa polusi suara tidak berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan dan produktivitas sawi hijau.

Daftar Pustaka

- Collins M E, Foreman J K. 2010. The effect of sound on the growth of plants. *Journal of Canadian Acoustics*. Vol.29 (2): 3-8
- Creath K, Schwartz G E. 2004. Measuring effects of music, noise, and healing energy using a seed germination bioassay. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*. Vol 10: 113-122
- Ekici N, Dane F, Mamedova L, Metin I, Huseyinov M. 2007. The effects of different on root growth and mitosis in onion (*Allium cepa*) root apical meristem. *Asian Journal of Plant Science*. Vol 6(2): 369-373
- Francisca S. 2009. Respon pertumbuhan dan produksi sawi (*Brassica Juncea*) terhadap penggunaan pupuk kascing dan pupuk organik cair. (Skripsi). Departemen Budidaya Pertanian. Universitas Sumatera Utara. Medan
- Iriani E, Yulianto, Choliq A. 2005. Penerapan teknologi sonic bloom pada tembakau di Kabupaten Kendal. (Prosiding). *Implementasi Hasil Pengembangan Pertanian*. BPTP Jawa Tengah
- Mareza M, Podesta F, ratibayati. 2009. Respon Perkecambahan Lima Varietas Padi Rawa Lebak terhadap Pemberian Zat Pengatur Tumbuh 2,4-D pada Fase Vegetatif. *Akta Agrosia* Vol. 12(2): 177-183
- Mulyadi. 2005. Pengaruh teknologi pemupukan bersama gelombang suara (*sonic bloom*) terhadap perkecambahan dan pertumbuhan semai *Acacia Mangium Willd*. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*. Vol.11(1): 67-75
- Kadarisman N, Purwanto A, Rosana D. 2011. Rancang bangun *audio growth system* melalui spesifikasi spektrum bunyi binatang alamiah sebagai *local genius* untuk peningkatan kualitas dan produktivitas tanaman hortikultura. Prosiding. Seminar nasional penelitian, pendidikan, dan penerapan MIPA: Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Lirong Q, Guanghui T, Tianzhen H, Baoying Z, Liu X. 2010. Influence of sound wave stimulation on the growth of strawberry in sunlight greenhouse. *IFIP AICT* vol 317: 449-454
- Prasetyo J. 2014. Efek paparan suara dengan variasi jenis dan *pressure level* terhadap pertumbuhan dan produktivitas sawi hijau (*brassica juncea*). (Tesis). Teknik Mesin Pertanian dan Pangan. Institut Pertanian Bogor.
- Singh A, Chatterjee J, Jalan A. 2013. Effect of sound on plant growth. *Asian Journal of Plant Science and Research*. Vol.3 (4): 28-30
- Utami S, Novaliza M, Iriani D. 2012. Aplikasi musik klasik, pop dan hard rock terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman cabe merah keriting. (Skripsi). Program Studi Biologi. Universitas Riau. Pekanbaru
- Sitompul S, Guritno B. 1995. Analisis pertumbuhan tanaman. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Suwardi. 2010. Kajian pengaruh penggunaan frekuensi gelombang bunyi terhadap pertumbuhan benih kedelai. *Jurnal Fisika FLUX*. Vol 7 (2): 170-176
- Yulianto. 2008. Penerapan teknologi *sonic bloom* dan pupuk organik untuk peningkatan produksi bawang merah. *Journal Agroland*. Vol 15 (3): 148-155

Technical Paper

Transportasi dan Simulasinya dengan Pengemasan Curah untuk Cabai Keriting Segar

Transportation and Its Simulation with Bulky Packaging for Fresh Curly Chili

Sandro Pangidoan, Mahasiswa Pascasarjana P.S. Teknologi Pascapanen, Insitut Pertanian Bogor.

Email: sandro_markus@yahoo.com, kensutrisno@ipb.ac.id

Sutrisno, Staf Pengajar Teknologi Pascapanen, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

Email: kensutrisno@yahoo.com

Y. Aris Purwanto, Staf Pengajar Teknologi Pascapanen, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

Email: y_aris_purwanto@yahoo.com

Abstract

Red chili is the one of agricultural commodity which is needed by Indonesian people and has high economic value. It's perishable product and almost needed in fresh product, the packaging and transportation become a postharvest critical point for maintain the freshness of product in the time of distribution until the consumer hand. The objective of this research was to do the real transportation and transport simulation with bulk packaging for fresh chili and to evaluate the effect of transportation and packaging to weight losses, hardness, colour and water content. Packaging method was performed in two kind of package which is cardboard box and plastic crate. This research compared the ability of the packages (plastic crate and cardboard box) to maintain the quality of fresh chili. Transport simulation can represent the real transportation with the same condition of vibration. Weight losses, hardness, color and water content aren't affected directly by transportation.

Keywords: *Red chili, postharvest, packaging, transportation, vibration*

Abstrak

Cabai merah adalah salah satu komoditas pertanian yang dibutuhkan masyarakat Indonesia dan bernilai ekonomis yang tinggi. Cabai merah mudah rusak dan dibutuhkan dalam bentuk segar, sehingga cara pengemasan yang tepat serta transportasi yang baik menjadi titik kritis pascapanen untuk menjaga kesegaran produk pada saat didistribusikan sampai ke tangan konsumen. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan transportasi langsung dan simulasi transportasi dengan pengemasan curah pada cabai keriting segar dan mengevaluasi pengaruh dari transportasi dan pengemasan terhadap susut bobot, kekerasan, warna dan kadar air pada cabai keriting segar. Pengemasan dilakukan pada dua jenis kemasan yaitu kemasan karton (kardus) dan keranjang plastik. Penelitian ini membandingkan kemampuan kedua kemasan (keranjang plastik dan kardus) untuk mempertahankan kualitas cabai keriting segar. Simulasi Transportasi bisa merepresentasikan transportasi langsung di lapangan dengan kondisi getaran yang sama. Susut bobot, kekerasan, derajat warna dan kadar air tidak dipengaruhi secara langsung oleh transportasi.

Kata kunci: cabai merah, pascapanen, pengemasan, transportasi, getaran

Diterima: 25 November 2013; Disetujui: 28 Januari 2014

Pendahuluan

Cabai merah (*Capsicum annum* L.) termasuk salah satu komoditas sayuran yang mempunyai nilai ekonomis tinggi sehingga cukup luas diusahakan oleh petani. Manfaat dan kegunaan cabai tidak dapat digantikan dengan komoditas lainnya, sehingga konsumen akan tetap membutuhkannya. Tabel 1 menunjukkan data perkembangan produktivitas cabai tahun 2012-2013. Dengan melihat potensi dan peluang pasar cabai di Indonesia, maka komoditas

ini dapat dijadikan salah satu komoditas unggulan hortikultura Indonesia. Untuk mewujudkannya perlu diusahakan budidaya dengan anjuran teknologi yang tepat agar didapatkan kualitas dan mutu hasil sesuai dengan standar mutu (SNI 01-4480-1998).

Cabai merah mudah rusak dan biasanya dibutuhkan dalam bentuk segar, cara pengemasan serta transportasi menjadi titik kritis pascapanen untuk menjaga kesegaran produk pada saat didistribusikan sampai ke konsumen. Jarak antara sentra penanaman cabai dengan konsumen juga

Tabel 1 Perkembangan produktivitas cabai 2012-2013 (BPS 2013)

Provinsi	Luas panen (Ha)	2012		2013		
		Produksi (Ton)	Produktivitas (Ton/Ha)	Luas panen (Ha)	Produksi (Ton)	Produktivitas (Ton/Ha)
Sumatera Utara	22,129	245,773	11.11	21,254	198,879	9.36
Jawa Barat	22,927	291,907	12.73	26,256	374,669	14.27
Jawa Tengah	38,895	215,129	5.53	39,022	230,398	5.90
Jawa Timur	63,185	343,714	5.44	64,114	329,177	5.13
Indonesia	242,366	1,656,615	6.84	249,232	1,726,382	6.93

tidak dekat, maka transportasi yang tepat menjadi hal yang harus diperhatikan dengan seksama (Pangidoan *et al.* 2013).

Menurut SNI 1998, untuk dipasarkan di pasar lokal cabai merah segar dikemas dalam karung plastik dengan berat isi 25 kg sampai dengan 40 kg. Cabai dapat juga dikemas menggunakan alat pengemas dari karton yang diberi lubang ventilasi disesuaikan dengan permintaan konsumen, apabila akan dipasarkan ke tempat yang jauh. Pengemasan di lapangan menggunakan karung bekas dan pengisiannya ditekan sehingga cabai akan patah ketika dikeluarkan, ini mempengaruhi kualitas cabai yg akan dipasarkan (Pangidoan *et al.* 2013).

Produk segar biasanya ditransportasikan melalui moda transportasi darat yaitu dari petani ke konsumen, dan yang harus diperhatikan bahwa produk segar harus tetap dalam kualitas terbaik dan harus dipertahankan kondisinya selama transportasi (Sirivatanapa 2006). Produk segar rentan terhadap kerusakan mekanis selama penanganan dan transportasi, ini bisa disebabkan oleh guncangan, getaran dan tekanan (FAO 2011). Beberapa peneliti menyatakan 25% produk segar hilang setelah panen, terutama selama pemanenan atau transportasi dari lapangan ke pasar jika tidak dengan pengemasan yang baik (Techawongstien 2006). Guncangan yang terjadi selama pengangkutan baik di jalan raya maupun di kereta api dapat mengakibatkan kememaran, susut bobot dan memperpendek masa simpan (Purwadaria 1992). Besar kecilnya kememaran selama pengangkutan tergantung pada frekuensi, amplitudo dan lamanya getaran, amplitudo getaran dasar peti, ketinggian buah dalam wadah, dan sifat-sifat buahnya (Pantastico 1989).

Alat simulasi transportasi dirancang untuk memperoleh gambaran tentang kerusakan mekanis yang diterima oleh produk hortikultura apabila terkena guncangan. Produk hortikultura mudah sekali rusak setelah dipanen, ini dapat dipercepat dengan adanya luka dan memar setelah mengalami pengangkutan dari kebun ke tempat pemasaran (Purwadaria 1992). Komponen getaran pada kendaraan yang memiliki pengaruh yang terbesar adalah getaran secara vertikal (Vursavus dan Ozguven 2004). Penelitian tentang kerusakan pada produk yang disebabkan oleh getaran transportasi

telah dilakukan pada buah persik (Choi *et al.* 2010), apel (Vursavus dan Ozguven 2004), dan buah pir (Berardinelli *et al.* 2005; Kim *et al.* 2010).

Tujuan penelitian ini adalah melakukan proses transportasi langsung di lapangan dan melakukan simulasi transportasi di laboratorium serta melihat pengaruh transportasi dan pengemasan terhadap parameter-parameter mutu dari cabai keriting segar seperti susut bobot, kekerasan, derajat warna dan kadar air.

Bahan dan Metode

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan terdiri atas mobil *pick up* dengan bak terbuka untuk pengangkutan langsung di lapangan, meja simulator getar, *stopwatch* untuk mengukur waktu, timbangan *Camry ACS-30-JC-33* kapasitas 30 kg digunakan untuk mengukur susut bobot, oven, timbangan, dan desikator untuk mengukur kadar air, *Rheometer* tipe CR-300DX untuk mengukur kekerasan, *Chromameter* untuk melihat nilai warna, dan *Hobo Data Logger* untuk mengukur dan menyimpan data temperatur dan RH. Untuk mengukur getaran yang didapat di lapangan menggunakan *Android Smartphone Samsung GT I8262* menggunakan aplikasi *Vibrometer Pro Version 2.4.6*.

Bahan baku utama yang digunakan adalah cabai merah keriting segar yang berasal dari Cibedug, Bogor dan Desa Cangkurawok, Dramaga dengan tingkat kematangan 100% yaitu 90 HST (hari setelah tanam). Cabai diambil langsung setelah dipanen dan disortasi berdasarkan keseragaman bentuk, ukuran dan warna. Cabai yang telah disortasi kemudian dikemas dan dibawa menuju Pasar Induk Sayuran Bogor, Pasar Kemang. Cabai yang dibawa untuk percobaan di laboratorium berasal dari Desa Cangkurawok yang dekat dengan laboratorium agar didapati cabai dengan kualitas baik tanpa adanya kerusakan karena pengangkutan dari lahan.

Penelitian menggunakan dua jenis kemasan yaitu *plastic crate* (keranjang plastik) dan kemasan karton (kardus) untuk pengemasan curahnya. Spesifikasi dari kemasannya adalah sebagai berikut. Kemasan karton *single flute* memiliki ukuran 42 cm x 33 cm x 25 cm dengan kapasitas 8 kg cabai. Keranjang plastik

berventilasi yang digunakan adalah keranjang yang memiliki kapasitas 8 kg dengan ukuran 49 cm x 39 cm pada lapisan atas dan 41 cm x 30 cm pada lapisan bawah dengan tinggi 21 cm.

Metode Penelitian

Cabai keriting segar yang telah dipanen kemudian disortasi. Sortasi dilakukan untuk menyeragamkan kualitas cabai keriting segar yang didapatkan. Sampel cabai diambil untuk melakukan pengukuran kadar air, warna dan kekerasan sebagai kontrol sebelum melakukan transportasi. Cabai dimasukkan ke dalam setiap kemasan (kemasan karton dan keranjang plastik) sampai bobotnya 8 kg, kemudian ditutup menggunakan perekat (selotip) agar saat transportasi cabai tidak tercecer keluar. Setiap kemasan ditimbang untuk mengetahui berat awal dari cabai yang telah dikemas lalu kemasan diletakkan di mobil pengangkut (*pick up*). Pengukuran dan pencatatan getaran selama transportasi dilakukan menggunakan Android Smartphone dengan aplikasi Vibrometer. Alat pengukur getaran berbasis android dipasang pada kemasan pada dua posisi, vertikal dan horizontal. Alat pengukur suhu dan kelembaban juga dipasang pada kemasan untuk mendapatkan sebaran suhu selama proses transportasi. Transportasi dilakukan sore hari selama 90 menit. Setelah proses transportasi selesai, kemasan akan kembali ditimbang untuk mengetahui susut bobot yang terjadi setelah proses transportasi. Data transportasi melalui aplikasi android vibrometer direkam selama perjalanan transportasi. Data tersebut menjadi acuan untuk melakukan simulasi transportasi di laboratorium. Setelah transportasi, dilakukan *sampling* untuk pengukuran kekerasan, kadar air dan warna di laboratorium.

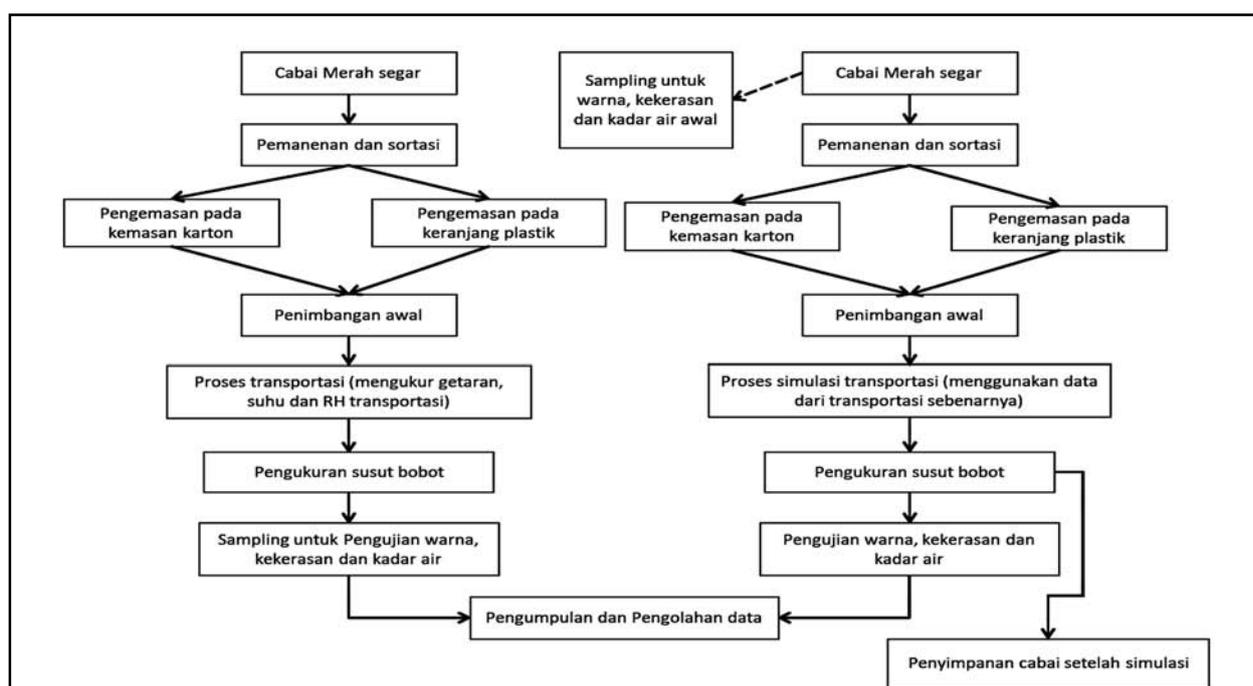
Penelitian dilanjutkan ke laboratorium untuk

melakukan simulasi transportasi dengan batasan data yang diketahui sebelumnya. Proses panen, sortasi, pengambilan sampel, dan pengemasan dilakukan sama seperti transportasi langsung di lapangan. Kemasan ditimbang untuk mengetahui berat awal cabai yang dikemas kemudian kemasan diletakkan ke alat simulator getar. Alat pengukur suhu dan pengukur getaran juga dipasang selama simulasi berlangsung. Setelah simulasi selesai, kemasan akan kembali ditimbang untuk mengetahui susut bobot yang terjadi setelah simulasi transportasi, kemudian dilakukan pengujian pada sampel cabai yang sudah ditentukan secara acak untuk mengukur kekerasan, kadar air dan warna dari cabai tersebut. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan Rheometer, pengujian perubahan warna cabai dilakukan menggunakan Chromameter dan pengujian kadar air dilakukan menggunakan Oven. Penelitian ini menggunakan Rancangan Percobaan RAL Faktorial dengan dua faktor yaitu kemasan dan transportasi (di lapangan dan di laboratorium). Analisis sidik ragam dilakukan untuk melihat pengaruh tiap perlakuan serta interaksinya dan akan dilanjutkan dengan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT), semua data dianalisis menggunakan *Statistical Analysis Software (SAS)*. Diagram alir pada penelitian ini disajikan pada Gambar 1.

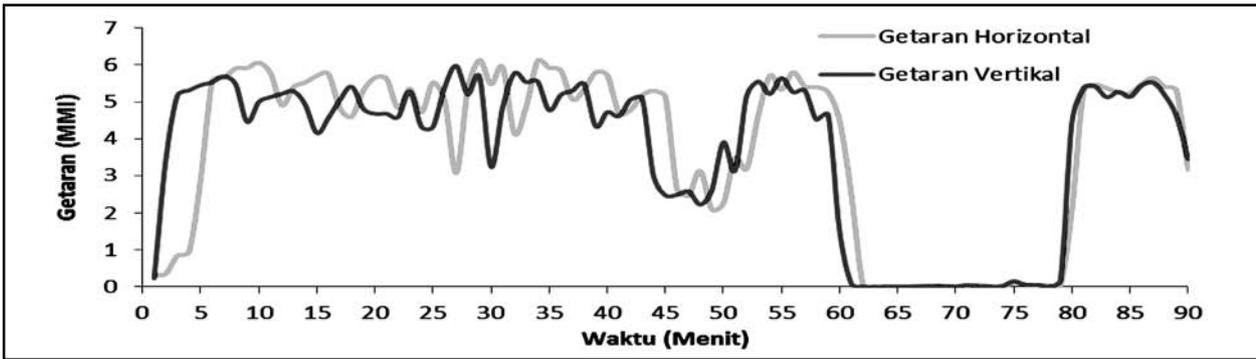
Hasil dan Pembahasan

Getaran Selama Transportasi

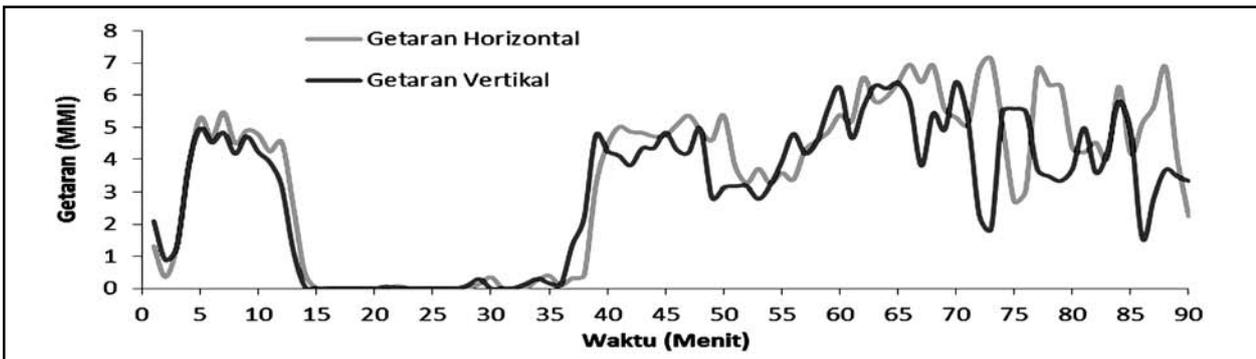
Selama transportasi langsung di lapangan, dilakukan perekaman jejak getaran sampai cabai keriting segar sampai di pasar. Berikut ini adalah rekaman data getaran yang didapatkan secara



Gambar 1. Diagram alir penelitian

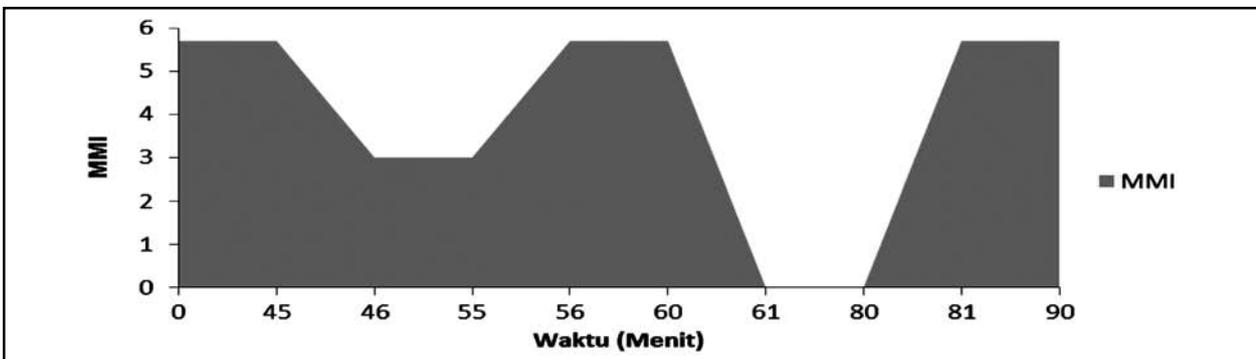


(a)

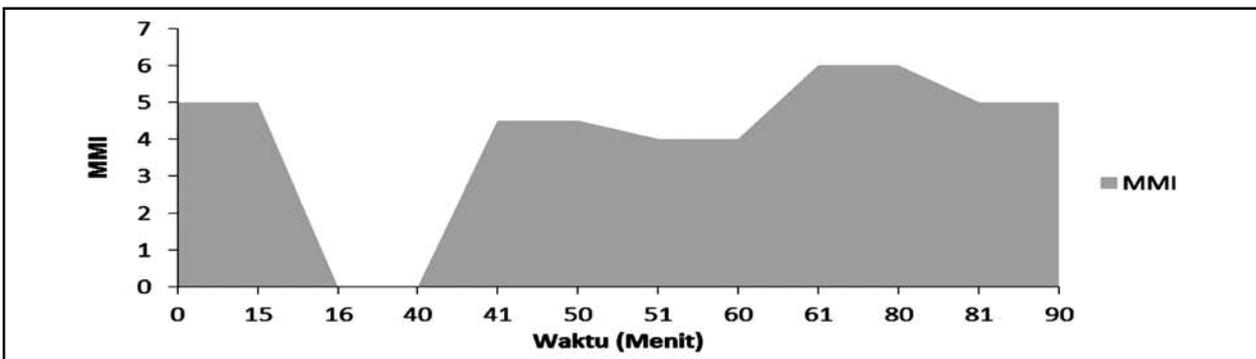


(b)

Gambar 2. Data getaran langsung selama transportasi (a) percobaan 1 dan (b) percobaan 2



(a)



(b)

Gambar 3. Gambaran getaran untuk simulasi di laboratorium (a) ulangan 1 dan (b) ulangan 2

langsung selama pengangkutan cabai.

Pada proses transportasi dari lahan ke pasar terdapat perubahan getaran setiap waktunya, hal ini disebabkan oleh kondisi jalan serta transportasi yang terjadi saat pengangkutan cabai. Pada data transportasi tersebut terdapat getaran yang menunjukkan angka nol (tidak terjadi getaran), hal ini disebabkan pada saat transportasi terjadi kemacetan sehingga mobil dalam kondisi berhenti. Data yang didapat di lapangan dijadikan sebagai acuan untuk melakukan simulasi transportasi di laboratorium. Berikut ini adalah dua gambaran getaran yang menjadi acuan simulasi transportasi di laboratorium.

Untuk gambaran getaran yang pertama, cabai digetarkan dengan satuan MMI (*Modified Mercalli Intensity Scale*) sebesar 5.7 selama 45 menit pertama. Setelah itu cabai akan mendapatkan getaran 3 MMI selama 5 menit. Sepuluh menit kemudian diberikan penggetaran lagi sebesar 5.7 MMI. Dua puluh menit kemudian cabai tidak dikenai getaran yang kemudian dilanjutkan 10 menit terakhir dengan getaran sebesar 5.7 MMI. Begitu juga halnya dengan gambaran getaran yang kedua.

Dengan grafik blok getaran tersebut, didapatkan gambaran secara langsung kejadian di lapangan yang disebabkan oleh situasi dan kondisi jalan selama mentransportasikan cabai dari petani ke pasar induk. Grafik blok getaran memang tidak dapat menggambarkan secara menyeluruh getaran yang disebabkan kondisi jalan sesungguhnya, akan tetapi dengan gambaran ini sudah dapat mewakili getaran yang disebabkan oleh kondisi jalan yang dilewati selama transportasi. Hal ini menjadi pengayaan dari hasil penelitian Pangidoan (2013) yang melakukan simulasi transportasi cabai merah akan tetapi menggunakan dasar perhitungan sebagai acuan simulator getar di laboratorium.

Perubahan Mutu Produk

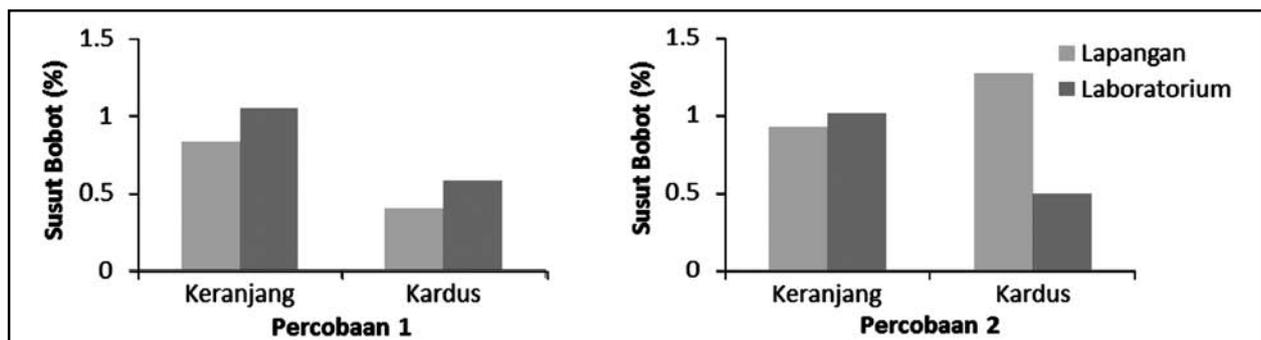
Susut bobot

Setelah transportasi dan simulasi transportasi, dilakukan pengukuran susut bobot yang terjadi pada kemasan dengan membandingkan bobot awal sebelum dan sesudah transportasi atau

simulasi transportasi. Susut bobot dapat diartikan sebagai penurunan bobot produk akibat kehilangan kandungan air pada produk (Wills *et al* 1998). Menurut Znidarcic *et al.* (2010) penurunan berat sayuran setelah panen disebabkan oleh kehilangan air melalui proses transpirasi, selanjutnya Nurdjannah (2014) menyatakan bahwa perubahan susut bobot pada cabai disebabkan oleh proses respirasi dan transpirasi yang mengakibatkan kehilangan substrat dan air yang mana ini ditandai dengan layu dan mengerutnya permukaan cabai sehingga mengurangi penerimaan konsumen dan harga jual. Luka dan memar memicu peningkatan respirasi dan transpirasi senyawa kompleks yang terdapat dalam sel, seperti karbohidrat akan dipecah menjadi molekul sederhana seperti CO₂ dan air yang mudah menguap sehingga cabai mengalami susut bobot (Wills *et al* 1998). Getaran yang terjadi selama transportasi mengakibatkan gesekan antar cabai dengan cabai serta cabai dengan kemasan besar sehingga terjadi memar pada cabai, hal tersebut memicu terjadinya susut bobot dan memperpendek umur simpan (Pangidoan *et al.* 2013; Purwadaria 1992).

Dari hasil susut bobot yang didapatkan, terlihat bahwa setiap kemasan dan setiap perlakuan menyebabkan susut bobot pada cabai dan Gambar 4 juga memperlihatkan bahwa terdapat perbedaan susut bobot antara transportasi di lapangan dan simulasi di laboratorium. Hal ini terjadi karena diindikasikan simulasi transportasi memberikan paparan getaran yang lebih seragam dibandingkan transportasi di lapangan yang lebih fluktuatif sehingga menyebabkan susut bobot saat di laboratorium lebih tinggi dibandingkan di lapangan.

Dari hasil analisis sidik ragam susut bobot, perlakuan kemasan dan transportasi tidak berbeda nyata terhadap susut bobot cabai keriting karena memiliki nilai P-Value ≤ 5%. Apabila dilihat dari analisis ragamnya, transportasi langsung dan simulasi transportasi ternyata sama dan berbeda tidak nyata, begitu juga halnya dengan perlakuan kemasan yang berbeda tidak nyata. Hal ini berarti transportasi di lapangan dapat diwakili dengan simulasi transportasi di laboratorium dengan getaran yang dikondisikan sama.



Gambar 4. Susut bobot cabai keriting segar

Perubahan Kekerasan

Perubahan kekerasan merupakan salah satu perubahan fisiologi yang terjadi sebagai akibat langsung dari kehilangan air pada produk hortikultura (Nurdjannah 2014). Pada penelitian ini dilakukan uji kekerasan pada cabai keriting segar sebagai indikasi terjadinya kerusakan cabai, dimana semakin menurun nilai tekannya, mutu dari cabai sudah semakin menurun. Menurut Pantastico (1989), peningkatan dan penurunan nilai kekerasan berhubungan dengan penguapan air dan tingkat kekerasan bergantung pada tebalnya kulit luar, kandungan total zat padat dan kandungan pati yang terdapat pada bahan. Proses respirasi lebih cepat akibat terlukanya kulit buah sehingga mempercepat proses respirasi yang membutuhkan air dan air tersebut diambil dari sel, sehingga menyebabkan pengurangan air dari sel. Getaran selama transportasi dapat menyebabkan luka dan memar pada cabai dan bisa memicu penurunan nilai kekerasan (Pangidoan *et al.* 2013; Purwadaria 1992).

Gambar 5 menunjukkan data hasil kekerasan yang telah diujikan pada tiap perlakuan yang diberikan, terlihat ada tanda penurunan kekerasan pada cabai keriting segar setelah transportasi walaupun tidak di semua perlakuan yang diujikan. Perubahan tekstur produk yang semula keras menjadi lunak karena kehilangan air yang menjadi komposisi dinding sel berubah sehingga menyebabkan menurunnya tekanan turgor sel dan kekerasan buah menurun. (Winarno 2002; Nurdjannah 2014). Wills *et al.* (1998) menyatakan ketika air menguap dari jaringan, tekanan turgor menurun dan sel-sel mulai menyusut dan rusak sehingga buah kehilangan kesegarannya. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan tidak terdapat beda nyata perlakuan kemasan dan transportasi serta interaksinya terhadap kekerasan cabai keriting segar, ini ditandai dengan nilai P-Value lebih besar dari 5%.

Perubahan Warna

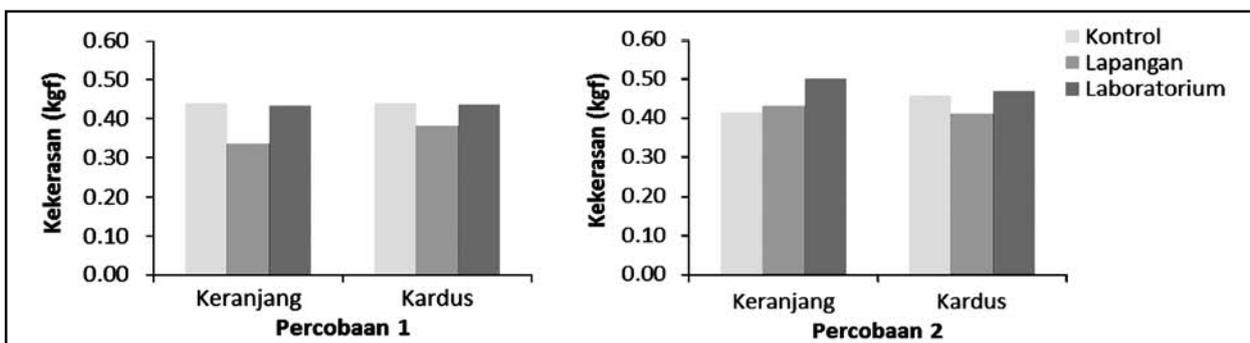
Warna adalah parameter mutu yang pertama dilihat konsumen dalam memilih buah karena dapat dilihat secara langsung dan *visual* (Muthmainah 2008), karena penilaian warna secara visual bersifat

subjektif sehingga diperlukan pengukuran dengan Chromameter (derajat L, a, b) agar diperoleh data yang objektif. Menurut Sutrisno *et al.* (2009) tingkat kecerahan (nilai L) mempunyai nilai dari 0 (hitam) sampai 100 (putih), tingkat kehijauan (nilai a*) dimana nilai positif (+) menyatakan warna merah, nilai 0 menyatakan warna abu-abu dan nilai negatif (-) menyatakan warna hijau, serta tingkat kekuningan (nilai b*), dimana nilai positif (+) menyatakan warna kuning, nilai 0 menyatakan warna abu-abu dan nilai negatif (-) menyatakan nilai biru.

Penelitian ini melihat tentang perubahan kualitas warna dari cabai keriting segar akibat transportasi, dimana Tabel 2 menunjukkan bahwa tidak tampak perubahan dari derajat nilai L dari cabai. Nurdjannah (2014) menyatakan bahwa perubahan warna pada cabai terjadi akibat adanya sintesis dari pigmen tertentu, seperti karotenoid dan flavonoid, disamping terjadinya perombakan klorofil. Perombakan klorofil pada cabai menyebabkan pigmen karotenoid menjadi tampak, ini terjadi ditandai dengan perubahan nilai L walaupun secara statistik tidak tampak. Analisis sidik ragam untuk derajat warna L menunjukkan nilai P-value $\geq 5\%$ sehingga perlakuan kemasan dan transportasi tidak berpengaruh terhadap derajat nilai L.

Nilai a merupakan koordinat kromatis pada Chromameter, semakin merah cabai yang diujikan maka semakin tinggi nilai a yang ditunjukkan oleh Chromameter. Penelitian ini melihat apakah terjadi peningkatan nilai a setelah cabai ditransportasikan ke tempat yang dituju, Tabel 3 menunjukkan perubahan derajat a yang diukur dari setiap percobaan yang diujikan. Percobaan pertama pada keranjang dan kardus terlihat ada peningkatan nilai a walaupun sedikit, akan tetapi pada percobaan kedua tidak terlihat peningkatan nilai a. Hasil analisis sidik ragam derajat warna a diketahui bahwa perlakuan kemasan dan transportasi tidak berbeda nyata terhadap derajat warna a.

Nilai b merupakan atribut nilai yang menunjukkan derajat kekuningan atau kebiruan suatu komoditas. Menurut hasil penelitian Barus (2011), lama simulasi berbanding lurus dengan kekerasan dan mempengaruhi nilai b dimana penurunan nilai b terjadi karena lebih rentan terhadap pembusukan.



Gambar 5. Perubahan kekerasan pada cabai keriting segar

Tabel 2. Perubahan derajat L pada cabai keriting segar

Percobaan	Perlakuan	Derajat L ^{*)}		
		Kontrol	Lapangan	Laboratorium
Percobaan 1	Keranjang	45.87	44.28	45.71
	Kardus	45.87	47.40	44.70
Percobaan 2	Keranjang	42.88	45.72	49.73
	Kardus	48.78	43.87	50.65

*) berbeda tidak nyata ($p > 0.05$)

Tabel 3. Perubahan derajat a pada cabai keriting segar

Percobaan	Perlakuan	Derajat a ^{*)}		
		Kontrol	Lapangan	Laboratorium
Percobaan 1	Keranjang	26.82	27.43	29.00
	Kardus	26.82	27.12	29.56
Percobaan 2	Keranjang	26.72	28.84	22.26
	Kardus	21.52	28.36	22.28

*) berbeda tidak nyata ($p > 0.05$)

Tabel 4. Perubahan derajat b pada cabai keriting segar

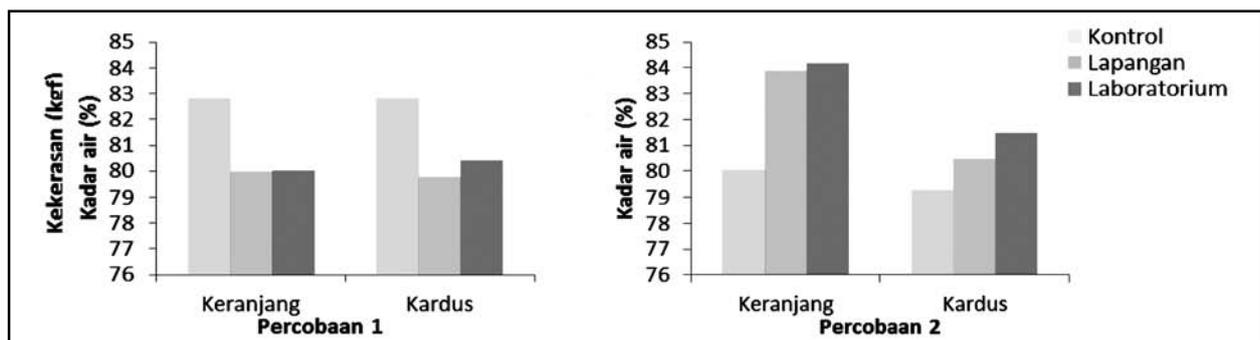
Percobaan	Perlakuan	Derajat b ^{*)}		
		Kontrol	Lapangan	Laboratorium
Percobaan 1	Keranjang	16.29	14.46	13.25
	Kardus	16.29	13.10	13.54
Percobaan 2	Keranjang	12.26	15.72	9.38
	Kardus	9.64	14.75	10.08

*) perlakuan transportasi berbeda nyata ($p < 0.05$)

Tabel 4 menunjukkan hasil uji pada cabai keriting dari tiap kemasan dan tiap perlakuan transportasi, pada pengukuran percobaan pertama, terjadi adanya penurunan antara sampel cabai sebelum ditransportasikan dengan sesudah ditransportasikan, akan tetapi pada percobaan kedua tidak didapati penurunan nilai b pada sampel yang diujikan. Dilihat dari analisis sidik ragam terhadap nilai b, ternyata ada pengaruh transportasi terhadap derajat nilai b karena P-Value $\leq 5\%$, hal tersebut ditandai terdapat perbedaan antara derajat nilai b pada setiap kemasan yang ditransportasikan di lapangan dan

yang dilakukan simulasi di laboratorium.

Perubahan warna pada cabai merah tidak terlalu dipengaruhi oleh jenis kemasan, hal tersebut disebabkan karakteristik cabai yang non-klimakterik. Produk hortikultura golongan non-klimakterik tidak terlihat secara nyata perubahan yang terjadi yang disebabkan oleh fase pemasakan karena proses respirasi pada produk berjalan lambat, ini termasuk juga pada proses perombakan pigmen kulit cabai (Nurdjannah 2014; Winarno 2002).



Gambar 6. Perubahan kadar air cabai keriting segar

Kadar Air

Menurut Wills *et al.* (1998), susut bobot dapat diartikan sebagai penurunan bobot produk akibat kehilangan kandungan air pada produk, hal ini menandakan bahwa ada keterkaitan antara susut bobot dan kadar air. Pada Gambar 6 terlihat bahwa terdapat penurunan kadar air di kedua jenis kemasan yang digunakan pada percobaan pertama, akan tetapi pada percobaan kedua tidak terlihat adanya penurunan karena sampel cabai yang menjadi kontrol tidak lebih tinggi dibandingkan yang telah ditransportasikan. Pengujian susut bobot telah dijelaskan sebelumnya pada Gambar 3, terjadi susut bobot setelah proses transportasi apabila dibandingkan dengan kontrol yang tidak mengalami getaran transportasi, hal ini menandakan bahwa ada keselarasan antara kadar air dan susut bobot pada cabai merah akibat transportasi. Dari analisis sidik ragam untuk kadar air, perlakuan kemasan dan perlakuan transportasi tidak berbeda nyata terhadap kadar air, ini ditandai dengan nilai P-Value yang lebih kecil dari 5 %.

Simpulan

Transportasi langsung di lapangan dan simulasi transportasi di laboratorium dengan pengemasan curah pada cabai merah keriting segar menunjukkan bahwa

1. Simulasi transportasi di laboratorium dapat mewakili transportasi di lapangan secara langsung tetapi dengan jejak getaran yang dikondisikan sama.
2. Susut bobot terjadi di setiap perlakuan kemasan dan transportasi akan tetapi hasil analisis sidik ragam menunjukkan perlakuan kemasan dan transportasi tidak berbeda nyata terhadap susut bobot cabai.
3. Kekerasan pada cabai keriting segar mengalami penurunan setelah transportasi akan tetapi analisis sidik ragam kekerasan menunjukkan kemasan dan transportasi tidak berbeda nyata terhadap kekerasan cabai.
4. Derajat warna (derajat L,a,b) mengalami perubahan setelah transportasi akan tetapi dari analisis sidik ragam derajat warna hanya derajat warna b yang berbeda nyata terhadap perlakuan transportasi.
5. Penurunan kadar air selaras dengan susut bobot yang terjadi akibat transportasi.

Daftar Pustaka

Badan Standarisasi Nasional. 1998. Cabai Merah Segar. SNI No. 01-4480-1998.
Barus APY. 2011. Penurunan Mutu Buah Nanas (*Ananas comosus (L.) Merr.*) dalam Kemasan

Setelah Transportasi Darat [skripsi]. Bogor: Program Sarjana, IPB
Berardinelli A, Donati V, Giunchi A, Guarnieri A. 2005. Damage to Pears Caused by Simulated Transport. *J Food Eng.* 66(2):219-226.
Choi SR, Lee YH, Choi DS, Kim MS. 2010. Damage at The Peach due to Vibrational Stress During Transportation Simulation Test. *J Biosystems Eng.* 35(3):182-188.
Kim GS, Park JM, Kim MS. 2010. Functional Shock Responses of The Pear According to The Combination of The Packaging Cushioning Materials. *J Biosystems Eng.* 35(5):323-329.
Muthmainah N. 2008. Mutu fisik Sawo (*Achras zapota L.*) dalam Kemasan pada Simulasi Transportasi. [skripsi]. Bogor: Program Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
Nurdjannah R. 2014. Perubahan Kualitas Cabe Merah dalam Berbagai Jenis Kemasan selama Penyimpanan Dingin [tesis]. Bogor: Program Pascasarjana, IPB
Pangidoan S, Sutrisno, Purwanto YA. 2013. Simulasi Transportasi dengan Pengemasan untuk Cabai Merah Keriting Segar. *JTEP ISSN 2338-8439 Vol.27 April 2013.*
Pantastico ERB. 1989. *Fisiologi Pascapanen, Penanganan dan Pemanfaatan Buah-buahan dan Sayur-sayuran Tropika dan Subtropika.* Yogyakarta: Gajah Mada Press.
Purwadaria HK. 1992. *Sistem Pengangkutan Buah-buahan dan Sayuran.* PAU Pangan dan Gizi. IPB. Bogor.
Sirivatanapa S. 2006. Packaging and Transportation of Fruits and Vegetables for Better Marketing. APO 2006 ISBN 92-833-7051-1.
Sutrisno, Purwanto YA, Rakhelia E, Sugiyono. 2009. Perubahan Kualitas Buah Manggis (*Garcinia mangosiana L.*) setelah Proses Transportasi dan Penyimpanan Dingin. *Makalah Bidang Teknik Sumberdaya Alam Pertanian ISSN 2081-7152.*
Techawongstien S. 2006. Postharvest Management of Fruit and Vegetables in the Asia-Pacific Region – Thailand. *Asian Productivity Organization 2006 ISBN 92-833-7051-1.*
Vursavuş K, Özgüven F. 2004. Determining the Effects of Vibration Parameters and Packaging Method on Mechanical Damage in Golden Delicious Apples. *Turkish J Agr. and Forestry* 28(5): 311-320.
Wills R, Mcglasson B, Graham D, Joyce D. 1998. *Post Harvest : An Introduction to the Physiology and Handling on Fruits and Vegetable.* Australia (AU) : NSW Pr Limited.
Winarno FG. 2002. *Fisiologi Lepas Panen Produk Hortikultura.* Bogor: M-BRIO Press.
Znidarcic D, Ban II D, Milan O, M, Karic L, Pozra T, 2010. Influence of postharvest temperatures on physicochemical quality of tomatoes (*Lycopersicon esculentum Mill.*). *J. Food Agric. Environ.* 8, 21–25.

Technical Paper

Rancangbangun Aplikator Kompos untuk Tebu Lahan Kering*Design Of Compost Applicator For Dry Land Sugarcane*

Iqbal, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin Makassar. Email: iqbaliqma@yahoo.com
 Tineke Mandang, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Darmaga Bogor 16680.
 E. Namaken Sembiring, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Darmaga Bogor 16680.
 M.A. Chozin, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Darmaga Bogor 16680.

Abstract

The widely sugarcane plantation area in Indonesia causes the management of sugarcane litter conducted by mechanization. To manage sugarcane litter into compost needed several machineries such as tractors, trash rakes, trailers, choppers, trucks, composting turner, loaders, and compost applicators. The objective of this study was to design a compost applicator for sugarcane litter that can be used for a plant cane and ratoon in dry land. The process of making a prototype applicators follow the design flowchart that begins with the calculation of the dimensions, design of engineering drawings, selection and material purchases. The result showed that the applicator prototype with belt conveyor metering device could function well and was able to apply the compost with a high dose (15 ton / ha).

Keywords: *mechanization, compost applicator, compost, sugarcane litter, sugarcane*

Abstrak

Areal perkebunan tebu di Indonesia yang luas menyebabkan kegiatan pengelolaan serasah tebu dilakukan dengan mekanisasi. Untuk mengelola serasah tebu menjadi kompos dibutuhkan beberapa teknologi seperti traktor, *trash rake*, *trailer*, alat pencacah, truk, pengaduk, *loader*, dan aplikator kompos. Tujuan penelitian ini adalah merancang aplikator kompos serasah tebu yang dapat dioperasikan untuk tanaman tebu baru (*PC*) dan tebu keprasan (*ratoon*) lahan kering. Proses pembuatan prototipe aplikator mengikuti alur perancangan alat yang diawali dengan perhitungan dimensi, disain gambar teknik dan pemilihan serta pembelian bahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe aplikator dengan penjahat tipe *belt conveyor* dapat berfungsi dengan baik dan mampu mengaplikasikan kompos dengan dosis tinggi (15 ton/ha).

Kata kunci : mekanisasi, aplikator kompos, kompos, tebu, lahan kering

Diterima: 27 November 2013; Disetujui: 19 Februari 2014

Pendahuluan

Teknologi pengelolaan serasah tebu berupa peralatan mekanis akan sangat membantu pihak perkebunan dalam usahanya untuk memanfaatkan potensilimbah organik menjadi kompos. Pengelolaan serasah tebu menjadi kompos membutuhkan beberapa tahap kegiatan dan peralatan mekanis yang memudahkan proses tersebut. Tahapan kegiatan tersebut meliputi pengumpulan serasah tebu dengan menggunakan traktor, *trash rake*, pengangkutan serasah tebu menggunakan *trailer*, pencacahan menggunakan *chopper*, proses fermentasi atau pengomposan, pencampuran menggunakan *loader*, pengadukan menggunakan *composting turner*, dan untuk aplikasi di lahan digunakan aplikator kompos.

Areal perkebunan tebu di Indonesia yang begitu luas menyebabkan kegiatan sistem pengelolaan serasah tebu hanya mungkin dilakukan dengan mekanisasi. Beberapa kegiatan yang dilakukan dalam sistem pengelolaan serasah tebu antara lain : pengumpulan, pengangkutan, pencacahan, pengomposan, pengadukan, dan aplikasi di lapang. Kegiatan - kegiatan tersebut tentunya membutuhkan peralatan mekanis. Spesifikasi mesin dan peralatan yang digunakan pada beberapa kegiatan tersebut harus memenuhi kebutuhan dan kondisi budidaya tebu di Indonesia. Beberapa penelitian yang berhubungan dengan sistem pengelolaan serasah tebu seperti mekanisme pengomposan dan pencacahan serasah tebu sudah pernah dilakukan akan tetapi penelitian yang khusus mengenai aplikator kompos yang berasal dari serasah tebu

belum ada, sehingga perlu dilakukan penelitian tentang teknologi aplikator kompos yang berasal dari serasah tebu.

Aplikasi pupuk organik/kompos secara manual pada perkebunan tebu lahan kering tidak memungkinkan karena luas areal perkebunan mencapai ribuan hektar sehingga dibutuhkan peralatan mekanis untuk melakukannya. Keberadaan aplikator kompos akan sangat membantu dalam aplikasi kompos di lahan perkebunan tebu.

Tujuan penelitian ini adalah merancang prototipe aplikator kompos serasah tebu yang dapat dioperasikan pada tanaman tebu baru (*PC*) dan tebu keprasan (*ratoon*) di perkebunan tebu lahan kering.

Bahan dan Metode

Pembuatan Prototipe

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian proses perancangan aplikator kompos ini antara lain peralatan pengelasan, peralatan perbengkelan (*tool kit*), bor, gerinda, gergaji besi dan meteran. Dalam proses perancangan aplikator kompos bahan yang digunakan adalah besi baja, besi plat, besi L dan U, kawat las, sejumlah baut, ban mobil, karet *belt conveyor*, *sproket*, *auger*, poros besi, rantai, papan kayu, dan bantalan duduk.

Metode Pembuatan

Proses pembuatan prototipe aplikator diawali dengan melakukan perhitungan dimensi, disain gambar teknik dan pemilihan serta pembelian bahan.

Pengujian Prototipe

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam pengujian aplikator kompos antara lain timbangan, sapu pembersih, ember penampung kompos, karung wadah kompos (terpal plastik), engkol pemutar dan *stop watch*. Bahan yang digunakan adalah kompos yang berasal dari serasah tebu.

Metode Pengujian Statis

Pengujian statis dilakukan untuk mengetahui kinerja aplikator dengan mengukur beberapa parameter seperti; kecepatan poros konveyor (rpm), persentase bukaan pintu (%) serta laju keluaran kompos (g/s). Berikut adalah prosedur pengujian statis aplikator kompos.

1. Mengganjal aplikator kompos dengan batang pengganjal sehingga roda aplikator tidak menyentuh tanah dan dapat bergerak bebas
2. Menimbang dan mencatat berat kompos yang akan diuji.

3. Memastikan pintu pengatur bukaan dalam keadaan tertutup (terbuka 0%)
4. Menuangkan kompos ke dalam bak penampung kompos aplikator
5. Mengangkat pintu pengatur setinggi 10 cm (bukaan 20%)
6. Memulai memutar engkol pemutar, menghitung jumlah putaran dan mengukur waktu sampai kompos di bak penampung habis.
7. Mengulangi prosedur 1 sampai 6 untuk tinggi bukaan pintu pengatur 15 cm (bukaan 30%) dan 20 cm (bukaan 41%)

Hasil dan Pembahasan

Rancangbangun Aplikator Kompos

Perancangan aplikator kompos dengan mekanisme penggandengan *drawbar pull* memerlukan perhitungan agar diperoleh kinerja yang diharapkan. Operasi yang diharapkan dari aplikator adalah menjatah kompos di bawah permukaan tanah. Komponen atau bagian dari aplikator kompos yang paling berperan adalah pembuka alur dan penjatah kompos. Jarak tanam tanaman tebu adalah 130 cm. Kompos ditempatkan pada alur sepanjang barisan tanaman. Jarak alur kompos dengan tanaman ± 30 cm (Anonim 2008).

Spesifikasi yang dibutuhkan dalam perancangan aplikator ini antara lain :

1. Mampu mengangkut kompos
2. Mampu menjatahkan kompos sesuai dosis yang diharapkan
3. Mampu menempatkan kompos ke dalam tanah (kedalaman 5-15 cm)
4. Mampu bergerak dan berbelok
5. Mampu menahan atau menjaga kompos tidak keluar saat aplikator berbelok atau saat tidak memupuk
6. Mampu tidak membuka alur pada saat tidak diperlukan
7. Dapat digandengkan dengan traktor penarik

Desain Fungsional

Fungsi utama dari aplikator kompos adalah mengaplikasikan kompos serasah tebu ke lahan atau kebun tebu baru maupun tebu *ratoon* sesuai dosis dan tempat yang diharapkan.

Rangka.

Diharapkan dapat berfungsi sebagai penopang beban dari bak penampung kompos dan sebagai penggandeng alat dengan traktor. Bagian yang akan menjadi komponen adalah rangka utama dan poros penjatah.

Bak Penampung Kompos.

Dibuat untuk menampung pupuk organik atau kompos dengan baik dan menjadi dudukan bagi

Tabel 1. Fungsi dari tiap komponen aplikator

No	Fungsi	Komponen/Mekanisme
1	Mengangkut kompos	Bak kompos
2	Menjatah kompos sesuai dosis	Metering device tipe <i>belt conveyor</i> dengan pintu pengatur bukaan
3	Menyalurkan kompos ke lubang pengeluaran	<i>Auger</i>
4	Menempatkan kompos di dalam tanah	Pembuka alur (<i>chisel</i>)/3 titik gandeng
5	Dapat berbelok/bergerak	Roda
6	Penggerak <i>metering device</i>	Sistem transmisi (<i>sproket & rantai</i>)
7	Dapat ditarik traktor	Sistem penggandengan <i>drawbar</i>

poros penjatah karena poros tersebut bekerja di dalam bak penampung kompos. Dalam bak penampung kompos terdapat *belt conveyor* dan pintu pengatur pengeluaran kompos.

Penjatah kompos.

Fungsi utama aplikator kompos adalah menjatah kompos sesuai dosis yang diharapkan. Mekanisme pengaplikasian kompos yang paling cocok diterapkan dalam pembuatan model prototipe aplikator kompos serasah tebu adalah dengan menggunakan *metering device* atau penjatah tipe *belt conveyor*. Kompos akan disalurkan dengan menggunakan sabuk berjalan menuju ke lubang pengeluaran. Pengeluaran atau dosis kompos dapat diatur dengan pintu penyesuaian (pengatur dosis) di atas sabuk/*belt*. Aplikator ini akan memanfaatkan tenaga yang berasal dari poros roda aplikator yang ditransmisikan melalui rantai.

Pintu Pengatur Bukaan.

Saat traktor tidak melakukan aplikasi kompos seperti berbelok atau keperluan transportasi dan pengisian kompos, pintu ini dapat berfungsi untuk menghalangi terjadi pengeluaran atau tertumpahnya kompos pada tempat yang tidak diinginkan. Fungsi

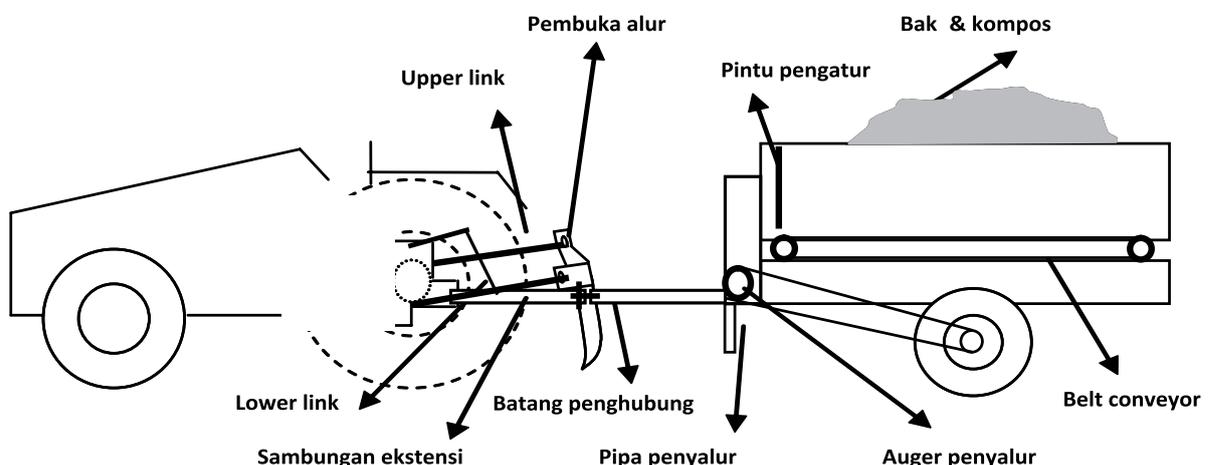
lainnya adalah untuk mengatur dosis atau kapasitas pengeluaran kompos pada saat aplikasi di lapangan. Proses membuka atau menutup dari pintu pengatur ini masih dilakukan secara manual dan desainnya dibuat cukup sederhana. Pintu pengatur ini dapat dibuat dari bahan kayu yang tipis (papan) atau besi plat.

Sistem Transmisi.

Sumber tenaga putaran untuk *implement* traktor sering tidak memiliki tempat atau nilai kecepatan yang sama dengan poros penjatah. Oleh karena itu diperlukan sebuah transmisi untuk mengubah kecepatan putar poros input agar sesuai dengan kebutuhan putaran di poros penjatah. Tenaga putar untuk panjatah atau *belt conveyor* aplikator ini bersumber dari putaran roda aplikator kompos.

Auger Penyalur.

Berfungsi untuk menyalurkan kompos yang telah jatuh dari bak penampung kompos ke lubang pengeluaran untuk selanjutnya jatuh ke tanah. *Auger* penyalur ini dapat penyalurkan kompos kedua arah yaitu ke arah ujung kiri dan kanan dimana terdapat lubang pengeluaran kompos.



Gambar 1. Sketsa desain struktural aplikator kompos

Tabel 2. Volume rencana bak penampung kompos aplikator

No	Baris (row)	Panjang alur (m)	Berat pupuk (kg)	Volume pupuk (m ³)
1	2	200	780	2.3
2	4	200	1560	4.6
3	6	200	2340	6.9
4	154 (4 ha)	200	15000	44.1

Desain Struktural

Desain struktural dalam perancangan aplikator kompos dilakukan dengan menentukan fungsi dari setiap komponen yang akan digunakan. Identifikasi fungsi dari setiap komponen ini akan saling melengkapi sehingga aplikator dapat bekerja dengan baik (Tabel 1).

Gambar 1 menunjukkan bagian-bagian atau komponen-komponen dari aplikator yang masing-masing memiliki fungsi yang akan mendukung fungsi utama dari aplikator untuk menjatahkan kompos ke dalam tanah sesuai dengan dosis yang diinginkan.

Bak Penampung Kompos

Berdasarkan kriteria disain yang telah ditetapkan, aplikator harus dapat dioperasikan untuk satu alur tanaman dengan jarak kurang lebih 30 cm dari tanaman. Dari pertimbangan tersebut akan dibuat rangka bak aplikator dengan tinggi 130 cm, panjang 200 cm, dan lebar 110 cm. Bahan rangka bak penampung aplikator terbuat dari besi berbentuk U dan L. Volume bak penampung kompos dapat dihitung dengan melihat kebutuhan dosis kompos perhektar, berat jenis kompos, dan efisiensi pengisian kompos. Luas petakan kebun pada PG Takalar adalah 200 m x 200 m (4 ha) dan dosis kompos yang akan diaplikasikan adalah 15 ton/ha.

Perkebunan tebu PG Takalar menggunakan pola tanam 77 yang berarti dalam setiap hektarnya terdapat 77 row (baris) tanaman (Anonim 2008). Dosis kompos yang akan diaplikasikan ke lahan adalah 15 ton/ha, berarti dosis kompos setiap alur tanaman adalah = 1.95 kg/m.

Satu alur tanaman terdapat dua alur kompos, sehingga berat kompos setiap alur kompos adalah 195 kg/alur tanaman dibagi 2 alur kompos/alur tanaman = 97.5 kg/alur kompos, sehingga berat kompos untuk setiap 400 m alur tanaman adalah 780 kg. Berat jenis kompos adalah 340 kg/m³, sehingga volume kompos yang merupakan volume bak penampung kompos adalah 2.3 m³.

Dimensi bak penampung kompos ditentukan dengan jumlah beban angkut maksimal yang dikehendaki yaitu 780 kg atau dengan volume 2.3 m³. Lebar bak penampung 110 cm, tinggi 105 cm dan panjang 200 cm.

Penjatah Kompos.

Fungsi utama alat aplikator kompos adalah menjatah atau mengaplikasikan kompos dengan mudah. Dari berbagai alternatif mekanisme penjatah dipilih tipe *belt conveyor* untuk mekanisme penjatah aplikator pupuk organik atau kompos yang dilengkapi dengan pintu pengatur bukaan. Ada beberapa alasan yang menjadi dasar pemilihan *metering device* tipe *belt conveyor* adalah :

- a. Jenis pupuk yang akan digunakan adalah kompos yang memiliki ukuran partikel granuler dan tidak seragam dengan ukuran $\leq 0.25 \text{ cm}^2$
- b. Dosis kompos yang besar yaitu 15 ton/ha = 1.95 kg/m sehingga dibutuhkan *metering device* dengan laju yang tinggi.
- c. Sifat fisik dari kompos yang agak ringan dengan berat jenis yang kecil sehingga membutuhkan daya penyaluran yang cukup dalam pengaplikasiannya. Memiliki volume yang besar dan berat jenis 340 kg/m³, sehingga dosis 1.95 kg/m = 57.35 cm³/cm.
- d. Aplikasi kompos tidak membutuhkan akurasi dosis yang tinggi karena pengaruh kompos berdampak positif dan tidak bersifat racun apabila kekurangan atau kelebihan dosis dalam aplikasi.

Sistem Transmisi

Poros roda aplikator sebagai sumber tenaga yang akan digunakan dalam aplikasi kompos membutuhkan sistem transmisi yang dapat menyesuaikan kebutuhan kecepatan putaran dan arah putaran di poros penjatah. Aplikator kompos menggunakan traktor sebagai tenaga penariknya. Selanjutnya poros roda aplikator menjadi sumber penggerak dari *auger* penyalur kompos dan poros *auger* penyalur ini menjadi sumber penggerak dari *belt conveyor*. Dalam sistem transmisi digunakan komponen rantai dan *sproket*.

Auger penyalur

Auger ini berfungsi untuk menyalurkan kompos yang terjatuh dari *belt conveyor* untuk disalurkan ke lubang pengeluaran kompos di sisi kiri dan kanan aplikator. Debit kompos yang harus disalurkan oleh *auger* untuk satu putaran roda adalah 11441.2 cm³. Kompos tersebut disalurkan ke sisi kiri dan kanan, sehingga debit masing-masing sisi adalah 11441.2

$$\text{cm}^3/2 = 5720.1 \text{ cm}^3$$

Rencana jenis komponen transmisi dengan menggunakan rantai dan sproket. Perbandingan transmisi roda penggerak dan auger adalah 15 : 34, sehingga dalam 1 putaran roda = 15/34 putaran auger = 0.44 putaran *auger*.

$$Q = \frac{\pi}{4} (d_{sf}^2 - d_{ss}^2) l_p n \quad (1)$$

Jadi diameter *auger* adalah 31.3 cm

Pembuka Alur (*Chisel*)

Pembuka alur yang dirancang harus mampu menempatkan kompos di dalam tanah sebanyak 57.35 cm³/cm. penempatan kompos dilakukan pada sisi kiri dan kanan tanaman tebu, sehingga setiap sisi harus diisi kompos sebanyak 28.67 cm³/cm. Sehingga volume lubang alur yang harus dibuat oleh pembuka alur adalah 28.67 cm³/cm panjang alur. Dengan kedalaman alur 8 cm, maka diperoleh lebar alur 3.6 cm.

Kedalaman atau tinggi alur harus memperhitungkan tebal tanah yang akan digunakan untuk menutup alur, tebal tanah penutup adalah 5 cm, sehingga tinggi lubang atau kedalaman alur adalah 5 cm + 8 cm = 13 cm. Luas bidang potong pembuka alur adalah (A) = 13 cm x 3.6 cm = 46.8 cm².

Ukuran Batang Pembuka Alur

Beban berupa lenturan (*bending*) pada batang pembuka alur dapat dianalisis. Untuk mengetahui ukurannya, dilakukan perhitungan *stress* pada titik kritisnya. Rencana panjang atau tinggi dari bilah bajak adalah 80 cm. Momen pada penampang K dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 (ASAE standart, 1998).

$$M = F_{pa} \times l \quad (2)$$

Dimana : M = momen di titik K (kgf.m)
 F_{pa} = beban tahanan tanah (kgf)
 l = jarak F_{pa} terhadap titik K (m)
 M = 177.8 * 0.8 = 142.2 kgf.m

Sistem Penggandengan

Traktor 4 roda akan digunakan sebagai tenaga penarik untuk mengaplikasikan kompos di lapangan. Sistem penggandengan yang akan digunakan antara traktor dan aplikator adalah dengan menggunakan *drawbar pull* yang terdapat pada traktor. *Chisel* yang digunakan sebagai pembuka alur digandeng dengan menggunakan tiga titik gandeng yang terdapat pada traktor sehingga dapat dinaik-turunkan dengan hidrolis. *Chisel* diletakkan di antara traktor dan aplikator kompos dan dapat diangkat sampai ketinggian 30 cm sehingga tidak mengganggu pergerakan traktor dan aplikator saat berbelok. Untuk penggandengan aplikator digunakan sambungan ekstensi pada

traktor yang memiliki panjang sama dengan jarak *chisel* ke traktor sehingga pada saat belok tidak terjadi tumbukan antara bilah *chisel* dan batang penggandeng aplikator. Tinggi *drawbar hitch* (h) untuk traktor yang digunakan adalah 57 cm dan panjang batang penggandeng (x) atau jarak antara bak penampung kompos dengan traktor (pin untuk gerakan memutar) pada aplikator kompos adalah 60 cm sehingga aplikator dapat berbelok dengan gerakan 90°.

Ukuran Roda dan As Roda

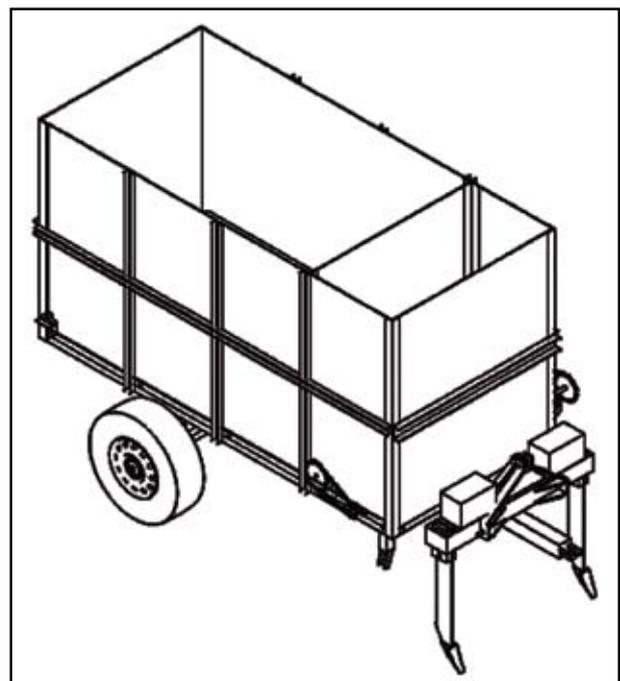
Aplikator yang dirancang menggunakan roda sebagai alat penggerak atau berpindah dengan ukuran as (poros) roda dan ukuran ban yang disesuaikan dengan beban yang direncanakan. Aplikator dirancang memiliki 2 roda sehingga setiap roda akan menumpu 1072.5/2 = 536.25 kg. Ukuran ban atau roda yang sesuai dengan beban ini adalah roda dengan *load index* 88. Ukuran ban atau roda yang sesuai adalah 145/70 R14 88S. Ukuran lebar tapak roda jenis ini adalah 145 mm dan telah melebihi lebar tapak roda yang diijinkan yaitu 12.2 cm atau 122 mm.

As Roda

Jenis bahan yang digunakan untuk as roda adalah silinder pejal dari baja S40C dengan kekuatan ijin (σ_a) adalah 55 kg/mm² dengan faktor keselamatan 4, sehingga kekuatan ijin (σ_a) adalah 55/4 = 13.75 kg/mm² dan jarak ban ke titik kristis (l) = 20 cm.

Kebutuhan Beban Tarik

Beban keseluruhan yang akan ditarik oleh traktor adalah beban aplikator kompos dan kompos



Gambar 2. Sketsa aplikator kompos

Tabel 3. Laju pengeluaran kompos pada beberapa tinggi bukaan pintu

No	Tinggi Bukaan Pintu	Jumlah Putaran (n)	Berat (kg)	Laju Pengeluaran (kg/putaran roda)
1	10 cm (20%)	87	70	0.8
2	15 cm (30%)	48	70	1.46
3	20 cm (41%)	29	70	2.41
4	29.4 cm(62%)	18	70	3.89

yaitu 17.8 hp. Traktor yang akan digunakan adalah traktor dengan daya 80 hp. Traktor ini mampu menarik beban yang hanya sekitar 6853.4 N atau traktor hanya membutuhkan daya sekitar 17.8 hp.

Pembuatan Prototipe Aplikator

Aplikator kompos terdiri atas beberapa bagian seperti rangka, bak kompos (*hopper*), pintu pengatur bukaan, penjatah (*belt conveyor*), poros *belt conveyor*, sistem transmisi, *auger* penyalur dan lubang pengeluaran kompos. Aplikator kompos memiliki tinggi 180 cm (dari permukaan tanah),

panjang 200 cm dan lebar 140 cm.

Aplikator ini terdiri atas beberapa bagian yang dirinci sebagai berikut :

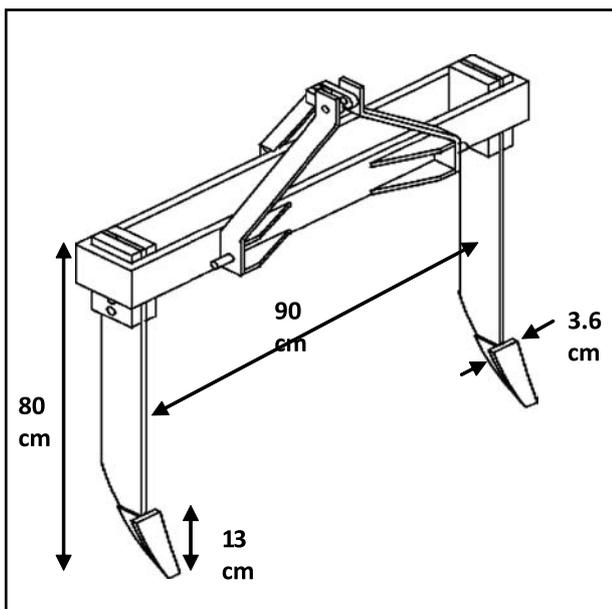
Rangka adalah bagian pertama yang dibuat pada proses pembuatan prototipe aplikator kompos adalah rangka. Ukuran rangka tanpa roda aplikator adalah tinggi 105 cm, panjang 200 cm, dan lebar 110 cm. Rangka ini menjadi dudukan beberapa bagian atau komponen aplikator seperti batang penggandeng, tempat sistem transmisi, dudukan untuk dua poros *belt conveyor* yang terletak pada bagian tengah, depan dan belakang. Rangka juga menjadi tempat dudukan bagi poros *auger* penyalur.

Bak Kompos atau bak penampung kompos berfungsi untuk menampung kompos yang siap diaplikasikan pada tanaman tebu baru dan tanaman tebu *ratoon*. Pada dasar bak tersebut terdapat *belt conveyor* yang berfungsi sebagai penyalur kompos ke pintu bukaan sekaligus sebagai penjatah kompos ke lahan.

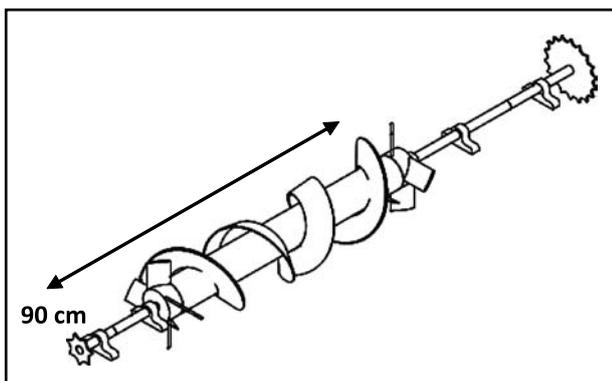
Penjatah Kompos merupakan suatu mekanisme dalam pengaplikasian kompos yang digunakan prototipe aplikator kompos adalah *metering device* atau penjatah tipe *belt conveyor*. Kompos disalurkan menggunakan sabuk berjalan menuju ke lubang pengeluaran, dimana pengeluaran atau dosis kompos dapat diatur dengan pintu pengatur bukaan di atas ujung depan sabuk/*belt*. Konveyor sabuk ini memiliki lebar 80 cm dan terbuat dari karet yang keras dan kuat sehingga mampu menopang beban yang berat seperti kompos. *Auger* sebagai penyalur kompos terbuat dari besi.

Pembuka Alur (Chisel) adalah komponen yang berfungsi sebagai penggali tanah untuk membuat atau membuka alur kompos. *Chisel* ini bekerja sebelum penjataan kompos di lahan. ukuran *chisel* harus dibuat sesuai dengan kebutuhan kedalaman pemupukan yaitu sekitar 10-15 cm. komponen *chisel* terdiri atas beberapa bagian antara lain : batang *chisel*, batang penguat *chisel*, sepatu *chisel* dan plat pelebar alur.

Auger Penyalur berfungsi untuk menyalurkan



Gambar 3. Dimensi pembuka alur (*chisel*)



Gambar 4. *Auger* penyalur kompos

kompos yang terjatuh dari *belt conveyor* ke sisi kanan dan kiri menuju lubang pengeluaran kompos.

Sistem Transmisi adalah komponen aplikator kompos yang berfungsi untuk mentransmisi atau menyalurkan tenaga dari sumber tenaga gerak ke tempat tujuan yang akan memanfaatkan tenaga tersebut. Poros roda aplikator digunakan sebagai sumber tenaga untuk proses penjatahan kompos di lapang. Dengan berbagai pertimbangan, digunakan rantai dan sproket motor sebagai komponen transmisi. Aplikator kompos menggunakan traktor sebagai tenaga penariknya. Selanjutnya poros roda aplikator menjadi sumber penggerak dari *auger* penyalur kompos dan poros *auger* penyalur ini menjadi sumber penggerak dari *belt conveyor*

Hasil Pengujian Statis

Pengujian yang dilakukan pada aplikator adalah pengujian statis. Parameter yang diukur pada uji statis ini adalah laju pengeluaran kompos yang dipengaruhi oleh tinggi pintu pengatur bukaan dan kecepatan traktor pada saat aplikasi kompos di lahan perkebunan. Hasil pengujian ini dapat dijadikan acuan untuk mengetahui laju pengeluaran kompos berdasarkan tinggi bukaan pintu pengatur atau persentase lebar bukaan dan kecepatan traktor yang dihitung melalui rpm roda aplikator kompos.

Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3 menunjukkan bahwa pada bukaan pintu 20%, 30%, dan 41% atau tinggi bukaan pintu pengatur 10 cm, 15 cm, dan 20 cm belum dapat mencapai laju pengeluaran kompos yang diharapkan yaitu 3.89 kg/putaran roda. Untuk bukaan 20% memiliki laju pengeluaran kompos 0.8 kg/putaran roda, bukaan 30%, 1.46 kg/putaran roda dan 41% memiliki laju pengeluaran kompos 2.41 kg/putaran roda. Untuk mengeluarkan dengan laju 3.89 kg/putaran roda pintu pengatur harus dibuka setinggi 29.4 cm atau 62% bukaan pintu.

Terdapat perbedaan tinggi bukaan pintu pada hasil perhitungan dengan hasil uji statis. Ini disebabkan oleh perbedaan bentuk dan dimensi antara hasil perhitungan dan prototipe yang dibuat. Ukuran dimensi hasil perhitungan adalah lebar x tinggi (110 cm x 100 cm) dan berbentuk persegi empat, sedangkan prototipe yang dibuat dan diuji memiliki bentuk trapesium dengan lebar sisi bawah 80 cm, lebar sisi atas 110 cm dan tinggi 45 cm.

Hal yang terpenting dari hasil pengujian ini adalah bahwa mekanisme penjatahan kompos dengan menggunakan penjatah tipe *belt conveyor* sudah dapat berfungsi dengan baik. Sedangkan untuk laju pengeluaran kompos dapat disesuaikan dengan tinggi bukaan pintu pengatur atau persentase bukaan pintu pengatur. Lebar bukaan pintu dan kecepatan maju aplikator dapat disesuaikan dengan laju pengeluaran atau dosis kompos yang diinginkan saat aplikasi kompos di lahan tebu.

Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe aplikator kompos menggunakan penjatah tipe *belt conveyor* dapat berfungsi dengan baik. Lebar konveyor sabuk yang digunakan adalah 110 cm sehingga tinggi bukaan pintu untuk mengeluarkan kompos 3.89 kg/putaran roda atau dosis pemupukan 15 ton/ha adalah 14.6 cm. Ukuran ban atau roda yang sesuai adalah 145/70 R14 88S. Beban keseluruhan yang akan ditarik oleh traktor adalah beban aplikator kompos dan kompos yaitu 17.8 hp.

Daftar Pustaka

- Anonim. 2008. *Profil Pabrik Gula Takalar PTPN XIV (Persero)*. Makassar. Sulawesi Selatan.
 ASAE standart. 1998. *Standart Engineering Practices Data 45th ed.* USA.

Technical Paper

Modifikasi Nosel pada Sistem Penyemprotan untuk Pengendalian Gulma Menggunakan Sprayer Gendong Elektrik

Modification of Spraying System For Weed Control Utilize With Knapsack Electric Sprayer

Muhammad Nafis Rahman, Alumni Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Mayor Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Email : muhammadnafis.tmb@gmail.com
 Mad Yamin, Staf pengajar Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Email : madyamin2011@gmail.com

Abstract

This research aimed to modify the Nozzle of spraying system on the sprayer output to reduce the shift in spraying points on sprayed granules as a result of the wind blow from the environment. This electric sprayer consists of several components which are not found in a power sprayer or manual sprayer such as a 12-V battery or a 5.8 bar-pressure water pump. The result of the pressure comparison on the outlet showed a significant difference, namely in a 3-bar manual sprayer and a 4-bar electric sprayer. The pressure difference resulted in the difference in discharge, the length and width of the spraying.

Keywords : discharge, electric, manual, pressure, sprayer

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi Nosel pada system penyemprotan yaitu pada hasil keluaran sprayer untuk mengurangi pergeseran titik semprot pada butiran semprot yang timbul akibat adanya dorongan angin dari lingkungan. Sprayer elektrik terdiri dari beberapa komponen yang tidak terdapat pada power sprayer maupun manual sprayer seperti aki 12 V, pompa air tekanan 5.8 bar. Hasil perbandingan tekanan pada lubang keluaran menunjukkan perbedaan tekanan yang cukup signifikan, yaitu pada sprayer manual 3 bar dan sprayer elektrik 4 bar. Perbedaan tekanan tersebut mengakibatkan adanya perbedaan debit, panjang penyemprotan dan luas penyemprotan.

Kata Kunci : debit, elektrik, manual, sprayer, tekanan

Diterima: 12 November 2013;Disetujui:27 Februari 2014

Pendahuluan

Begitu luasnya lahan pertanian di Indonesia berkisar pada 13 juta ha. Berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Litbang Pertanian pada Tahun 2012 rata-rata serangan gulma pada lahan pertanian terolah memiliki tutupan 30–40 % setiap hektar, maka dapat diasumsikan tutupan gulma secara keseluruhan dapat mencapai 5.2 juta ha, sehingga diperlukan pengendalian gulma. Penyemprotan adalah salah satu teknik pengendalian gulma dengan cara mengaplikasikan herbisida dengan melarutkan pada air dan disemprotkan pada gulma yang terdapat di lahan pertanian.

Penggunaan berbagai jenis sprayer gendong yang diterapkan oleh petani baik jenis manual, *engine power* maupun *electric power* memiliki kendala dengan besarnya *overlapping* yang diakibatkan

oleh terpaan angin dari lingkungan kerja, meskipun penggunaan sprayer dilakukan pada pagi hari atau sore hari yang dapat dikatakan kecepatan angin relatif sangat kecil berkisar pada 0.03 m/s, akan tetapi perpindahan titik semprot yang dilakukan oleh petani pada umumnya akan menyebabkan terjadinya tekanan udara luar yang tinggi mencapai 0.3–1.7 m/s, hal ini akan mengakibatkan pergeseran titik jatuhnya droplet hasil penyemprotan.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan selama bulan April 2013 sampai dengan Juli 2013 di Laboratorium Lapang Siswadi Supardjo, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem di Leuwikopo Bogor dan Laboratorium

Tabel 2. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian

Bahan dan peralatan	Spesifikasi	Kegunaan
<i>Knapsack electric sprayer</i>	Jenis bahan pembuat tangki <i>high density /HDPE</i>	Alat yang akan dimodifikasi
Nosel	Terdapat tiga tipe yang digunakan <i>Flat fan spray nozzle, Cone nozzle, dan Deflektor nozzle</i>	Sebagai perlakuan perbedaan dan pengaruh jenis nosel
Corong	Bahan plastik	Penyearah udara
Kertas <i>concorde</i>	Warna putih 160 gram	Media untuk mengetahui droplet dari sprayer
Tinta negra		Pemberi warna pada cairan dalam tangki
Pengukur waktu	Digital	Mengukur lama waktu
Peralatan timbang	Kapasitas maksimal 25 kg	Mengukur bobot
Gelas ukur	Kapasitas 1 liter	Mengukur volume cairan
Penggaris / mistar	Metal, 50 cm	Mengukur panjang
Peralatan uji penyemprot/ <i>patternator</i>	2m x 1m	Mengukur sudut, lebar, dan tinggi penyemprotan
Busur derajat	Kayu, 180°	Mengukur Sudut

Sprayer CREATA, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat IPB.

Bahan dan Alat

Bahan semprotan yang digunakan pada penelitian ini adalah air yang diasumsikan sebagai pupuk cair yang telah dilarutkan dengan air. Sedangkan alat-alat yang digunakan tertera pada Tabel 2.

Metode Penelitian

Pada tahap ini akan dilakukan uji coba terlebih dahulu, dimana membuat sistem pengaliran fluida paksa menggunakan motor listrik DC yang terintegrasi terhadap penggunaan daya dari aki pada sprayer elektrik, *blower* tersebut dipasang di atas nosel untuk memberikan tekanan dalam penyaluran droplet hasil keluaran.

Parameter yang diukur

Parameter yang diukur pada penelitian ini adalah:

1. Debit cairan
2. Jumlah butiran semprot per satuan luas.
3. Kecepatan angin *blower* dan angin samping.
4. Sebaran dengan menggunakan analisis perhitungan CU pada *patternator* untuk mengetahui perbedaan luasan semprot antara sprayer manual dan sprayer elektrik.
5. Luasan penyemprotan terhadap perbedaan tekanan antara sprayer manual dan elektrik.
6. Hasil penyemprotan di lapang antara penerapan nosel N1, N2, N3 dari penggunaan sprayer manual dan sprayer elektrik.

Uji penyemprotan mengetahui lebar penyemprotan

Uji penyemprotan untuk menentukan besar sudut penyemprotan, lebar penyemprotan dan tinggi penyemprotan.

Kapasitas lapang teoritis (KLT) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$KLT = 0.36 (v \times l)$$

Dimana :

KLT = Kapasitas lapang teoritis (ha/jam)

v = Kecepatan rata-rata (m/detik)

l = Lebar penyemprotan atau jarak antar tanaman (m)

Untuk menghitung kapasitas lapang efektif (KLE) hanya diperlukan data waktu keseluruhan dari mulai bekerja hingga selesai (WK) dan luas hasil area yang disemprot (L). Persamaan yang dipakai adalah:

$$KLE = \frac{L}{WK}$$

Dimana:

KLE = Kapasitas lapang efektif (ha/jam)

L = Luas area yang disemprot (ha)

WK = Waktu kerja (jam)

Persamaan yang dipakai untuk menghitung efisiensi lapang (Eff) adalah:

$$Eff = (KLE/KLT) \times 100 \%$$

Metode yang digunakan untuk mengkuantitatifkan keseragaman sistem penerapan nosel. Metode

ini dilakukan dengan cara menempatkan gelas penampung di alat ukur. Sebuah sampel yang ditampung dari gelas penampung untuk mengevaluasi keseragaman sistem irigasi nosel dengan jarak *rectangular*. Christian's *uniformity coefficient*.

$$CU = \left(1,0 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{\bar{X} \times n} \right)$$

- CU = Koefisien keseragaman Christiansen
- X_i = Kedalaman air dalam gelas penampung i (mm)
- \bar{X} = Rata-rata kedalaman penampung (mm)
- n = Jumlah gelas penampung

Analisis dan Perhitungan Teknis

Proses analisis ini untuk mendapatkan kondisi hasil rancangan yang tepat dan sesuai dengan konsep yang telah direncanakan. Berikut adalah analisis yang perlu dilakukan dalam proses perancangan ini. Pada hasil konsep desain yang direncanakan memiliki area outlet diameter 20 cm dan menghasilkan aliran udara dengan kecepatan 3 m/s, pada tekanan statis 390 kPa (tekanan minimum lubang nosel yang telah diukur) dan kebutuhan daya 15 Watt, maka dapat diketahui tekanan yang dapat dihasilkan *blower* dan efisiensi totalnya :

$$V = 3 \text{ m/s}$$

$$P_t = p_s + v^2 \rho / 2$$

$$= 390 + (3^2)(1.2 \text{ kg/m}^3) / 2$$

$$= 395.4 \text{ kPa}$$

$$e_{total} = p_t Q / P$$

$$= 395.4 (0.012) / 15$$

$$= 33 \%$$

Berdasarkan hasil pengukuran tekanan sebesar 395.4 kPa tersebut maka desain sudah layak untuk kemudian dirancang dan diimplementasikan.

Pengujian dan Pengambilan Data

Persiapan alat semprot yang belum dimodifikasi.

Alat semprot nosel dimodifikasi dengan desain pada Gambar 2.

Mengukur debit air.

Dilakukan pengukuran lebar penyebaran dan pola distribusi cairan dengan menderetkan gelas air mineral.

Knapsackelectric sprayer dikenakan pada seorang operator dan dipersilahkan untuk berjalan lurus pada suatu lintasan.

Tepat dibawah nosel akan diletakkan *water sensitive paper*. Kemudian dilakukan penyesuaian ketinggian 60 cm dan akan dikombinasikan jenis nosel yang dipakai, dengan ini terdapat 9 kombinasi data yang berbeda.

Pengumpulan kembali *water sensitive paper* setelah diberikan beberapa saat dengan maksud supaya butir-butir yang halus sudah mencapai permukaan kolektor.

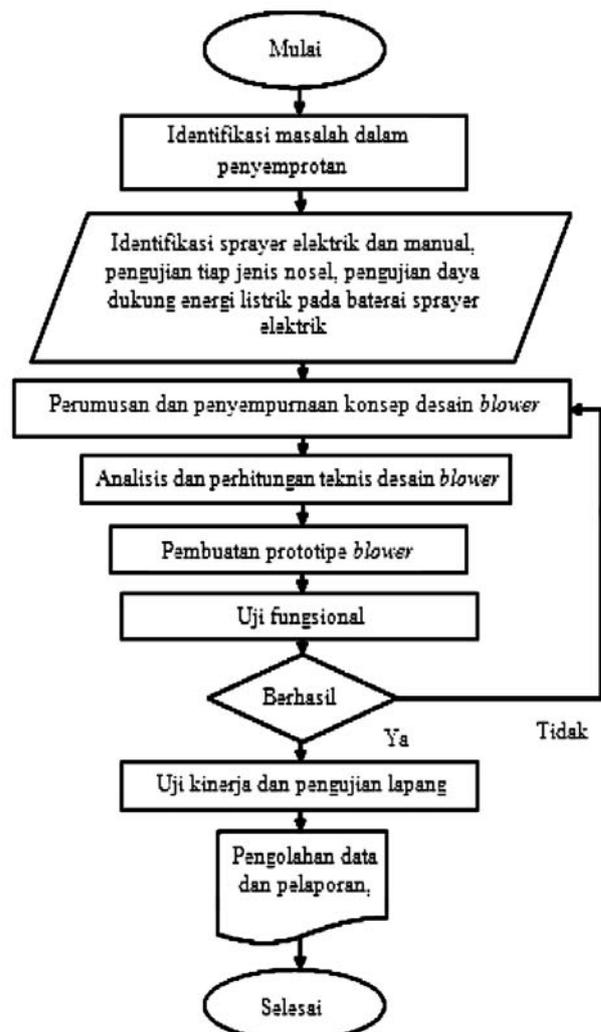
Setelah *water sensitive paper* dirasakan kering maka segera dimasukkan kedalam plastik, hal ini untuk menghindari kotoran dan kerusakan akibat kontak dengan udara luar yang terjadi pada *water sensitive paper*.

Water sensitive paper yang telah manampung butiran semprot, dilakukan *scan* dengan menggunakan *scanner*.

Dilakukan pengujian lapang pada lahan datar yang memiliki kepadatan gulma beragam untuk mendapatkan KLT, KLE dan efisiensi lapang.

Hasil Modifikasi Nosel Udara Paksa

Proses modifikasi nosel dengan udara paksa hanya diterapkan pada elektrik sprayer untuk meratakan hasil penyemprotan. Tujuan fungsional yang ingin dicapai adalah pola sebaran yang tepat pada titik semprot sesuai pada perpindahan batang nosel di lokasi penyemprotan, *blower* mendapatkan sumber listrik dari aki yang terdapat pada elektrik



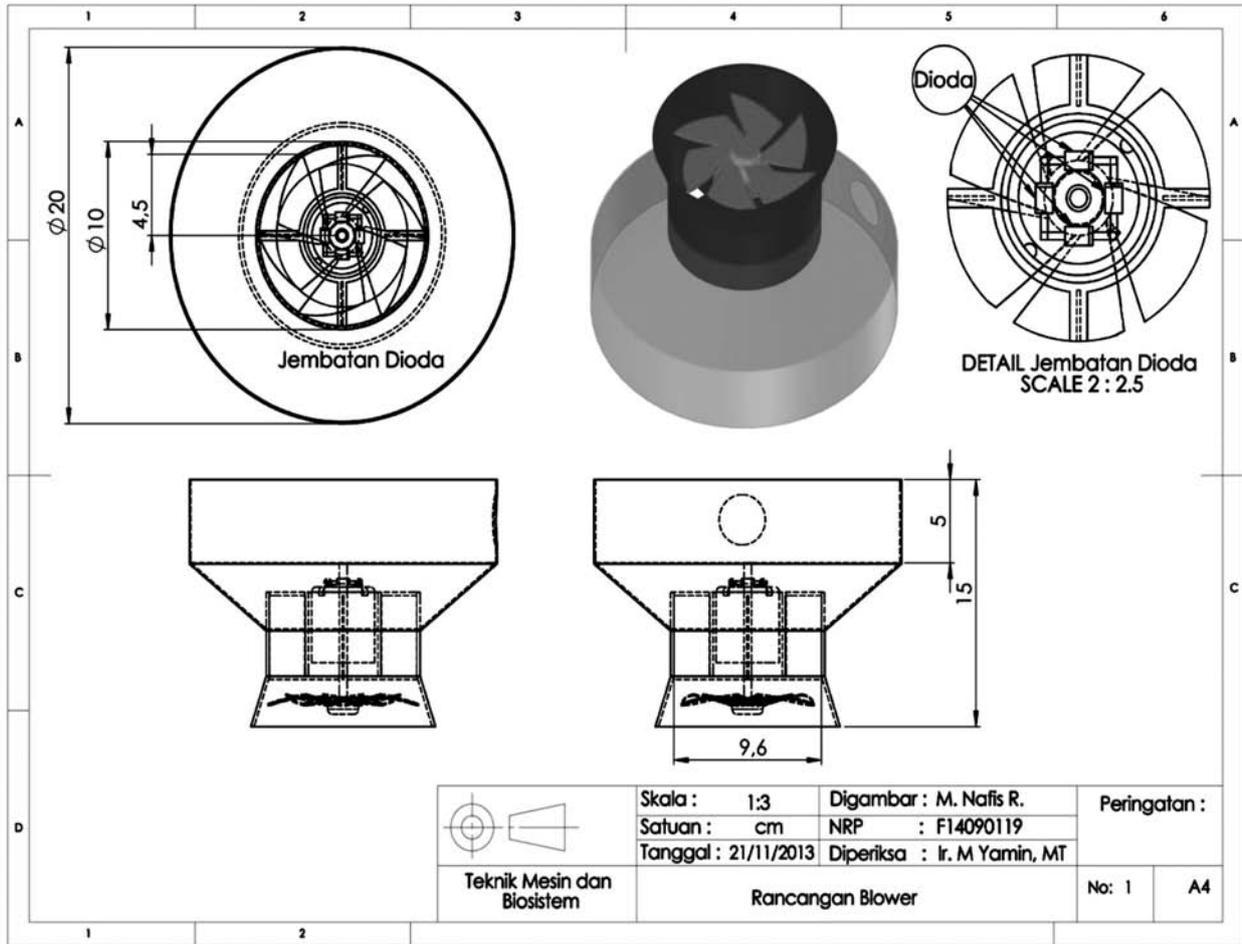
Gambar 1. Diagram alir kegiatan penelitian

Tabel 3. Spesifikasi kipas

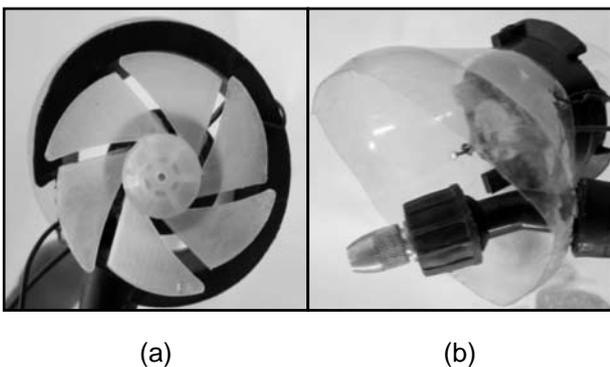
Spesifikasi	Besaran atau bahan
Daya	15 Watt
Arus	DC
Putaran maksimum	750 rpm
Panjang keseluruhan	12 cm
Lebar kipas	15-20 cm
Berat	74 gram

Tabel 4. Hasil pengukuran tekanan

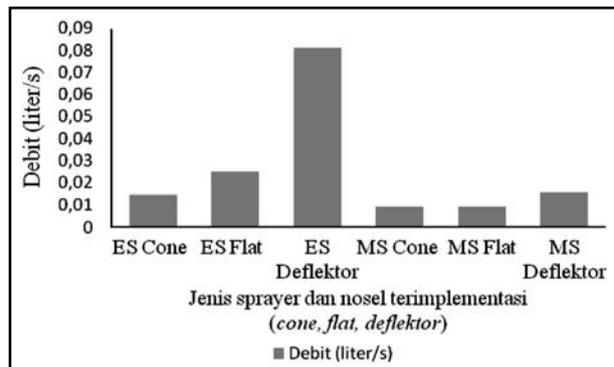
Ulangan	Tekanan	Tekanan
	Manual (bar)	Sprayer Elektrik (bar)
1	3.2	4
2	2.8	4.6
3	3.6	3.9
Rata-rata	3.2	4.1



Gambar 2. Desain orthogonal rancangan blower udara paksa untuk memodifikasi penyemprotan



Gambar 3. Hasil perancangan nosel blower (a)Tampak atas, (b) Tampak samping.



Gambar 4. Histogram hasil pengukuran debit rata-rata jenis sprayer dan dengan beragam nosel

sprayer untuk memutar pompa. Kegiatan modifikasi ini tidak terdapat perubahan dalam tangki, pompa dan tuas pompa.

Blower

Modifikasi yang pertama dilakukan adalah menentukan *blower* yang hendak diaplikasikan pada sprayer dengan kriteria yang sesuai dengan yang diharapkan meliputi bobot *blower* 20-50 gram, penyearah fluida dengan diameter 15-20 cm, beban listrik 5-15 Watt seperti pada Gambar 3. Melalui perhitungan teknis dan *survey* pasar pada jenis kipas maka dipilih kipas dengan spesifikasi berikut ini (Tabel 3).

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Perbedaan Nosel Terhadap Debit Keluaran Cairan

Berdasarkan data pada Tabel. 4, hal ini mempengaruhi debit keluaran yang terukur seperti pada Gambar 18.

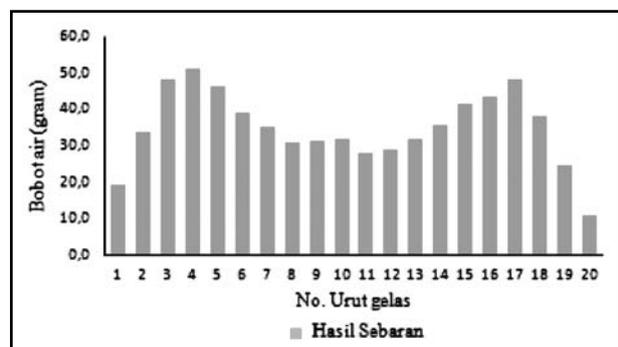
Sebaran Penyemprotan

Nilai sebaran berpengaruh pada cara aplikasi untuk tiap jenis sprayer, semakin tinggi nilai sebarannya maka penggunaan sprayer diharapkan dapat menyesuaikan dalam hal perpindahan batang nosel yang hendak mendistribusikan. Gambar 5. di bawah ini menunjukkan sebaran droplet pada

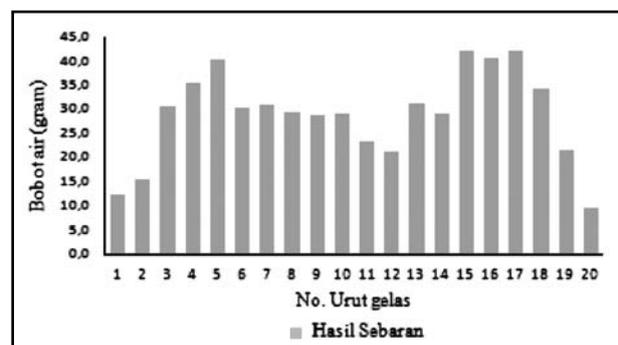
pengujian di aprat uji sprayer.

Berdasarkan Gambar 6. di atas menunjukkan sebaran pada sprayer manual lebih merata dengan nilai sebaran yang ditentukan dengan menghitung CU sebesar 74.2% sedangkan sprayer elektrik 72.7%. Perbedaan tekanan mempengaruhi jumlah droplet yang dikeluarkan terlihat dari jumlah dropletnya sprayer elektrik lebih besar dengan titik puncak 50 gram dan sprayer manual nilai maksimalnya 45 gram. Hasil analisis penggunaan sprayer elektrik nosel *cone* dapat lebih baik penerapannya dengan meningkatkan kecepatan perpindahan penyemprotan untuk menghindari *overlapping* yang diakibatkan jumlah nosel yang ada.

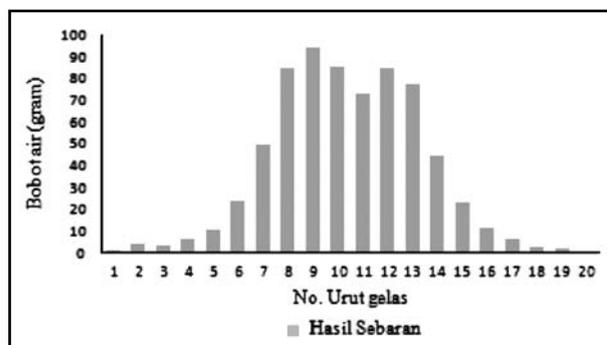
Perbandingan sebaran pada tiap jenis sprayer dengan nosel tipe *flat* menunjukkan sedikit



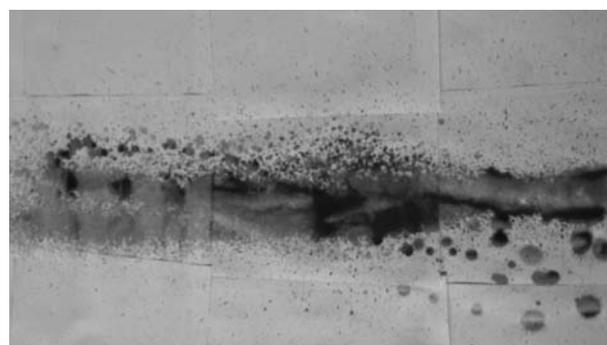
Gambar 5. Histogram sebaran sprayer elektrik dengan nosel tipe *cone*



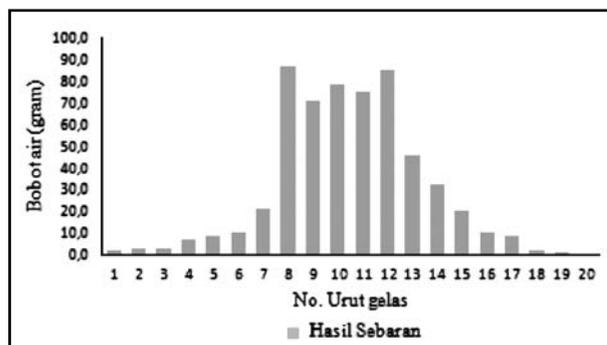
Gambar 6. Histogram sebaran sprayer manual dengan nosel tipe *cone*



Gambar 7. Histogram sebaran sprayer elektrik dengan nosel tipe *flat*



Gambar 8. Pola sebaran nosel *flat* pada sprayer elektrik.



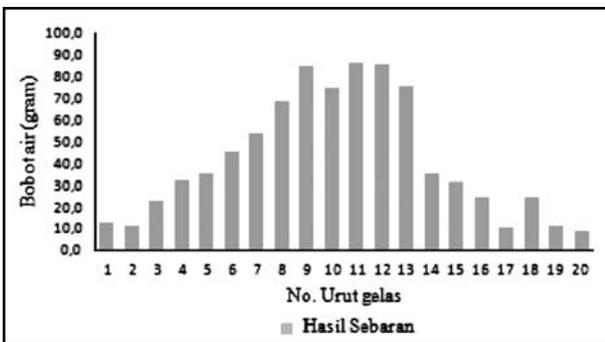
Gambar 9. Histogram sebaran sprayer manual dengan nosel tipe *flat*

perbedaan pada nilai CU seperti ditunjukkan pada histogram Gambar 9., pada penggunaan nosel ini berlaku nilai sebaran sprayer elektrik lebih merata dengan CU 75.3 % sedangkan sprayer manual 59.6% dengan histogram hasil sebaran seperti pada Gambar 10.

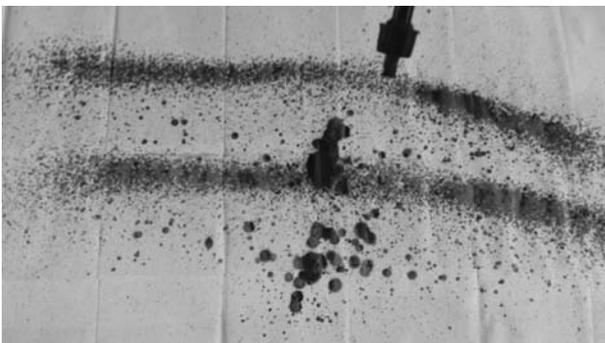
Penerapan nosel tipe deflektor berdasarkan pada hasil pengujian memiliki tingkat penyebaran yang kurang menginterpretasikan droplet yang merata (Gambar 10) dengan nilai CU pada sprayer manual 57.3 % secara visual histogramnya seperti pada Gambar 12. dan Gambar 26 untuk sprayer manual 51 %.

Pengaruh Angin pada Distribusi Droplet

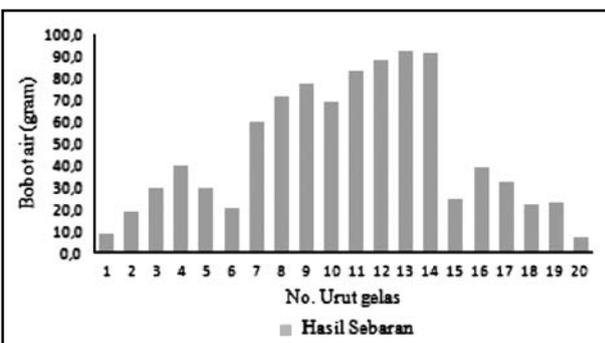
Penyebaran droplet yang terjadi dari hasil pengamatan menunjukkan perbedaan pada tiap-



Gambar 10. Histogram sebaran sprayer elektrik dengan nosel tipe deflektor



Gambar 11. Pola sebaran nosel deflektor sprayer elektrik



Gambar 12. Histogram sebaran sprayer manual dengan nosel tipe deflektor

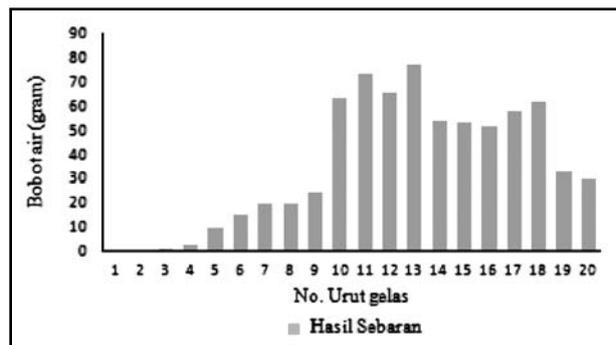
tiap nosel. Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap pengaruh angin yang terjadi pada sebaran droplet, sebagai contoh investasi angin (1.32 m/s) akan menunjukkan sebaran droplet seperti pada Gambar 27.

Berdasarkan hasil yang digambarkan pada Gambar 13. di atas menunjukkan bahwa angin memiliki dampak yang cukup besar dalam investasi *inefficiency* penerapan sprayer di lapangan. Pada pengujian-pengujian sebelumnya bobot tertampung pada gelas setiap menit sebesar 775 gram dan setelah dilakukan modifikasi kondisi angin sebesar 1.23 m/s total bobot air tertampung / menit sebesar 709 gram, hal itu membuat terjadinya *inefficiency* pada penyebaran droplet sebesar 66 gram yang jika di lapangan biasanya menjadi *overlapping* pada target penyemprotan. Pendekatan teknis dalam pengaruh gaya samping dari angin ini dapat digambarkan dalam simulasi berikut ini.

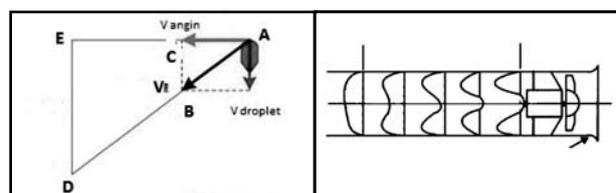
Pada analisis ini (Gambar 14.) gaya gravitasi tidak diperhitungkan karena berdasarkan hasil pengamatan secara visual pada proses penelitian menunjukkan bahwa angin akan lebih cepat mengakibatkan pergeseran pada titik penyemprotan, hal ini dipengaruhi kecilnya bobot yang terdapat pada droplet. Perhitungan dari resultan, perpindahan dan arah droplet akibat pengaruh angin dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Hasil Uji Fungsional Modifikasi Nosel Udara Paksa

Hasil pengukuran pada *blower* yang memiliki spesifikasi DC 12 V, Pemaksaan udara pada penyemprot pada penerapan *blower*, jika dilihat secara visual maka terlihat pengaruh yang ditimbulkan yakni aliran udara turbulen, hal itu



Gambar 13. Histogram pergeseran titik jatuh droplet



Gambar 14. Profil kecepatan angin dan pengaruh gaya yang ditimbulkan

Tabel 5. Pengaruh angin pada pergeseran titik droplet

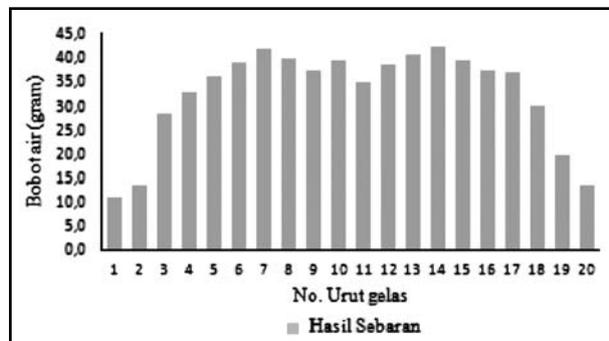
Tinggi penyemprotan (m)	Hasil pengukuran V angin (m/s)	Kecepatan blower max (m/s)	Resultan	Pergeseran titik droplet (m)
0.6	0.5	2.7	2.75	0.61
0.6	0.75	2.7	2.80	0.62
0.6	1	2.7	2.88	0.64
0.6	1.25	2.7	2.98	0.66
0.6	1.5	2.7	3.09	0.69
0.6	1.75	2.7	3.22	0.72
0.6	2	2.7	3.36	0.75

secara umum memiliki pengaruh yang signifikan pada pola sebaran sprayer elektrik, karena faktor pembatas pada implementasi blower paksa ini adalah ketersediaan energi listrik untuk memutar fan maka nosel dengan blower hanya diterapkan pada sprayer elektrik. Pada pengujian secara umum memiliki pengaruh pada pola sebaran droplet, hal itu dapat dilihat pada Gambar 15. di bawah ini.

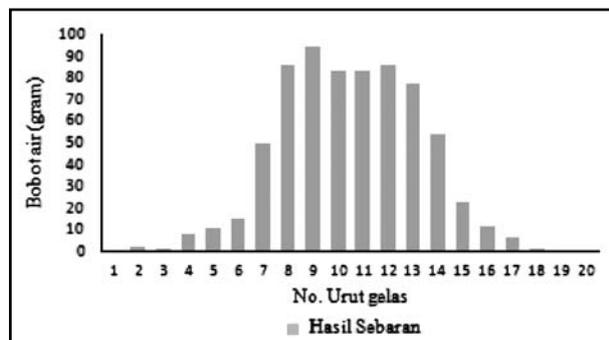
Pengujian lapang pada sprayer elektrik menunjukkan hasil yang baik, secara substantif efisiensi lapang penggunaan sprayer dapat dijadikan dasar dalam pemilihan jenis sprayer yang sesuai. Pengujian ini menggunakan lahan di Laboratorium Lapang Siswadi Supardjo Departemen Teknik Mesin dan Biosistem dengan luas tiap lahan uji 400

m² dengan jumlah area lahan uji tiga lahan, yakni dengan penerapan sebagai berikut lahan 1: sprayer manual, lahan 2: sprayer elektrik, lahan 3: sprayer elektrik dengan nosel termodifikasi. Pada penelitian ini keseluruhan menggunakan nosel cone dengan herbisida tipe kontak (merek gramoxone), penentuan herbisida terpilih ini berdasarkan dominasi gulma yang terdapat di lahan uji (Gambar 17).

Pengukuran KLT dan KLE dalam pengujian kinerja sprayer dari tiap lahan pengujian dengan KLT sebesar 0.36 ha/jam untuk kecepatan penyemprotan 2 m/s. Hasil pengujian untuk luas lahan 400 m² membutuhkan 12 liter sprayer manual dan 16.8 liter sprayer elektrik. Secara teoritis data ini dapat dijadikan acuan pada semua lahan uji.



Gambar 15. Histogram sebaran hasil dorongan udara paksa menggunakan blower pada nosel cone.



Gambar 16. Histogram sebaran hasil dorongan udara paksa menggunakan blower pada nosel deflektor



Gambar 17. Salah satu gulma pada lahan uji Ageratum conyzoides (Babadotan)

Sedangkan untuk data Kapasitas Lapang Efektif dengan kecepatan penyemprotan yang terukur untuk lahan 1 (sprayer manual) sebesar 11 menit, lahan 2 (sprayer elektrik) sebesar 8 menit dan lahan 3 (sprayer elektrik dengan nosel termodifikasi) 9 menit, penentuan hasil perhitungan KLE meliputi 0.21 ha/jam (lahan uji 1); 0.13 ha/jam (lahan uji 2); 0.26 ha/jam (lahan uji 3). Berdasarkan perhitungan dengan perbandingan KLE dan KLE didapatkan nilai efisiensi sebagai berikut 60% (lahan uji 1); 83% (lahan uji 2); 74% (lahan uji 3). Kegiatan pengambilan data lapang seperti yang ditampilkan pada Gambar 18. di bawah ini.

Penyemprotan Gulma pada Lahan Aplikasi Sprayer Elektrik

Penggunaan sprayer elektrik memiliki nilai aplikasi pada lahan pertanian yang cukup tinggi, hal tersebut dapat dilihat dengan efisiensinya yang cukup besar mencapai 83%, selain itu penggunaan sprayer jenis ini juga lebih mudah digunakan karena tanpa melakukan pemompaan sehingga tekanan yang dihasilkan dapat secara konstan 4 bar, karena besarnya tekanan tersebut maka debit yang dikeluarkan juga besar sehingga titik penyemprotan harus benar-benar tepat untuk menghindari terbuangnya cairan herbisida yang akan berpengaruh pada biaya bahan kimia. Penerapan *blower* untuk memaksa aliran droplet



Gambar 18. Kegiatan pengujian sprayer elektrik nosel termodifikasi



(a)

(b)

Gambar 19. (a) Nosel dengan *blower* tidak aktif dan (b) Nosel dengan *blower* yang aktif

dan memperkecil pengaruh aliran udara luar yang diakibatkan dari perpindahan titik penyemprotan ke titik yang lainnya ataupun angin alami yang sering terjadi pada saat proses penyemprotan. Modifikasi nosel dengan *blower* kecepatan > 800 rpm memiliki tekanan udara hingga 0.92 bar yang diukur menggunakan timbangan tekan digital yang sensitif terhadap aliran udara pada jarak 0.40 meter dari *blower*. Mekanisme kerja nosel termodifikasi ini seperti ditampilkan pada Gambar 19. di bawah ini.

Simpulan dan Saran

Simpulan

Hasil modifikasi Nosel pada proses penyemprotan memiliki pengaruh yang cukup signifikan untuk mengurangi pergeseran titik semprot, melalui hasil rancangan *blower* dengan tenaga listrik yang terintegrasi pada sumber listrik pada aki elektrik sprayer maka tidak lagi membutuhkan komponen penyimpan daya tambahan. Berdasarkan hasil pengujian maka dengan kecepatan angin sebesar 1.32 m/s maka dapat mengurangi pergeseran droplet sepanjang 0.75 m, kondisi ini akan semakin baik jika kecepatan angin yang dihasilkan oleh *blower* lebih besar.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk menentukan penggunaan kedua sprayer ini dengan dianalisis melalui nilai ekonomi, selain itu secara teknis perlu adanya data hasil penelitian mengenai jenis aliran yang terjadi.

Daftar Pustaka

- [BSN] Badan Standar Nasional. 2008. *SNI Alat Pemeliharaan Tanaman Sprayer Gendong Semi-Otomatis Unjuk Kerja dan Metode Uji*. Jakarta (ID) :BSN Indonesia.
- Daywin FJ, Sitompul RG, Imam H. 1992. *Mesin-Mesin Budidaya Pertanian*. Bogor (ID) : JICA-DGHE/IPB Project.
- Houmy K. 1999. *Knapsack sprayer A Partical user's Guide*. Morocco (MA) :Institute Agronomique et Veterinaire Hasan II.
- Matthews GA. 1992. *Pesticide Application Methodes*. London (GB) :Longman
- Patel LS. 1978. *Plant Protection Equipment For Small and Marginal Farmers*. Bulletin Agricultural Mechanization In Asia.
- Prasetyo AB. 2013. *Jenis-jenis Gulma pada Tanaman Padi dan Cara Penanggulangannya*. Jawa Timur (ID) : BPP Gading Kabupaten Probolinggo.
- Smith HP, Wilkes LH. 2006. *Mesin dan Peralatan Usaha Tani* (edisi ke 6 Penerjemah Itri Purwadi, MEng.). Yogyakarta (ID) : UGM pr.

Pemetaan Indeks Stabilitas Tanah Menggunakan SINMAP di Sub-DAS Rawatamtu

Mapping of Soil Stability Index Using SINMAP at Rawatamtu Sub Watershed

Aulia Nafiza Andalina, Lab. Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (Lab. TPKL), Program Studi Teknik Pertanian, FTP - UNEJ. Jl. Kalimantan No. 37, Kampus - Tegalboto, Jember 68121.

Hamid Ahmad, Lab. Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (Lab. TPKL), Program Studi Teknik Pertanian, FTP - UNEJ. Jl. Kalimantan No. 37, Kampus - Tegalboto, Jember 68121.

Indarto, Lab. Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (Lab. TPKL), Program Studi Teknik Pertanian, FTP - UNEJ. Jl. Kalimantan No. 37, Kampus - Tegalboto, Jember 68121

E-mail: indarto.ftp@unej.ac.id

Abstract

The research shows the application of Soil Stability Index Mapping (SINMAP) to predict the potential of landslide hazard. The study was conducted at Rawatamtu sub-Watershed, located at Jember Regency. Input data for this study are: (1) digital elevation model (DEM), (2) physical properties of soil, (3) rainfall data, and (4) other GIS layers collected from the study area. The DEM was obtained from ASTER GDEM2. SINMAP calculate the soil stability index based on combination effect of: slope stability, soil properties, land use and rainfall intensity. Then, interaction of those four factors are integrated on SINMAP and are classified as soil stability index. About 50 locations were surveyed by GPS and optical camera to interpret the map qualitatively. Result show the stable zone (index value > 1.5) occupied about 64.7 % of the watershed area. Area that classified in the upper and bottom limit of landslide (i.e. potentially subject to landslide hazard) are located at both mountain areas (Mount Argopuro and Raung) of the sub-watershed.

Keywords: soil-stability-index, SINMAP, Landslide, Rawatamtu

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membuat peta stabilitas tanah dan menginterpretasikan indeks stabilitas tanah tersebut untuk prediksi longsor dengan menggunakan SINMAP (*Soil Stability Index Mapping*). Penelitian dilakukan di Sub-Das Rawatamtu (Kab. Jember). Input data terdiri dari: (1) ASTER GDEM2 (ketelitian pixel \pm 30m), (2) data karakteristik fisik tanah, (3) karakteristik fisik hujan, dan (4) lokasi titik kontrol hasil survei GPS. SINMAP menghitung indeks stabilitas tanah dengan asumsi bahwa: proses longsor merupakan hasil kombinasi dari: stabilitas lereng, karakteristik tanah, jenis peruntukan lahan dan besarnya hujan. Pengaruh dan interaksi antara ke empat faktor tersebut diintegrasikan di dalam SINMAP dan diklasifikasikan dalam suatu nilai indeks stabilitas tanah. Hasil studi menunjukkan bahwa: 64.7% dari kawasan Sub-Das Rawatamtu berada pada zona stabil; 3.2% berada pada zona agak stabil; 3.5% berada pada zona kurang stabil; 27.1% berada pada kawasan zona batas bawah longsor; dan 1.4% berada pada kawasan zona batas atas longsor. Sebagian besar wilayah yang mencakup zona batas atas dan batas bawah longsor, berada pada lereng Gunung Argopuro dan sebagian kecil berada pada kecamatan Sumberjambe (daerah lereng Gunung Raung).

Kata Kunci : Indek Stabilitas tanah, SINMAP, Longsor, Rawatamtu.

Diterima: 03 Desember 2013; Disetujui: 10 Maret 2014

Pendahuluan

Bencana longsor merupakan salah satu bencana yang cukup merugikan lingkungan di sekitarnya. Longsor dapat terjadi karena beberapa faktor, baik faktor yang berasal dari alam maupun dari tingkah laku manusia. Longsor erat kaitannya dengan

tingkat stabilitas tanah, karena pada hakekatnya longsor terjadi akibat tingkat kestabilan tanah yang rendah. Bencana longsor sering terjadi di Indonesia terutama dimusim penghujan. Frekuensi kejadian ini lebih tinggi dibandingkan dengan bencana alam lain, meskipun kerugian yang ditimbulkan baik kerugian jiwa ataupun ekonomi relatif lebih kecil

(Widiastuti, 2011:6). Di Jember, bencana Longsor menyebabkan jembatan penghubung antar desa di kecamatan Panti rusak parah akibat longsor dan banjir bandang yang terjadi pada tahun 2006 (Marwanta *et al*, 2007). Identifikasi dan pemetaan daerah rawan longsor sangat penting untuk dilakukan, sebagai upaya dalam menanggulangi dan mengantisipasi terjadinya longsor. Artikel ini memaparkan hasil pemetaan indeks stabilitas tanah yang dilakukan menggunakan SINMAP. Penelitian bertujuan untuk: (1) mengevaluasi apakah pemetaan indeks stabilitas yang dilakukan dengan menggunakan data DEM resolusi rendah, secara kualitatif dapat menggambarkan kenyataan yang ada di Lapangan, (2) memetakan indeks stabilitas tanah untuk wilayah Sub-DAS Rawatamtu.

Stability Index Mapping (SINMAP) diperkenalkan oleh Tarboton *et al.*, (2001) dan merupakan salah satu metode pemetaan potensi longsor yang menggunakan prinsip stabilitas tanah. Nilai indeks stabilitas atau kestabilan tanah yang dihasilkan oleh SINMAP digunakan untuk mengidentifikasi atau menginterpretasikan daerah rawan longsor. Nilai stabilitas tanah yang besar, menunjukkan bahwa daerah tersebut stabil, cukup stabil, agak stabil, dan kecenderungan untuk longsor sangat kecil. Sebaliknya, nilai stabilitas tanah yang rendah menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki tingkat kestabilan tanah yang rendah dan potensi longsor cukup tinggi.

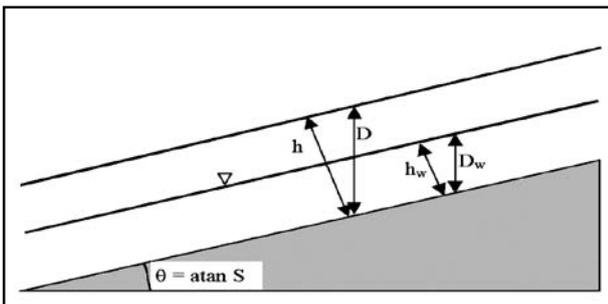
Model Stabilitas Lereng

Model stabilitas lereng tak-terhingga (Gambar 1) merupakan model yang digunakan untuk menentukan faktor keamanan (FS) dari adanya perbedaan gaya kelembaban dan gaya keruntuhan (Tarboton *et al.*, 2001), persamaan model tersebut ditulis sbb:

$$FS = \frac{C_r + C_s + \cos^2 \theta [\rho_s g (D - D_w) + (\rho_s g - \rho_w g) D_w]}{D \rho_s g \sin \theta \cos \theta} \quad (1)$$

dimana :

- C_r = kohesi akar (N/m²), C_s = kohesi tanah (N/m²), θ = sudut lereng,
- ρ_s = densitas tanah basah (kg/m³), ρ_w = densitas air (kg/m³),
- D = kedalaman tanah (m), D_w = ketinggian vertikal permukaan air dalam lapisan tanah (m),



Gambar 1. Konsep stabilitas lereng tak terhingga.

g = gaya gravitasi (9,81 m/s²) dan ϕ = sudut geser di dalam tanah. Nilai θ dapat dihitung dengan menggunakan rumus arc tangen S , S adalah jarak yang tegak lurus per unit jarak horizontal.

Dalam hal ini, model hidrologi digunakan untuk menjelaskan konsep dari stabilitas lereng. Hubungan antara tebal tanah "h" (m) dengan kedalaman tanah "D" (m) adalah sebagai berikut:

$$h = D \cos \theta \quad (2)$$

selanjutnya, faktor keamanan (FS) berubah menjadi :

$$FS = \frac{C + \cos \theta (1 - wr) \tan \theta}{\sin \theta} \quad (3)$$

keterangan :

$$w = Dw/D = hw/h \quad (4)$$

adalah tingkat kebasahan relatif (*relative wetness index*).

$$C = (C_r + C_s)/(hps g) \quad (5)$$

$$r = \rho_w/\rho_s \quad (5)$$

Kombinasi kohesi (persamaan 5) yang terjadi membuat besaran tanpa dimensi (*dimensionless*) yang relatif tegak lurus antara garis ketebalan tanah dan rasio densitas air terhadap densitas tanah. Persamaan (3) merupakan besaran tanpa dimensi yang berasal dari permodelan lereng-tak-terhingga. Persamaan tersebut dianggap cocok oleh para pakar karena melibatkan kombinasi antara besarnya kohesi (tanah dan akar) dan densitas tanah ke dalam faktor kohesi C (persamaan 5).

Model tersebut bekerja terhadap kemiringan dan kebasahan pada masing-masing grid (*pixel DEM*) dengan asumsi bahwa parameter yang lain adalah konstan atau memiliki kemungkinan distribusi yang konstan pada daerah yang cukup luas. Selanjutnya, Indeks stabilitas tanah dimodelkan dengan menggunakan persamaan (7), yang merupakan kombinasi dari persamaan kebasahaan (8) dan persamaan (3).

$$FS = \frac{C + \cos \theta [1 - \min \left(\frac{R}{T \sin \theta}, 1 \right) r] \tan \theta}{\sin \theta} \quad (7)$$

$$w = \text{Min} \left(\frac{Ra}{T \sin \theta}, 1 \right) \quad (8)$$

keterangan :

- w = Indeks basah (*wetness*); R = Curah hujan (mm/hari) ;

Tabel 1. Kelas Indeks Stabilitas Tanah

Kondisi SI	Kelas	Kondisi	Kisaran Parameter
> 1.5	1	Zona slope stabil	Kisaran tidak memodelkan longsor
1.5 - 1.25	2	Zona agak stabil	Kisaran tidak memodelkan longsor
1.24 - 1.0	3	Zona slope kurang stabil	Kisaran tidak memodelkan longsor
0.9 - 0.5	4	Zona batas bawah longsor	Kemungkinan longsor kecil
0.4 - 0.1	5	Zona batas atas longsor	Kemungkinan longsor besar
0.0	6	Zona slope longsor	Kisaran memodelkan longsor

a = Area tangkapan spesifik (m^2/m) didefinisikan sebagai kenaikan lereng area per unit panjang kontur, dihitung dengan persamaan $a = A/b$ dimana A adalah kontribusi area (m^2) dan b adalah unit panjang kontur (m) (lihat gambar 2);

T = Transmisivitas tanah (m^2/jam), dihitung dengan persamaan $T = k_s \times h$, dimana k_s

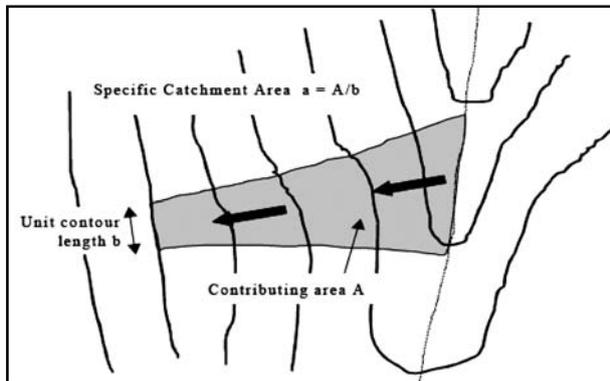
adalah konduktivitas hidrolik (m/jam) dan h adalah ketebalan tanah (m);

θ = Kemiringan lereng ($^\circ$) (Tarbotton *et al.*, 2001).

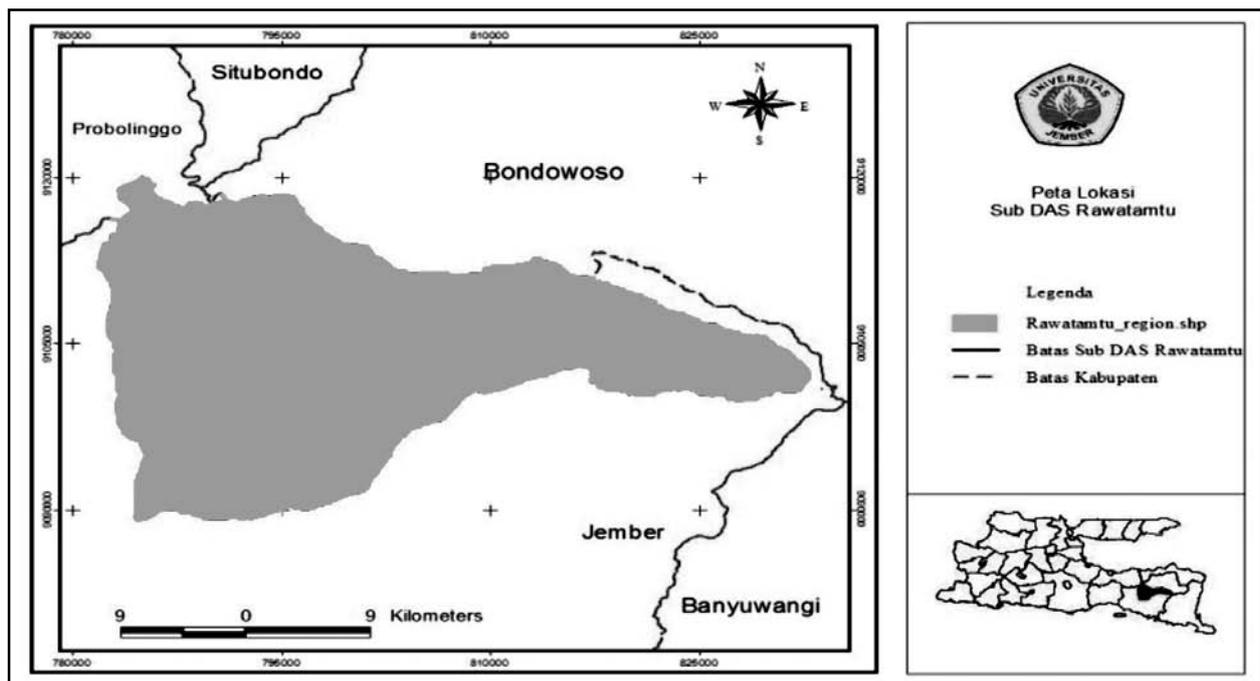
Selanjutnya di dalam SINMAP, indeks stabilitas dibagi menjadi 6 kelas (Tabel 1). Kelas tersebut menunjukkan kondisi daerah yang didasarkan pada nilai indeks stabilitas atau *Stability Index (SI)*.

Permodelan SINMAP pernah digunakan, misalnya di DAS Kilpala, bagian utara Vancouver, British Columbia. Representasi indeks stabilitas tanah yang dihasilkan, menginformasikan bahwa 69.2% dari total wilayah yang diteliti berada dalam zona slope longsor dengan indikasi 45 titik longsor (Tarbotton *et al.*, 2001).

Pada penelitian ini, SINMAP digunakan untuk membuat peta indeks stabilitas tanah di wilayah sub-DAS dengan menggunakan data DEM yang relatif kasar. Validasi peta dilakukan dengan melihat kondisi wilayah di lapangan, melalui survei GPS pada 50 titik pengamatan yang diambil secara acak



Gambar 2. Area Tangkapan Spesifik



Gambar 3. Lokasi Sub DAS Rawatamtu

berdasarkan informasi visual ataupun informasi yang diperoleh dari literatur dan masyarakat sekitar.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan di Sub-DAS Rawatamtu. Sub-DAS Rawatamtu merupakan bagian dari DAS Bedadung. Secara Administratif, 90% Wilayah DAS Bedadung berada di Wilayah Kabupaten Jember. Penelitian dilakukan dari bulan April sampai September 2012.

Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Teknik Pengendalian Konservasi dan Lingkungan (Lab.TPKL), FTP - Universitas Jember. Survei GPS dilakukan dengan *Mobil Mapping System* pada wilayah bekas kejadian longsor dan wilayah hulu sub-DAS.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, data *Digital Elevation Model (DEM)* yang merupakan data ASTER-DEM 2, dengan ketelitian pixel (30 m x 30 m) dan format data adalah ASCII GRID; data curah hujan harian periode 1996-2005 yang diperoleh dari Lab. TPKL Universitas Jember; data titik kontrol penelitian merupakan data primer yang digunakan sebagai titik kontrol; data fisik tanah mencakup data kedalaman tanah (h), kohesi (c), dan sudut geser dalam (Φ^0) (Galuh, 2007). Nilai konduktivitas hidraulik diperoleh dari tabel sifat fisik tanah (Rawls and Brakeniek, 1993).

Alat

Alat yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah ekstensi SINMAP v.1 versi Arc View GIS 3.3. GPS (*Global Positioning System*), yang digunakan untuk memperoleh titik kontrol di kawasan Sub-DAS Rawatamtu, *Software Map Window 4.6* digunakan untuk mengkonversi data DEM dalam format ASCII.

Metode

Penelitian ini dimulai dengan mengkonversi data DEM ke dalam format ASCII. Jika data DEM yang dimiliki telah berformat [*.ASC]. Data curah hujan harian periode 1996-2005, digunakan untuk menentukan nilai parameter R (untuk R batas atas dan R batas bawah). Dimulai dengan mencari curah hujan bulanan terbasah di tiap tahunnya per stasiun hujan. Setelah bulan terbasah di tiap-tiap tahun telah ditentukan. Selanjutnya adalah menentukan rata-rata minggu terbasah di tiap-tiap tahunnya sehingga data hujan yang diperoleh merupakan data hujan 7 harian yang maksimum.

Selain data curah hujan dan data DEM, data fisik tanah juga dibutuhkan dalam penelitian ini. Data fisik tanah yang diolah untuk memperoleh parameter *T* (Transmisivitas) dengan menggunakan rumus berikut.

$$T = K_s \times h \quad (9)$$

Keterangan:

T = Transmisivitas (m^2/jam);

K_s = Konduktivitas hidraulik (m/jam) dan

h = kedalaman tanah (m).

Kedalaman tanah berfungsi untuk menentukan nilai transmisivitas dari Sub-DAS Rawatamtu. Nilai kedalaman yang digunakan adalah nilai kedalaman tanah sebagai batas atas dan bawah sehingga nilai transmisivitas yang dihasilkan ada dua, yaitu transmisivitas batas atas dan batas bawah. Parameter lain yang dibutuhkan oleh SINMAP adalah data kohesi dan sudut geser dalam. Nilai kedua parameter diperoleh dari Galuh (2007).

Pengaturan nilai-nilai kalibrasi wilayah merupakan tahap memasukkan data yang dibutuhkan oleh SINMAP seperti kohesi (C), sudut geser tanah dalam (Φ), perbandingan T/R dari analisis data. Nilai tersebut ditampilkan dalam jendela "*Calibration Input Parameter*" yang akan muncul jika kita mengklik menu "*Set Calibration Parameter*" dalam menu SINMAP. Adapun tampilan dari menu "*Set Calibration Parameter*".

Pembuatan data titik-titik kontrol penelitian yang diperoleh di lapang ditransfer ke dalam komputer, diolah menggunakan *microsoft excel* dan disimpan dalam format *.dbf*. Data dengan format tersebut kemudian dibuka dengan menggunakan *software arcview* dan di konversikan ke dalam format *.shp (shapefile)*.

Data Transmisivitas Tanah

Nilai transmisivitas yang diperoleh untuk batas atas adalah $0.3367 m^2/jam$, sedangkan untuk batas bawah adalah sebesar $0.00072 m^2/jam$. Nilai konduktivitas hidraulik yang digunakan untuk memperoleh nilai transmisivitas sebagai batas atas ditentukan berdasarkan nilai yang paling besar yaitu $0.0259 m/jam$ untuk tekstur geluh berpasir (*sandy loam*) dan batas bawah ditentukan dari tekstur lempung berpasir (*silty clay*) sebesar $0.0009 m/jam$. Jika nilai untuk transmisivitas sudah diperoleh sebagai parameter *T*, dan nilai untuk curah hujan juga sudah diperoleh sebagai parameter *R*. Hal selanjutnya adalah menentukan parameter "*T/R*" baik sebagai batas atas dan juga batas bawah. Nilai *T/R* untuk batas atas sebesar $96.448 m$ dan batas bawah sebesar $0.595 m$.

Data Kohesi (C) dan Sudut Geser Dalam (ϕ)

Nilai batas atas untuk kohesi yang digunakan adalah 1.049 yang berada pada Kecamatan Sumberjambe, dan 0.132 sebagai batas bawah yang berada di Kecamatan Sukorambi. Nilai kohesi dibutuhkan SINMAP karena pengaruhnya dalam prediksi longsor. Nilai sudut-geser tanah-dalam yang digunakan sebagai batas atas adalah sebesar 58.1^0 dan batas bawah sebesar 10^0 .

Tabel 2. Klasifikasi Wilayah Berdasarkan Nilai Indeks Stabilitas Tanah

	Stabil	Agak Stabil	Cukup Stabil	Batas Bawah Longsor	Batas Atas Longsor	Longsor	Total
Luas (km ²)	367.8	46.6	49.9	262.5	11.8	0	738.7
% Luas	49.8	6.3	6.8	35.5	1.6	0	100
Titik	22	0	0	5	5	0	32
% titik	68.8	0	0	15.65	15.65	0	10

Pengolahan Data Titik-titik Kontrol Penelitian

Data titik-titik kontrol penelitian berfungsi sebagai pembandingan apakah peta yang dihasilkan sesuai dengan kenyataan yang ada di lapangan. Lokasi pengambilan titik-titik kontrol penelitian dibagi menjadi dua bagian, yaitu lokasi yang dianggap stabil dan lokasi yang dianggap kurang stabil. Lokasi yang stabil diambil di beberapa titik di wilayah perkotaan dan untuk wilayah yang kurang stabil diambil di beberapa titik di wilayah Kecamatan Panti dan Arjasa berdasarkan informasi dari pemberitaan tentang bencana longsor dan juga informasi dari masyarakat Jember.

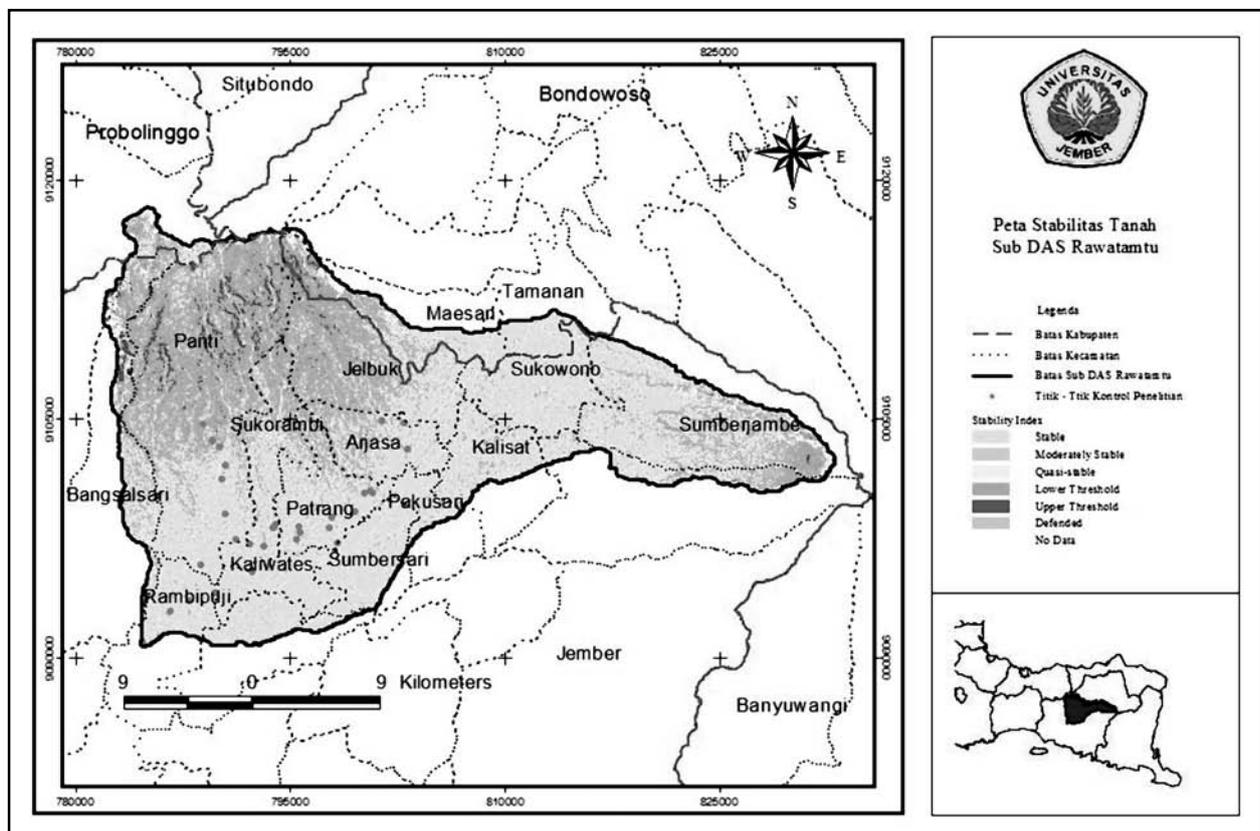
Hasil dan Pembahasan

Peta Indeks Stabilitas Tanah

Daerah yang berada pada zona rawan longsor ($0.1 < SI < 0.9$) terletak di daerah sekitar lereng

Gunung Argopuro dan Gunung Raung. Daerah tersebut mencakup: Kecamatan Panti, Arjasa, Sukorambi, Jelbuk, Bangsalsari dan sebagian kecil berada di kaki Gunung Raung yang mencakup sebagian kecil Kecamatan Sumberjambe (Gambar 4). Dari Gambar 4, juga dapat disimpulkan bahwa sebagian besar wilayah yang termasuk ke dalam zona batas atas dan bawah longsor berada di wilayah Gunung Argopuro dan sebagian kecil berada di Kecamatan Sumberjambe, atau lereng Gunung Raung. Semakin besar nilai SI suatu wilayah, maka dapat diprediksikan bahwa wilayah tersebut berada dalam zona wilayah stabil. Begitu juga sebaliknya, jika nilai SI semakin rendah, maka diprediksikan wilayah tersebut memiliki kestabilan tanah yang relatif rendah dibandingkan dengan wilayah lain. Tingkat kestabilan tanah yang rendah dapat menggambarkan daerah tersebut mudah longsor karena ketidakstabilan lereng.

Selanjutnya, prosentase luas wilayah yang



Gambar 4. Peta Stabilitas Tanah Sub DAS Rawatamtu.

masuk ke dalam masing-masing kelas, ditampilkan dalam Tabel 2.

Dari Tabel 2, didapatkan 49.8% dari wilayah Sub DAS Rawatamtu berada pada zona stabil, 6.3% berada pada zona agak stabil, 6.8% berada pada zona kurang stabil, 35.5% berada pada zona batas bawah longsor, 1.6% berada pada zona batas atas longsor dan 0% untuk wilayah terjadi longsor.

Evaluasi Kualitatif peta Indeks Stabilitas Tanah

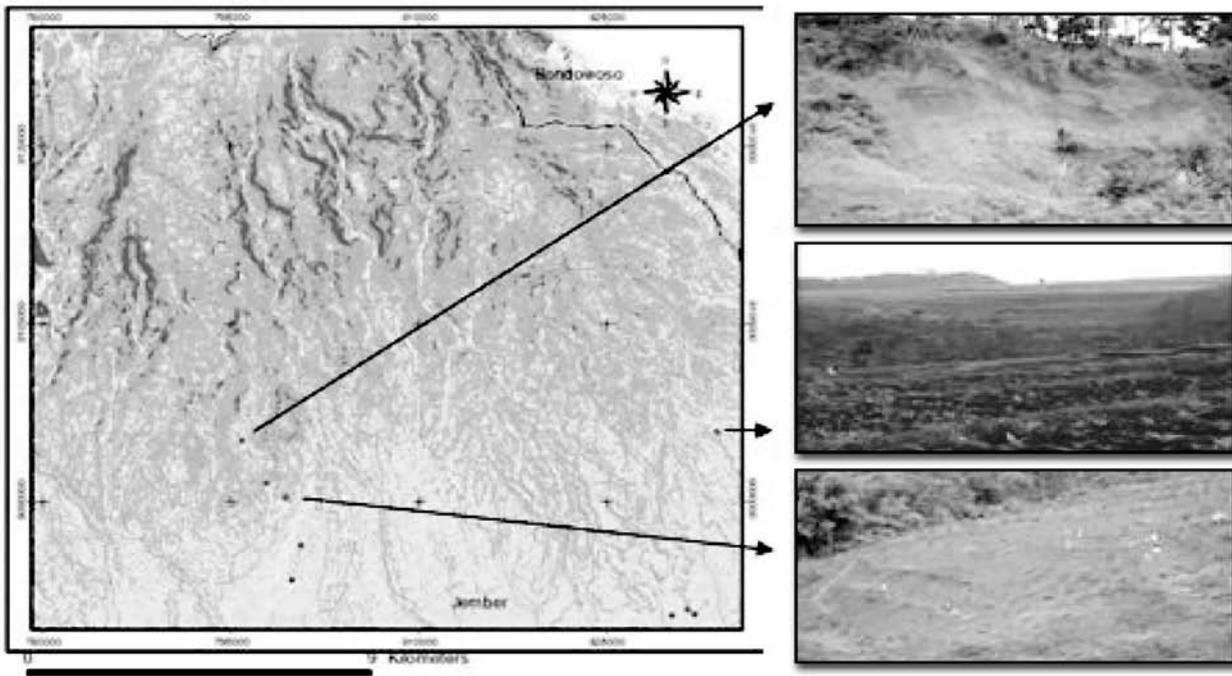
Hasil peta indeks stabilitas tanah yang dihasilkan, disesuaikan dengan keadaan yang ada dilapangan melalui keberadaan titik-titik kontrol penelitian. Dari

titik-titik tersebut dapat diketahui bahwa peta indeks stabilitas yang dihasilkan relatif sesuai dengan keadaan di lapang. Kondisi titik-titik yang diprediksi memiliki stabilitas tanah yang rendah dapat dilihat pada Gambar 5.

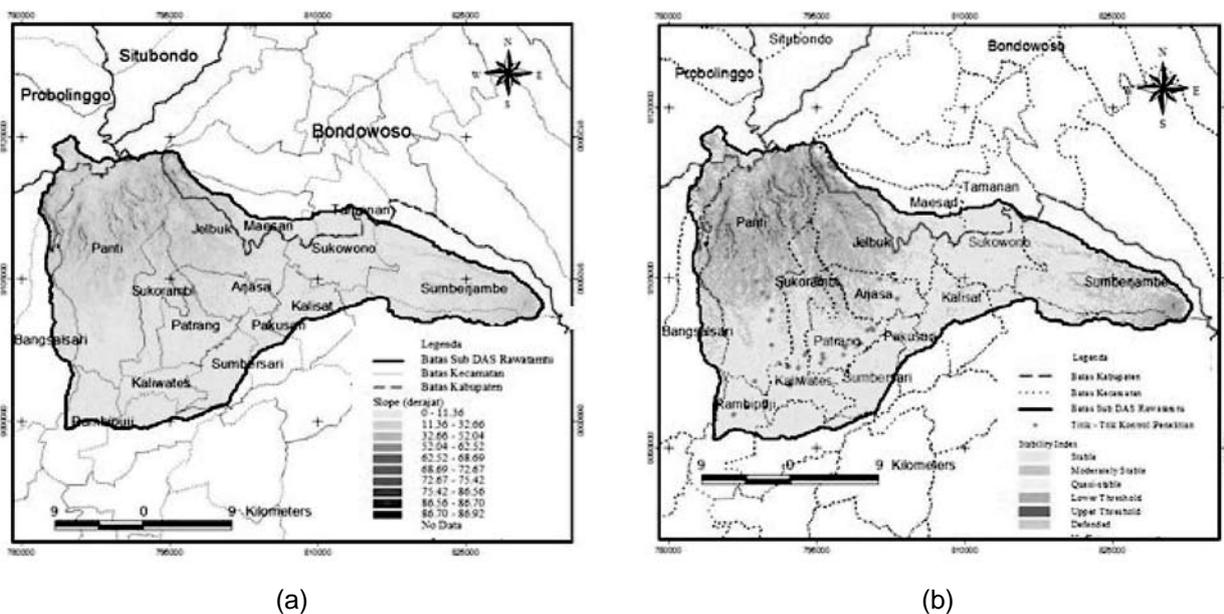
Peta Indeks Stabilitas Tanah dan Kemiringan Lereng

Gambar 6 memperlihatkan perbandingan antara peta kemiringan dan stabilitas tanah.

Dapat disimpulkan bahwa hubungan antara kemiringan lereng dengan nilai stabilitas tanah berbanding terbalik. Artinya semakin besar sudut



Gambar 5. Kesesuaian Peta Stabilitas Tanah untuk kriteria kurang stabil dengan kondisi di lapangan.



Gambar 6. Perbandingan antara: (a) peta kemiringan dan (b) peta Stabilitas Tanah untuk Sub DAS Rawatamtu

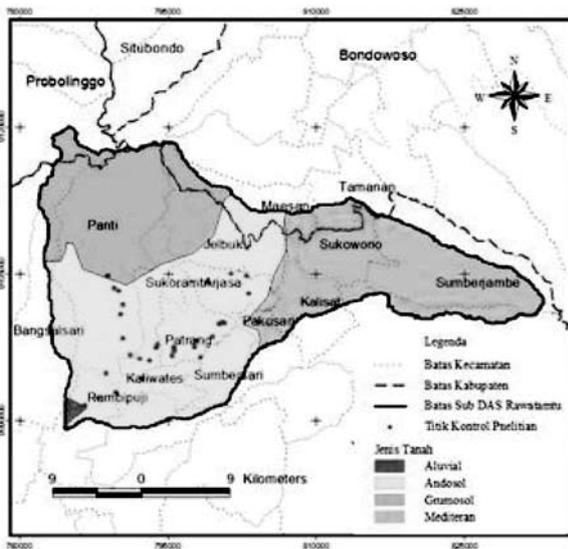
kemiringan lereng, nilai stabilitas tanah yang dihasilkan semakin kecil. Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa rata-rata wilayah yang termasuk ke dalam zona batas atas dan batas bawah longsor di Sub-DAS Rawatamtu berada pada kemiringan lebih dari 11° hingga 86° . Hal ini juga dipertegas oleh Marwanta *et.al* (2007), bahwa daerah lereng Gunung Argopuro memiliki nilai kelerengan lebih dari 60° dan Gunung Argopuro termasuk kedalam zona kerentanan longsor menengah sampai tinggi.

Indeks Stabilitas Tanah dan Jenis Tanah

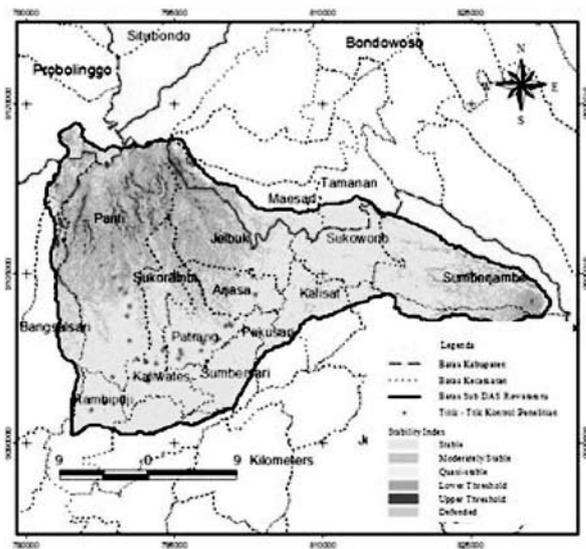
Terdapat empat jenis tanah untuk kawasan Sub DAS Rawatamtu, yaitu Aluvial, Andosol, Grumosol

dan Mediteran. Ke empat jenis tanah tersebut mendominasi sebagian besar kawasan Sub-DAS Rawatamtu (Gambar 7).

Zona batas atas dan batas bawah longsor banyak didominasi oleh jenis tanah grumosol, tanah jenis ini cenderung mudah pecah saat kering dan mengembang saat basah. Pada saat musim penghujan datang maka air dapat dengan mudah masuk dan membuat berat tanah meningkat sehingga mempengaruhi kestabilan tanah dan memicu terjadinya pergerakan tanah atau longsor. Daerah di sekitar lereng Gunung Raung atau Kecamatan Sumberjambe, daerah tersebut juga merupakan daerah yang termasuk ke dalam zona batas atas dan batas bawah longsor. Jenis tanah

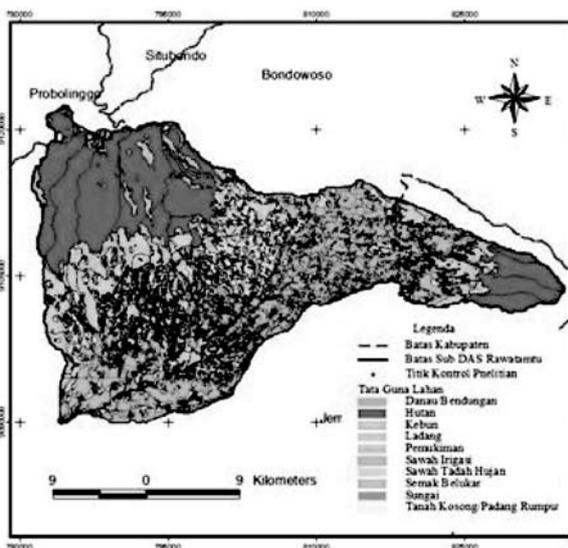


(a)

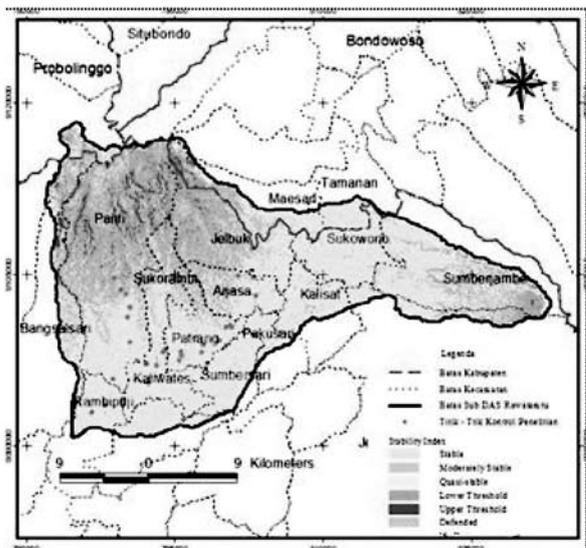


(b)

Gambar 7. Perbandingan Peta: (a) Jenis Tanah dan (b) Stabilitas Tanah Sub DAS Rawatamtu



(a)



(b)

Gambar 8. Perbandingan antara : (a) peta tataguna lahan dan (b) Peta Stabilitas Tanah Sub DAS Rawatamtu.

yang terdapat di wilayah Kecamatan Sumberjambe merupakan jenis tanah mediteran. Sifat dari tanah tersebut yang tidak lekat membuat tanah tersebut mudah runtuh jika berada di kelerengan yang cukup curam.

Indeks Stabilitas Tanah dan Tata Guna Lahan

Gambar 8 memperlihatkan perbandingan antara peta indek stabilitas tanah dengan peta tata guna lahan.

Dari Gambar 8 terlihat bahwa daerah Sub-DAS Rawatamtu yang sebagian besar berada dalam zona batas atas dan batas bawah longsor memiliki jenis tata guna lahan berupa: kebun, hutan, pemukiman dan ladang. Di wilayah lereng perkebunan Gunung Argopuro Kecamatan Panti, memiliki lereng yang cukup curam. Sebagian wilayah di daerah tersebut juga ditanami beberapa jenis tanaman yang akarnya tidak cukup kuat untuk mengikat tanah. Jenis tanaman tersebut antara lain tanaman kacang-kacangan, cabai, kopi, coklat dan beberapa tanaman yang lain.

Simpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada peta indeks stabilitas tanah, 64.7% dari kawasan Sub DAS Rawatamtu berada pada zona stabil; 3.2% berada pada zona agak stabil; 3.5% berada pada zona kurang stabil; 27.1% berada pada kawasan zona batas bawah longsor; 1.4% berada pada kawasan zona batas atas longsor dan 0% untuk daerah longsor. Sebagian besar wilayah yang termasuk ke dalam zona batas atas dan batas bawah longsor berada pada lereng Gunung Argopuro dan sebagian kecil berada pada Kecamatan

Sumberjambe atau daerah lereng Gunung Raung. Daerah tersebut sebagian besar memiliki tingkat kelerengan yang curam. Disamping itu faktor tata guna lahan yang kurang tepat di daerah tersebut juga dapat memberikan kontribusi dalam terjadinya longsor.

Daftar Pustaka

- Bowles, J. E. 1991. Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah). Jakarta : Erlangga
- Galuh, A. 2007. Analisis Karakteristik Tanah Di Wilayah Kabupaten Jember Ditinjau Dari Hasil Pengujian Parameter Tanahnya. Tidak diterbitkan. Tugas Akhir. Jember: Fakultas Teknik sipil, Universitas Jember
- Marwanta, B., Naryanto, H.S., dan Wisyanto. 2007. Potensi Longsor dan Banjir Bandang Serta Analisis Kejadian Bencana 1 Januari 2006 di Pegunungan Argopuro, Kabupaten Jember. Buletin Alami, Vol.12:54-65.
- Tarbotton, D.G., Pack, R.T., dan Goodwin, C.N. 2001. Sinmap a Stability Index Approach To Terrain Stability Hazard Mapping. USA : Canadian Forest Product Ltd.
- Widiastuti, F. 2011. Teknik Identifikasi dan Karakterisasi Lahan Rawan Longsor Menggunakan Teknologi Inderaja dan SIG. Buletin Teknik Pertanian, 16:6-11.
- Rawls, W. and D. Brakensiek (1989). Estimation of soil water retention and hydraulic properties. Unsaturated Flow in Hydrologic Modelling: Theory and Practice. Nato ASI Series. Series C: Mathematical and Physical Sciences-Vol.275. M.s.Ed). Kluwer Academic Publisher, pp: 275-300.

Pembuatan Digital Elevation Model Resolusi 10m dari Peta RBI dan Survei GPS dengan Algoritma ANUDEM

Interpolation of 10m DEMs from RBI maps and GPS survey using ANUDEM

Indarto, Lab. Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (Lab TPKL),
Program Studi Teknik Pertanian, FTP-UNEJ. Jl. Kalimantan X No.75, Kampus-Tegalboto, Jember 68121
E-mail: indarto.ftp@unej.ac.id

Debby Rio Prasetyo, Lab. Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (Lab TPKL),
Program Studi Teknik Pertanian, FTP-UNEJ. Jl. Kalimantan X No.75, Kampus-Tegalboto, Jember 68121

Abstract

This study proposes the generation of Digital Elevation Model (DEM) with spatial resolution of 10m x 10m by re-interpolation of elevation data. Data input for this study includes: (1) digitized datum coordinate from RBI map, (2) sample points surveyed by GPS, (3) digitized contour data from SRTM DEM and ASTER GDEM2, and (4) digitized stream-network layer from RBI. All collected data were converted to mass point coordinates. On the top of Topogrid-ArcGIS, all points data were interpolated to produce DEM. After that the produced DEM were compared and evaluated to the SRTM and ASTER DEM visually. The result shows that produced DEM are more accurate to represent the detailed topography of the study areas.

Key words: DEM 10m, GPS survey, Interpolation, SRTM-DEM, Aster-GDEM2.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membuat DEM dengan ketelitian spasial 10m (ukuran pixel 10m x 10m) dengan cara re-interpolasi data ketinggian. Input data yang digunakan mencakup: (1) digitasi titik-titik ketinggian dari peta RBI, (2) hasil survei melalui GPS, (3) data kontur yang diperoleh dari peta DEM SRTM dan Aster GDEM2, dan (4) layer jaringan sungai. Metodologi penelitian terdiri dari: (1) inventarisasi data, (2) ekstraksi nilai ketinggian, (3) integrasi data ke dalam Topogrid-ArcGIS, (4) interpolasi DEM. Hasil interpolasi selanjutnya dievaluasi secara visual dan dibandingkan dengan DEM SRTM dan ASTER GDEM2. Hasil interpolasi menunjukkan DEM dengan resolusi spasial yang lebih detail (10 m x 10 m) dapat menggambarkan karakteristik topografi DAS lebih detail.

Kata kunci: DEM 10m, Survei GPS, Interpolation, SRTM-DEM, Aster-GDEM2

Diterima: 12 Desember 2013; Disetujui: 14 Maret 2014

Pendahuluan

Digital Elevation Model

Informasi tentang ketinggian suatu tempat (elevasi) merupakan elemen yang fundamental dari suatu data Geospasial dan digunakan oleh hampir sebagian besar pengguna. Data Elevasi tersebut digunakan pada banyak aplikasi, misalnya: pemetaan luas genangan banjir, perencanaan wilayah, perencanaan jaringan jalan, jaringan irigasi, pembuatan peta jaringan sungai, dll. Data elevasi tersebut umumnya disimpan dalam bentuk *Digital Elevation Model (DEM)*. DEM selanjutnya dapat diintegrasikan dengan data Geospasial lainnya di dalam GIS untuk berbagai keperluan. DEM sudah lama dikenal dan diaplikasikan di berbagai belahan dunia, baik untuk RISET, pendidikan, maupun dunia komersial. Penelitian dan publikasi tentang DEM

dapat dijumpai pada banyak literatur, misalnya di dalam: O'Callaghan and Mark (1984), Jenson and Domingue (1988), Fairfield and Leymarie (1991), Costa-Cabral and Burges (1994), Garbrecht and Martz (1997), Quinn et. al., (1991), Tarboton (1997).

Pada prinsipnya, DEM merupakan suatu model digital yang merepresentasikan bentuk permukaan bumi kita dalam bentuk tiga dimensi (3D). Definisi lain, menyatakan bahwa DEM merupakan suatu file atau database yang menampung titik-titik ketinggian dari suatu permukaan (Jensen, 2007). Selanjutnya, Jensen (2007), membedakan DEM menjadi dua, yaitu: DSM dan DTM.

1. **DSM (Digital Surface Model)**, yang memuat informasi ketinggian semua fitur di permukaan bumi meliputi: vegetasi, gedung-gedung dan fitur lainnya.

2. **DTM** (*Digital terrain model*), hanya memuat informasi ketinggian permukaan tanah (*bare-earth surface*) tanpa terpengaruh oleh vegetasi atau fitur buatan manusia lainnya.

Sepanjang dasawarsa terakhir, penelitian dan aplikasi menunjukkan bahwa DEM telah memberikan hasil yang cukup signifikan dan dapat diterima secara ilmiah. Contoh aplikasi yang menggunakan DEM, misalnya: pemodelan Daerah Aliran Sungai, perencanaan teknik sipil, penempatan titik-titik korodinat untuk antena BTS, simulasi dan training dibidang militer, penerbangan dan perencanaan tata kota, kartografi dan pembuatan peta dasar, dan pertambangan.

Proses pembuatan DEM umumnya dimulai dari pembuatan peta topografi yang terproyeksi dengan baik. Selanjutnya, garis kontur, titik ketinggian dan batas wilayah perairan darat dan garis pantai dikonversi ke layer vektor digital dengan koordinat yang jelas. Selanjutnya, proses interpolasi dengan algoritma tertentu akan menghasilkan layer raster/grid. DEM juga dapat dinyatakan dengan grid teratur, jaringan triangulasi (*TIN/Triangulation Irregular Network*) dan kontur. Ukiran file DEM akan tergantung pada skala dan interval kontur yang dijadikan sebagai sumber, format file dan ketelitian spasial yang diinginkan. Beberapa contoh format file untuk data DEM antara lain: USGS ASCII (.dem), ESRI GRID, ESRI BIL with HDR, Digital Terrain Elevation Data (.dted), Generic ASCII, Generic BIL, ERDAS Imagine (.img), ER-Mapper (.ers) dan GeoTIFF.

Teknik Pembuatan dan Jenis Produk DEM

Menurut Bossler et al., (2002) dan Jensen (2007), ada empat macam kategori teknologi yang digunakan untuk memperoleh informasi ketinggian, meliputi: (1) pengukuran langsung di lapangan (*in situ surveying*), (2) *photogrammetri* atau *Remote sensing*, (3) IF-SAR dan (4) LIDAR.

In-situ surveying

Pengukuran langsung di lapangan menggunakan GPS akan menghasilkan data titik-titik ketinggian dengan koordinat lokasi-nya. Selanjutnya, data tersebut diimport ke dalam software GIS dan dilakukan interpolasi data untuk menentukan ketinggian titik-titik lain yang tidak terukur pada wilayah yang dimaksud. Banyak metode interpolasi telah digunakan untuk proses pembuatan DEM. Umumnya proses pembuatan DEM membutuhkan layer: kontur, datum dan jaringan sungai. Informasi lain dapat ditambahkan untuk menghasilkan DEM yang lebih baik dan hal ini tergantung pada software atau cara yang dipakai dalam proses pembuatan DEM. Banyak paket software GIS atau ekstension (plugin) telah dikembangkan dan dapat dimanfaatkan untuk membuat dan mengolah DEM. Beberapa modul (ekstension) yang terintegrasi dengan Software GIS antara lain: Topogrid di dalam

ArcInfo/ArcGIS; Hydrogrid dan AGWA yang bekerja di atas ArcViewGIS, SINMAP di dalam Arcview dan ArcGIS; ArcHidro-GIS dengan ArcGIS. Beberapa modul pengolahan DEM yang relatif gratis misalnya, HEC-GeoHMS dan HEC-GeoRAS dengan Arcview/ ArcGIS; TauDEM dengan Map Window. Beberapa contoh paket software pengolah DEM yang berdiri sendiri dan terpisah dari Software GIS juga sudah dikembangkan misalnya: *CatchmentSIM-GIS* (www.toolkit.net.au), *ANUDEM* (<http://fennerschool.anu.edu.au>), *LandSerf* (<http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/landserf/>); *TAS (Terrain Analysis System)* (<http://www.uoguelph.ca>), Geospatial Analysis Tool atau GAT (Lindsay, 2009), SAGA (www.qgis.org), HydroSHEDS (<http://hydrosheds.cr.usgs.gov/index.php>), TerraStream (Danner et al., 2007) dan lain-lain.

Photogrammetry/Remote sensing

Proses fotogrametri melalui teknik tertentu (misalnya: *stereo-plotting*) dapat digunakan untuk menghasilkan DEM dari teknik foto udara. DEM dengan teknik ini dapat mencakup wilayah yang lebih luas dan ketelitian spasial yang lebih tinggi, sehingga permukaan bumi yang dimaksud dapat digambarkan dengan lebih detail. Teknik stereo menggunakan citra satelit juga sudah umum digunakan untuk memproduksi DEM. Beberapa satelit dengan ketelitian spasial tinggi (misalnya: GeoEye-1, WorldView-1, WorldView-2, Pléiades 1A, Pléiades 1B dan IKONOS) mampu menghasilkan DEM untuk lokasi tertentu dengan ketelitian spasial tinggi, menggunakan teknik citra satelit stereo (*Stereo Satellite Imagery*). Satelit lain (misalnya: SPOT-6, ALOS, dan ASTER) mampu menghasilkan DEM dengan ketelitian sedang. **ASTER GDEM2** merupakan contoh produk DEM yang mengcover hampir seluruh permukaan bumi. ASTER GDEM2 dikembangkan bersama oleh METI (*Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI)*) Jepang dan *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* Amerika Serikat. ASTER GDEM2 tersedia gratis untuk siapapun dan dapat didownload melalui internet, melalui salah satu situs berikut: asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp; gdem.ersdac.jpacesystems.or.jp/; lpdaac.usgs.gov.

IF-SAR

Teknik Interferometric Synthetic Aperture Radar (IF-SAR) merupakan teknologi penginderaan jauh berbasis RADAR interferometri (*interferometric radar*). Pembuatan DEM dengan teknik RADAR dapat dilakukan baik melalui platform pesawat udara maupun Citra Satelit (Andersen et al., 2005). Contoh produk DEM yang menggunakan teknik ini adalah DEM SRTM.

DEM SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) (Farr et al., 2007) dan beberapa sistem pesawat udara yang dilengkapi dengan *Interferometric Synthetic Aperture Radar for Elevation (IFSARE)*

menyediakan data elevasi untuk wilayah tertentu maupun global. SRTM-DEM telah mengkover hampir seluruh permukaan bumi dengan ketelitian spasial 90m (Farr et al., 2007). Meskipun, SRTM masih belum menjangkau beberapa wilayah pegunungan dan desert, tetapi DEM SRTM tetap merupakan salah satu alternatif data DEM gratis yang mengkover seluruh wilayah permukaan bumi kita. Data SRTM telah digunakan untuk memetakan daerah yang sulit dijangkau, terisolir baik pada skala regional maupun global. Hal ini dijumpai misalnya dalam studi yang dilakukan oleh Kinner, dkk. (Kinner et al., 2005). Kelemahan SRTM adalah tidak mengkover wilayah Antartica dan lintang di atas 60° pada bagian utara bumi kita, sehingga sungai-sungai besar yang mengalir ke wilayah utara digambarkan kurang dari yang seharusnya. Beberapa project juga telah dijalankan untuk memperbaiki performance SRTM DEM pada wilayah yang kosong tersebut (Lehner and D'Oll, 2004). Studi dan proyek perbaikan lebih lanjut untuk meningkatkan performance SRTM DEM telah dilakukan oleh beberapa kelompok peneliti, misalnya dijumpai dalam: Lindsay and Creed (2005), Rodriguez et al., (2006), Farr et al., (2007), Hancock, et al., (2006). Saat ini, DEM SRTM sudah dapat didownload secara gratis untuk hampir seluruh wilayah permukaan bumi, melalui beberapa website, misalnya: www.cgiar-csi.org; glcf.umd.edu/data/srtm/; srtm.usgs.gov; dan www.opendem.info.

Contoh lain, satelit *TerraSAR-X* and *TandemSAR-X* dengan sistem SAR (*Synthetic Aperture Radar*) mampu menghasilkan DEM dengan ketelitian 10 m untuk wilayah Tropis. Wilayah tropis umumnya terlalu banyak awan yang menyulitkan aplikasi sistem remote sensing optik, sehingga sistem SAR dapat menjadi salah satu alternatif penyelesaian.

LIDAR DEM

LASER atau "*light amplification by stimulated emission of radiation*" merupakan alat yang dapat menghasilkan sinar dengan energi tinggi yang disebut photon pada range panjang gelombang yang sangat sempit. LASER menghasilkan sumber sinar yang koheren yang dapat digunakan untuk tujuan tertentu, mencakup aplikasi: CD/DVD player, sebagai alat photon di industri, peralatan kedokteran, peralatan survei dan sistem pemetaan menggunakan LIDAR atau "*light detection and ranging*". Panjang gelombang yang dipakai pada banyak sistem pemetaan topografi menggunakan laser adalah 1064 nm, yang merupakan panjang gelombang sinar infra-merah dari spektrum gelombang elektromagnetik. Secara ringkas, cara kerja LIDAR adalah: (a) menembakkan sinyal dari posisi sensor ke objek dan mengukur waktu perjalanan sinyal, (b) mengukur waktu perjalanan dari suatu sinyal dari sumber ke objek, waktu perjalanan kembali sinyal yang dipantulkan dari

objek ke sumber. Pengembangan dan aplikasi sistem LIDAR misalnya dijumpai dalam: Killian et al., (1996), Kraus and Pfeiffer (1998, 2001), Wever and Lindenberger (1999), Notebaert et al. (2009). Data citra LIDAR sangat detail dan akurat, namun demikian menuntut ketersediaan pesawat udara yang memadai. Pemotretan juga dapat dilakukan dengan pesawat tanpa awak (Drone).

Perkembangan Algoritma

Berkembangnya algoritma pengolahan DEM merupakan salah satu ukuran betapa pentingnya DEM sebagai alat bantu dalam menyelesaikan berbagai permasalahan keseharian kita. Penentuan arah dan jaringan drainase (jaringan sungai) merupakan aspek penting dalam pengolahan dan pemanfaatan DEM. Umumnya, jaringan sungai (*drainage network*) ditentukan secara otomatis berdasarkan model arah aliran (*flow routing model*).

Berbagai macam algoritma telah dikembangkan untuk dapat menurunkan jaringan drainase dan menentukan arah aliran air di dalam DEM, misalnya dijumpai dalam: O'Callaghan and Mark (1998), Quinn et al. (1991), Tarboton (1997), Santini et al. (2009). Penentuan arah aliran dilakukan dengan step metodologi, mencakup: *filling pits* atau *fill sink* (Pengisian cekungan), menentukan arah aliran (*flow direction*), menghitung jumlah piksel yang mengalir ke tiap piksel di dalam raster (citra) atau *flow accumulation*, menghubungkan akumulasi aliran air menjadi ruas sungai (*streamnetworking*), pengkodean ruas sungai (*stream ordering*), pembentukan sub-DAS dan penggabungan sub-DAS menjadi DAS *basin/watershed delineation* (Ehlschlaeger, 1989; Fairfield, J. and Leymarie, P., 1991; Freeman, 1991; Garbrecht and Martz, 1997; Arge et al., 2003; Grimaldi et al., 2007).

Konversi arah aliran drainase ke suatu bentuk jaringan membutuhkan algoritma lebih lanjut, misalnya *slope-area threshold* (O'Callaghan and Mark, 1984; Tarboton et al., 1991; Holmgren, 1994; Peckham, 1998; Hutchinson, 1998; Wood, 1996ab; Wood, 1998; Planchon and Darboux, 2001; Dalla Fontana and Marchi, 2003; Colson, 2006; Grimaldi et al., 2007).

Sejalan dengan waktu, metode penelusuran jaringan drainase-pun berkembang dan melahirkan banyak algoritma. Lebih detail tentang berbagai algoritma yang digunakan untuk penurunan jaringan sungai dari DEM dapat dijumpai dalam studi yang dilakukan oleh: Jenson and Domingue (1988), Holmgren (1994), Quinn et al. (1991), Quinn et al. (1995), Gallant and Wilson (2000), Lindsay and Creed (2005), Kinner et al. (2005), Wang and Liu (2006), Metz and Ehlschlaeger (2010), NCWC (2010).

Perkembangan teknologi DEM juga diikuti dengan ketersediaan data-data DEM global yang bersifat gratis untuk semua orang. Namun

demikian, umumnya DEM yang tersedia gratis adalah DEM dengan ketelitian piksel (30 m x 30 m), ASTER GDEM2 atau lebih). Khusus untuk wilayah Indonesia data DEM dengan ketelitian lebih tinggi dari ASTER GDEM2 masih belum tersedia secara gratis. DEM dengan ketelitian spasial yang lebih tinggi dibutuhkan untuk berbagai macam aplikasi. Oleh karena itu prosedur manual pembuatan DEM dapat ditempuh sebagai salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat DEM dengan resolusi spasial 10 m (ukuran pixel 10 m x 10 m) dengan cara re-interpolasi data ketinggian (datum dan kontur), dan membandingkan dengan produk DEM Global (SRTM dan ASTER GDEM2). Metode pembuatan DEM menggunakan software ArcGIS-10 dengan data masukan diperoleh dari digitasi peta RBI, data kontur dari SRTM dan ASTER GDEM2 dan survey lapang dengan GPS.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan di Sub-DAS Rawatamtu (gambar 1). Sub-DAS Rawatamtu merupakan bagian dari DAS Bedadung. Secara Administratif, 90% Wilayah DAS Bedadung berada di Wilayah Kabupaten Jember.

Penelitian dilakukan dari bulan April 2012 sampai September 2012. Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Teknik Pengendalian Konservasi dan

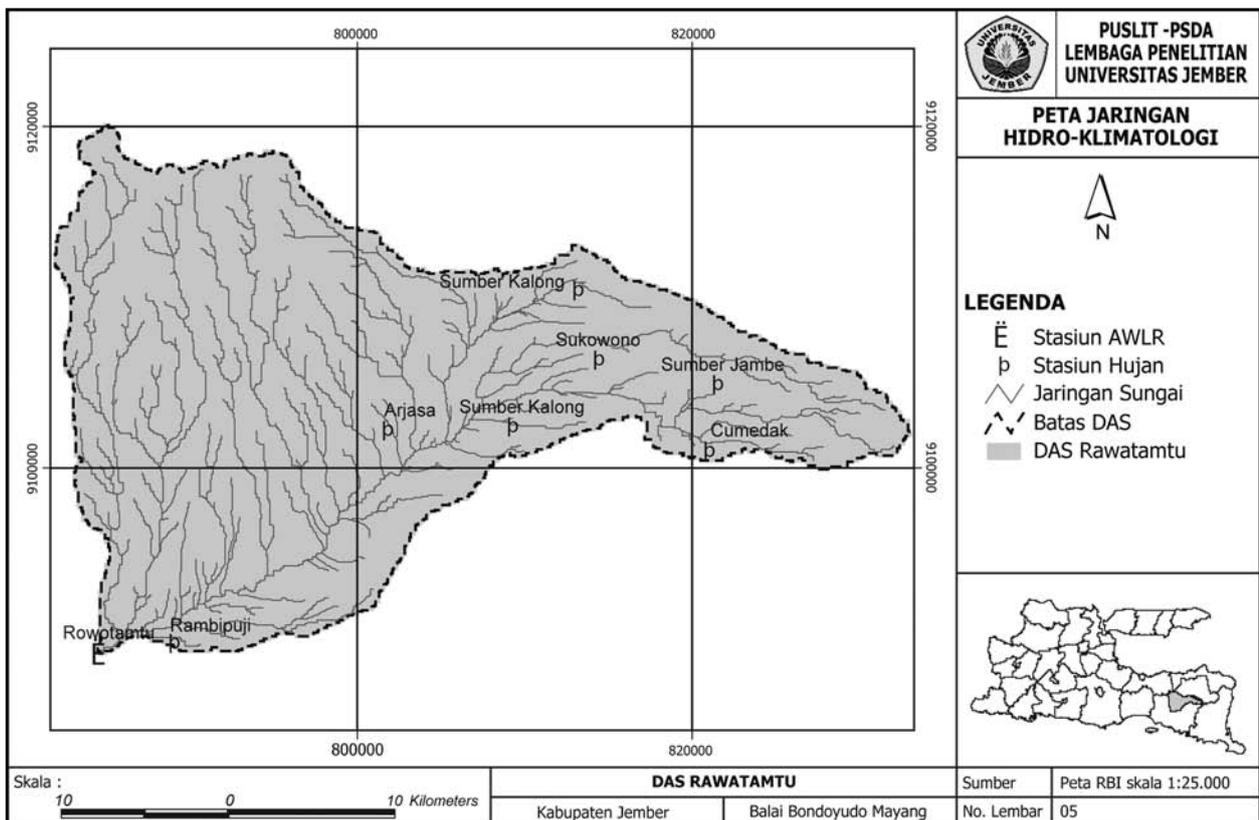
Lingkungan (Lab.TPKL), FTP - Universitas Jember. Pengambilan data titik ketinggian dengan cara survei GPS dilakukan dengan *Mobile Mapping System* pada sebagian wilayah sub-DAS Rawatamtu.

Bahan

Bahan yang digunakan sebagai Input dalam pembuatan DEM mencakup: (1) peta datum, (2) peta kontur interval 25 m, (3) koordinat titik-titik ketinggian hasil survei dengan GPS. Data no (1) dan (2) diperoleh dari digitasi peta RBI. Ketiga jenis data merupakan komponen utama sebagai input untuk proses interpolasi. Bahan lain yang digunakan adalah: (4) Data Digital Elevation Model (DEM) - SRTM, dengan ketelitian pixel (90 m x 90 m); (5) ASTER GDEM2, dengan ketelitian pixel (30 m x 30 m). Data no (4) dan (5) digunakan sebagai input untuk menghasilkan layer kontur dan pembanding DEM yang dihasilkan.

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah software ArcGIS 10.1 yang digunakan untuk mengolah, membuat dan menganalisis DEM. Software MapWindow versi 4.8.6 digunakan untuk mendigitasi titik-titik ketinggian datum dan kontur dari peta RBI. GPS (*Global Positioning System*) Garmin 76, yang digunakan untuk memperoleh titik ketinggian di kawasan Sub-DAS Rawatamtu. Software Map Source 6.13.7 yang digunakan untuk mentransfer data titik ketinggian hasil survey GPS ke dalam komputer.



Gambar 1. Lokasi Penelitian : Sub-DAS Rawatamtu

Metode

Inventarisasi data

Inventarisasi data dilakukan dengan tiga cara sebagai berikut. *Pertama*: Digitasi peta RBI untuk mendapatkan layer datum yang berisi data titik-titik ketinggian dan layer kontur. *Kedua*: Survey lapang dengan GPS untuk memperoleh tambahan data titik-titik ketinggian terutama pada wilayah yang datar (flat) dan daerah pegunungan. Selanjutnya, data hasil survey GPS ditransfer ke komputer dan dibuka dengan *software* ArcGIS 10.1 dan dikonversi menjadi format *shapefile* (*.shp). *Ketiga*: ekstraksi DEM-SRTM dan ASTER GDEM2 menjadi data kontur dengan interval 50 m untuk SRTM dan 15 m untuk ASTER GDEM2. Data yang telah diinventarisasi tersebut, selanjutnya diintegrasikan ke dalam *software* ArcGIS.

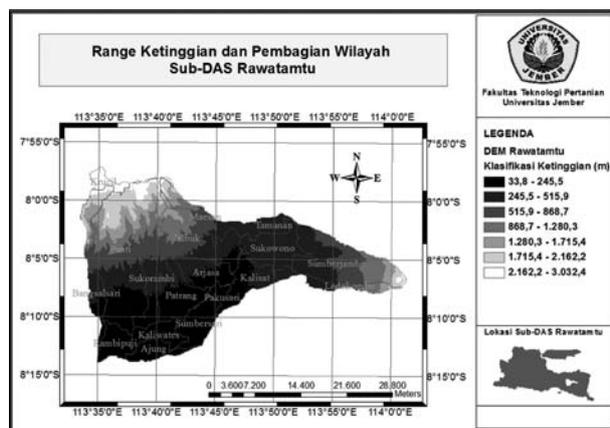
Interpolasi DEM

Proses interpolasi dilakukan menggunakan metode *Topo to Raster* yang tersedia didalam ArcGIS. *Topo to raster* di dalam ArcGIS merupakan suatu tool yang disediakan khusus untuk pembuatan DEM. DEM yang dibuat dengan *Topo to Raster* akan secara otomatis dikoreksi sehingga DEM tersebut memenuhi kriteria hidrologi. *Topo to Raster* dikembangkan dari program ANUDEM

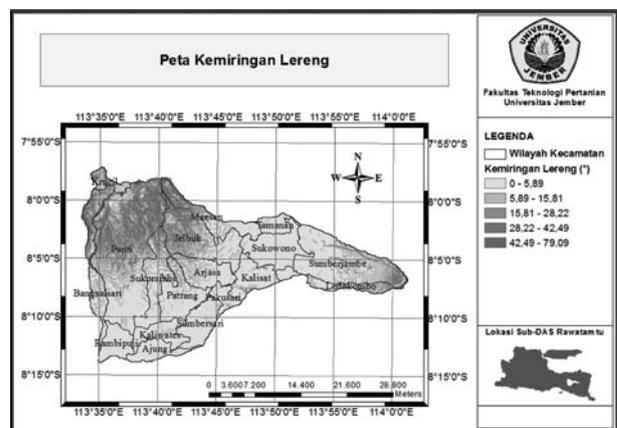
yang dikembangkan oleh Michael Hutchinson (Hutchinson, 1988, 1989, 1996, 2000, 2001, 2008, 2009). Aplikasi ANUDEM untuk produksi DEM dalam skala yang luas dapat dijumpai dalam Hutchinson and Dowling (1991). Aplikasi DEM untuk pemodelan di bidang lingkungan dapat dijumpai dalam Hutchinson dan Gallant (2000) dan Hutchinson (2008). Pengembangan lebih lanjut ANUDEM termuat dalam Hutchinson et al., (2009, 2011). *Topo to raster* menginterpolasi nilai ketinggian untuk setiap piksel raster dengan memperhatikan beberapa konstrain untuk memastikan: (1) struktur jaringan sungai yang terkoneksi, (2) ruas sungai dan anak-anak sungai tergambar dengan baik. *Topo to raster* juga dapat dijalankan dengan input berbasis file. Dalam hal ini kita tinggal memanggil file input, kemudian diproses di dalam *Topo to Raster* dan selanjutnya didapatkan output. Proses interpolasi menggunakan algoritma (*Inverse Distance Weighting* atau IDW). Selanjutnya, layer hasil interpolasi di clip sesuai dengan batas Sub-DAS Rawatamtu.

Evaluasi DEM

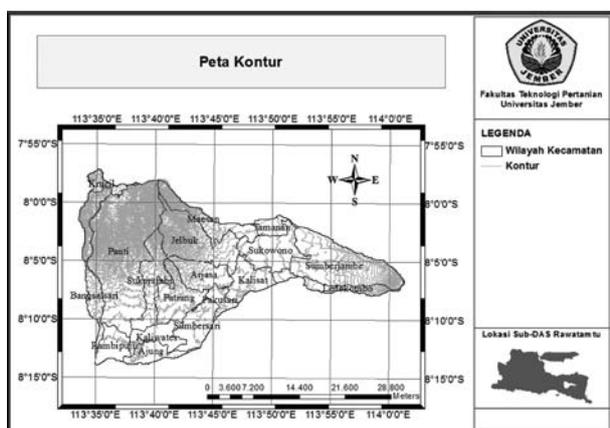
Hasil re-interpolasi DEM tersebut dievaluasi untuk menguji kualitasnya. Proses evaluasinya dilakukan dengan cara grafis dengan perbandingan



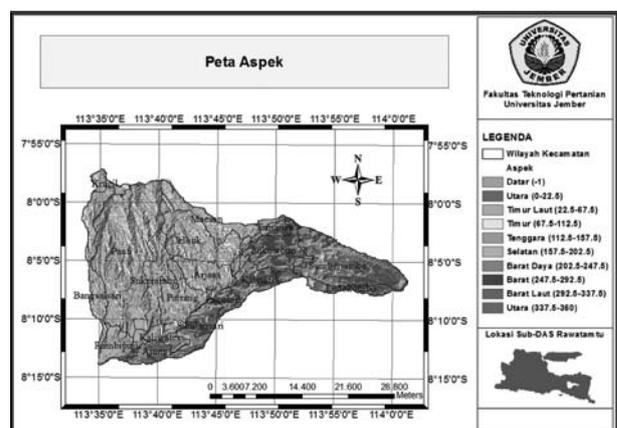
Gambar 2a. Peta klasifikasi ketinggian tempat



Gambar 2b. Peta Kemiringan Lereng



Gambar 2c. Peta Kontur



Gambar 2d. Peta Aspek

tampilan. Perbandingan tampilan ini menggunakan *tool hillshade* yang terdapat pada *software* ArcGIS.

Koordinat DEM hasil produksi (10 m), ASTER GDEM2 (30 m), DEM SRTM (90 m), data survey GPS dan titik-titik ketinggian (datum) pada peta RBI untuk lokasi sampel dijadikan masukan untuk mengukur perbedaan ketinggiannya.

Hasil dan Pembahasan

Kelas Ketinggian

Gambar 2a memperlihatkan terlihat bahwa daerah yang paling tinggi adalah 3032,4 m dpl (di atas permukaan laut) yang ditunjukkan oleh berwarna putih. Sedangkan daerah yang paling rendah adalah 33,8 m dpl (warna hitam pekat). Sub-DAS Rawatamtu mencakup 3 kabupaten di Jawa Timur yang terdiri dari 15 kecamatan di Kabupaten Jember, 2 kecamatan di Kabupaten Bondowoso serta 1 kecamatan di Kabupaten Probolinggo.

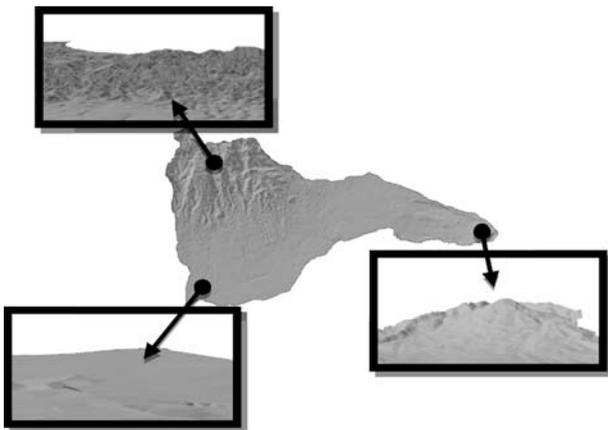
Informasi turunan pertama dari DEM

DEM Sub-DAS Rawatamtu yang telah dibuat, dapat diturunkan atau diolah kembali sehingga

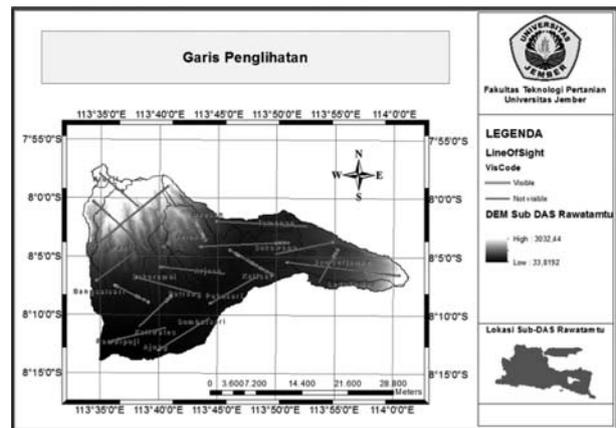
menghasilkan berbagai jenis data dan informasi, antara lain: kelas kelerengan (Gambar 2b); peta kontur (gambar 2c); dan azimuth (Gambar 2d).

Produk lain yang dapat diturunkan dari DEM adalah tampilan 3-Dimensi (Gambar 3a) dan garis penglihatan (Gambar 3b).

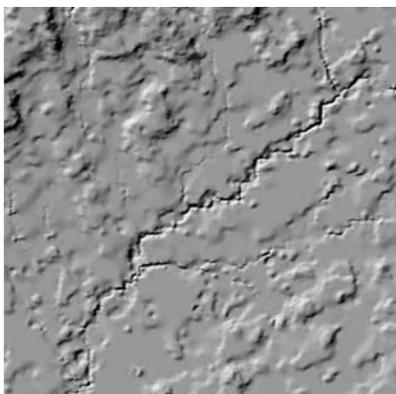
Penggunaan fitur garis penglihatan (*line of sight*) berfungsi untuk mengetahui keadaan suatu lahan dapat terlihat dari daerah yang lain. Garis yang dibuat secara acak tersebut menghubungkan antara satu titik dengan titik yang lain. Garis berwarna merah menunjukkan daerah tersebut tidak terlihat (*not visible*) dari titik awal garis, sedangkan yang berwarna kuning menunjukkan daerah tersebut terlihat (*visible*). Dominasi garis dengan warna merah menginformasikan bahwa Sub-DAS Rawatamtu memiliki kondisi tanah yang tidak merata. Banyak terdapat bukit-bukit maupun lembah-lembah yang menutup garis penglihatan antara titik yang satu dengan yang lain. Hal tersebut cukup beralasan karena Sub-DAS Rawatamtu terletak diantara 2 gunung yaitu Gunung Argopuro dan Gunung Raung. Banyak data-data lain yang dapat dihasilkan dari DEM dan digunakan untuk berbagai keperluan. Data turunan kedua misalnya,



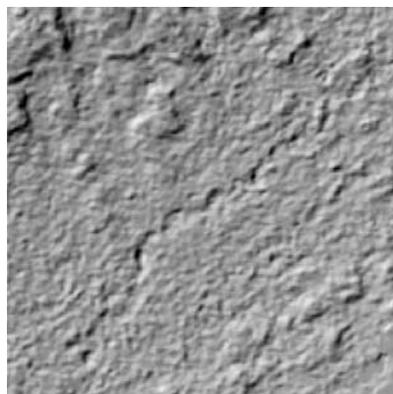
Gambar 3a. Tampilan 3 Dimensi Sub DAS Rawatamtu



Gambar 3b. Peta Garis pandang (*line of sight*)



DEM hasil interpolasi ketelitian piksel = 10 m



Aster GDEM2 : ketelitian piksel = 30 m



SRTM DEM: ketelitian piksel = 90 m

Gambar 4. Perbandingan *Hillshading*

jaringan sungai, luas DAS, berbagai indeks yang menyatakan topografi dan morfometrik DAS.

Evaluasi visual DEM

Hasil peta di atas merupakan sumber informasi yang dapat dilakukan dengan pengolahan DEM Sub-DAS Rawatamtu. Untuk menguji kualitas DEM yang telah dibuat (resolusi 10 m), maka dilakukan evaluasi dan perbandingan dengan sumber DEM yang lain yaitu DEM resolusi 30 m dan 90 m. Sehingga DEM yang telah dibuat dapat dipergunakan untuk memperoleh data yang akurat.

Perbandingan Tampilan (*Hillshading*)

Hillshading merupakan efek bayangan suatu permukaan. Teknik *Hillshading* dapat digunakan untuk mempertajam visualisasi suatu permukaan. Gambar 4 menampilkan perbandingan visual dengan *hillshade* antara DEM hasil interpolasi dengan SRTM-DEM dan ASTER GDEM2.

Gambar 4 memperlihatkan bahwa *hillshade* DEM hasil interpoalsi dengan ketelitian per piksel 10 m memiliki tampilan yang lebih tajam. Relief sungai dapat terlihat dengan jelas. Pada *hillshade* 30 juga terlihat memiliki tampilan yang cukup tajam namun lebih terlihat buram (*blur*).

Simpulan

Penelitian telah berhasil memproduksi DEM baru dengan ketelitian spasial 10 m x 10 m. DEM tersebut (DEM-10 m) dihasilkan dari re-interpolasi data ketinggian yang terdapat pada : titik-titik ketinggian pada peta RBI, ASTER GDEM2, dan SRTM. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa secara visual DEM-10 m mampu merepresentasikan fitur di lapangan dengan lebih akurat. DEM-10 m juga relatif lebih akurat untuk menggambarkan ketinggian tempat pada setiap pikselnya, dibanding ASTER-GDEM2 dan DEM SRTM.

Daftar Pustaka

- Andersen, H. E., Reutebuch, S. E., and McGaughey, R. J. 2005. Accuracy of an IFSAR-derived digital terrain model under a conifer forest canopy, *Can. J. Remote Sens.*, 31, 283–288, 2005.
- Arge, L., Chase, J. S., Halpin, P. N., Toma, L., Vitter, J. S., Urban, D., and Wickremesinghe, R. 2003. Flow computation on massive grid terrains, *Geoinformatica*, 7, 283–313.
- Bossler, J. D., Jensen, J. R., McMaster, R. B. and C. Rizos, 2002, *Manual of Geospatial Science & Technology*, London: Taylor & Francis, 623 p.
- Colson, T. P. 2006. Stream network delineation from high-resolution digital elevation models, Ph.D. Dissertation, Department of Forestry & Environmental Resources, North Carolina State University, Raleigh, NC, available at <http://www.lib.ncsu.edu/theses/available/etd-10302006-122024>.
- Costa-Cabral, M.C. and Burges, S.J. 1994. Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas, *Water Resour. Res.*, 30, 1681–1692.
- Danner, A., Yi, K., Moelhave, T., Agarwal, P. K., Arge, L., and Mitasova, H. 2007: TerraStream: From Elevation Data to Watershed Hierarchies, *Proc. ACM GIS*, 28, doi:10.1145/1341012.1341049.
- Ehlschlaeger, C. 1989. Using the A* Search Algorithm to Develop Hydrologic Models from Digital Elevation Data, *Proceedings of International Geographic Information Systems (IGIS) Symposium*, Baltimore, MD, USA, 275–281.
- Fairfield, J. and Leymarie, P. 1991. Drainage networks from grid digital elevation models, *Water Resour. Res.*, 27, 709–717.
- Farr, T. G., Rosen, A. R., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimanda, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., and Alsdorf, D. 2007. The Shuttle Radar Topography Mission, *Rev. Geophys.*, 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
- Freeman, T. G. 1991. Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid, *Comput Geosci.*, 17, 413–422.
- Garbrecht, J. and Martz, L.W. 1997. The assignment of drainage direction over flat surfaces in raster digital elevation models, *J. Hydrol.*, 192, 204–213.
- Grimaldi, S., Nardi, F., Di Benedetto, F., Istanbuluoglu, E., and Bras, R. L., 2007. A physically-based method for removing pits in digital elevation models, *Adv. Water Resour.*, 30, 2151–2158.
- Hancock, G. R., Martinez, C., Evans, K. G., and Moliere, D. R., 2006. A comparison of SRTM and high-resolution digital elevation model and their use in catchment geomorphology and hydrology: Australian examples, *Earth Surf. Proc. Land.*, 31, 1394–1412.
- Holmgren, P., 1994. Multiple flow direction algorithms for runoff modeling in grid based elevation models: An empirical evaluation, *Hydrol. Process.*, 8, 327–334.
- Hutchinson, M.F. 1988. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Paper presented at Third International Symposium on Spatial Data Handling at Sydney, Australia.
- Hutchinson, M.F. 1989. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology* 106: 211-232.
- Hutchinson, M. F. and Dowling, T. I. 1991. A continental hydrological assessment of a new

- grid-based digital elevation model of Australia. *Hydrological Processes* 5: 45-58.
- Hutchinson, M. F. 1996. A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models. In *Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling*. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis. See: http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/hutchinson_michael_dem/local.html
- Hutchinson, M.F. 2000. Optimising the degree of data smoothing for locally adaptive finite element bivariate smoothing splines. *ANZIAM Journal* 42(E): C774–C796.
- Hutchinson, M.F. and Gallant, J.C. 2000. Digital elevation models and representation of terrain shape. In: J.P. Wilson and J.C. Gallant (eds) *Terrain Analysis*. Wiley, New York, pp. 29–50.
- Hutchinson, M.F. 2008. Adding the Z-dimension. In: J.P. Wilson and A.S. Fotheringham (eds), *Handbook of Geographic Information Science*, Blackwell, pp 144–168.
- Hutchinson, M.F., Stein, J.A., Stein, J.L. and Xu, T. 2009. Locally adaptive gridding of noisy high resolution topographic data. In Anderssen, R.S., R.D. Braddock and L.T.H. Newham (eds) *18th World IMACS Congress. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand and International Association for Mathematics and Computers in Simulation*, July 2009, pp. 2493–2499. See: <http://www.mssanz.org.au/modsim09/F13/hutchinson.pdf>.
- Hutchinson, M.F., Xu, T. and Stein, J.A. 2011. Recent Progress in the ANUDEM Elevation Gridding Procedure. In: *Geomorphometry 2011*, edited by T. Hengel, I.S. Evans, J.P. Wilson and M. Gould, pp. 19–22. Redlands, California, USA. See: <http://geomorphometry.org/HutchinsonXu2011>.
- Jenson, S. K. and Domingue, J. O. 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis, *Photogramm. Eng. Rem. S.*, 54(11), 1593–1600.
- Jensen, J. R., 2007. *Remote Sensing of the Environment: An earth resource perspective*. 2nd Prentice-Hall series in Geographic Information Science, USA
- Kinner, D., Mitasova, H., Harmon, R. S., Toma, L., and Stallard, R. 2005. GIS-based Stream Network Analysis for The Chagres River Basin, Republic of Panama. In: Harmon R (ed) *The Rio Chagres: A Multidisciplinary Profile of a Tropical Watershed*, Springer/Kluwer, 83–95.
- Killian, J., Haala, N., Englich, M., 1996. Capture and evaluation of airborne laser scanner data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXI, Part B3, pages 383–388, Vienna, Austria.
- Kraus, K., Pfeiffer, N., 1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 53 (1998) 193-203.
- Kraus, K., Pfeiffer, N., 2001. Advanced DTM generation from LIDAR data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume XXXIV-3/W 4 Annapolis, MD.
- Lehner, B. and D'oll, P. 2004 Development and validation of a global data base of lakes, reservoirs and wetlands, *J. Hydrol.*, 296, 1–22.
- Lindsay, J. B. 2009: Whitebox http://www.uoguelph.ca/_hydrogeo/Whitebox/index.html.
- Lindsay, J. B. and Creed, F., 2005. Removal of artefact depressions from digital elevation models: towards a minimum impact approach, *Hydrol. Process.*, 19, 3113–3126.
- Martz, L. W. and Garbrecht, J. 1998: The treatment of flat areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models, *Hydrol. Process.*, 12, 843–855.
- Metz, M. and Ehlschlaeger, C. 2010. Watershed analysis program *r.watershed*, source code, <https://trac.osgeo.org/grass/browser/grass/branches/releasebranch64/raster/r.watershed>.
- North Carolina Division of Water Quality (NCWQ) 2010: *Methodology for Identification of Intermittent and Perennial Streams and Their Origins*, Version 4.1.1, <http://portal.ncdenr.org/web/wq/swp/ws/401/waterresources/streamdeterminations>, Effective Date: 1 September 2010.
- Notebaert, B., Verstraeten, G., Govers, G., and Poesen, J. 2009: Qualitative and quantitative applications of LiDAR imagery in fluvial geomorphology, *Earth Surf. Proc. Landforms*, 34, 217–231.
- O' Callaghan, J. F. and Mark, D. M. 1984. The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 28, 223–344.
- Peckham, S. D., 1998. Efficient extraction of river networks and hydrologic measurements from digital elevation data, in Barndorff-Nielsen and others, eds., *Stochastic Methods in Hydrology: Rain, Landforms and Floods*: Singapore, World Scientific, 173–203, 1998.
- Planchon, O. and Darboux, F., 2001. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models, *Catena*, 46, 159–176, 2001.
- Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P., and Planchon, O. 1991: The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological model using digital terrain models, *Hydrol. Process.*, 5, 59–79.
- Quinn, P. F., Beven, K. J., and Lamb, R. 1995: The $\ln(a/\tan(\beta))$ index: How to calculate it and how to use it within the top model framework, *Hydrol. Process.*, 9, 161–182.
- Rieger, W., 1998. A phenomenon-based approach to upslope area and depressions in DEMs, *Hydrol. Process.*, 12, 857–872.

- Rodriguez, E., Morris, C. S., and Belz, J. E., 2006. A global assessment of the SRTM performance, *Photogramm. Eng. Rem. S.*, 72, 249–260.
- Santini, M., Grimaldi, S., Rulli, M. C., Petroselli, A., and Nardi, F., 2009. Pre-processing algorithms and landslide modeling on remotely sensed DEMs, *Geomorphology*, 113, 110–125.
- Tarboton, D.G. 1997. A New Method for the Determination of Flow Directions and Contributing Areas in Grid Digital Elevation Models, *Water Resour. Res.*, 33, 309–319.
- Valeriano, M. M., Kuplich, T. M., Storino, M., Amaral, B. D., Mendes, J. N., and Lima, D. J. 2006. Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with shuttle radar topographic mission 90 m data, *Comput. Geosci.*, 32, 1169–1181.
- WorldWildlife Fund, HydroSHEDS, <http://hydrosheds.cr.usgs.gov/index.php>, 2009. Hydrol.
- Wever, C., and Lindenberger, J., 1999. Experiences of 10 years laser scanning, <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo99/wever.pdf> (accessed 21 Jan. 2013).
- Wang, L. and Liu, H. 2006. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling, *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 20, 193–213, 2006
- World Wild life Fund, HydroSHEDS, <http://hydrosheds.cr.usgs.gov/index.php>, 2009. Hydrol.
- Wood, J. (1996a) Scale-based characterisation of Digital Elevation Models. In Parker D. (ed.) *Innovations in GIS 3*, Ch. 13, London: Taylor & Francis.
- Wood, J. (1996b) The geomorphological characterisation of Digital Elevation Models, PhD Thesis, University of Leicester, <http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd/>
- Wood, J. (1998) Modelling the continuity of surface form using digital elevation models. In Poiker, T. and Chrisman, N. (Eds.) *Proceedings, 8th International Symposium on Spatial Data Handling, IGU, Vancouver, 725-736.*

Aplikasi Pelapisan Kitosan dan Lilin Lebah untuk Meningkatkan Umur Simpan Salak Pondoh

Application of Chitosan and Beewax Coating to Extend shelf-life of Pondoh Snake Fruits

Leni Marlina, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Institut Pertanian Bogor.

Email: leniirsyah@gmail.com

Y. Aris Purwanto, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Institut Pertanian Bogor.

Email: arispurwanto@gmail.com

Usman Ahmad, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Institut Pertanian Bogor.

Email: uahmad2010@gmail.com

Abstract

Snake fruit is an exotic fruit from Indonesia that has a short shelf-life as a result of microorganisms contamination, respiration and transpiration. The research was aimed to study the influence of storage temperatures and coating composition to extend shelf-life of snake fruits. Coating used were chitosan 0,5%, beewax 10% and combination beewax 10% with chitosan 0,5%. Storage was conducted at 15 °C (the optimum temperature for snake fruit's storage) and room temperature (26-30 °C). Research was designed using randomized complete factorial design and followed by Duncan Multiple Range Test 5% if there was influence of the treatment. Parameters observed were percentage of damage, weight loss, firmness, total soluble solids and peel colour (hedonik test). Results showed that percentage of damage, weight loss, firmness, total soluble solid, and peel of colour (hedonik test) was affected by storage temperature. It was also found that coating significantly influenced percentage of damage, firmness and peel of colour on snake fruits. Interaction of coatings and storage temperatures there were effect on firmness of snake fruits.

Key words: chitosan, beewax, shelf-life, snake fruits, temperature storage.

Abstrak

Salak pondoh (*Salacca zalacca* cv Pondoh) merupakan salah satu komoditi eksotik Indonesia yang memiliki umur simpan yang pendek akibat kontaminasi mikroorganisme, respirasi, dan transpirasi. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh perlakuan jenis pelapis dalam meningkatkan umur simpan buah salak pondoh pada suhu penyimpanan yang berbeda. Jenis Pelapis yang digunakan adalah kitosan 0.5%, lilin lebah 10%, lilin lebah 10% dan kitosan 0.5%, dan tanpa pelapisan (kontrol) dan suhu penyimpanan adalah suhu 15 °C (suhu optimal untuk penyimpanan salak) dan suhu ruang (26-30 °C). Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap faktorial dan jika terdapat pengaruh perlakuan maka digunakan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* pada taraf 5%. Parameter pengamatan meliputi persentase kerusakan, susut bobot, kekerasan, total padatan terlarut dan warna kulit buah (uji hedonik). Hasil penelitian menunjukkan perlakuan suhu penyimpanan berpengaruh nyata terhadap susut bobot, persentase kerusakan, kekerasan, dan total padatan terlarut. Perlakuan jenis pelapis berpengaruh nyata terhadap persentase kerusakan, kekerasan dan warna kulit buah salak. Interaksi jenis pelapis dan suhu penyimpanan berpengaruh nyata terhadap kekerasan tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap susut bobot, persentase kerusakan, total padatan terlarut dan warna kulit buah (uji hedonik).

Kata Kunci: kitosan, lilin lebah, umur simpan, buah salak, suhu penyimpanan.

Diterima: 18 Desember 2013; Disetujui: 18 Maret 2014

Pendahuluan

Sampai saat ini buah salak termasuk dalam daftar komoditas ekspor Indonesia, sehingga berpotensi untuk dikembangkan sebagai usaha bidang agribisnis. Berdasarkan data BPS yang diolah oleh Dirjen Hortikultura, Kementerian

Pertanian (2012), produksi salak tahun 2011 adalah 886.733 ton mengalami peningkatan dibandingkan tahun 2010 sebesar 749.876 ton. Sedangkan ekspor buah salak pada tahun 2011 sebesar 674 ton mengalami penurunan dibandingkan tahun 2010 sebesar 741 ton. Penurunan nilai ekspor ini salah satunya disebabkan busuk pada buah salak karena

kontaminasi mikroorganisme. Hal ini sesuai dengan pendapat Pratomo (2009) yang menyatakan bahwa salah satu penyebab penurunan pemasaran salak pondoh karena ada penyakit busuk jamur putih.

Sistem distribusi dan pemasaran salak di tingkat pengecer baik di pasar modern maupun tradisional dengan sistem curah merupakan salah satu faktor yang memperpendek umur simpan buah salak. Buah yang terpapar lama di ruang terbuka akan lebih cepat terkontaminasi mikroorganisme. Menurut Sutoyo dan Suprpto (2010) adanya penyakit busuk pada buah salak disebabkan oleh jamur putih yang menyebabkan buah salak menjadi busuk berair dan akibatnya buah tidak bisa dikonsumsi. Selanjutnya Pratomo (2009) juga melaporkan bahwa salah satu penyakit utama yang menyebabkan busuk pada buah salak adalah penyakit jamur putih yang disebabkan oleh *Chalaropsis* sp. Selain kerusakan buah akibat mikroorganisme, laju respirasi dan transpirasi yang tinggi juga merupakan salah satu faktor yang menyebabkan penurunan kualitas buah salak. Buah yang terpapar dengan sistem penjualan curah menyebabkan laju respirasi dan transpirasi tidak terhambat. Tingginya penguapan air akibat laju respirasi dan transpirasi menyebabkan buah salak menjadi cepat kering dan keriput sehingga menyulitkan dalam proses pengupasan dan juga menyebabkan penampilan buah menjadi kurang menarik.

Pelapisan buah salak dengan kitosan telah diujicobakan untuk meningkatkan umur simpan salak pondoh. Kitosan mampu mengurangi kontaminasi mikroorganisme seperti jamur, menghambat laju respirasi dan menurunkan transpirasi pada buah salak. Menurut Waryat dan Rahmawati (2010), perlakuan kitosan 0.5% dengan disimpan suhu 15 °C adalah perlakuan yang paling optimal dalam meningkatkan umur simpan salak pondoh. Kitosan sebagai bahan utama pelapis dapat membentuk lapisan semi permiabel sehingga mampu memodifikasi atmosfer internal pada buah, dengan demikian kematangan tertunda dan laju transpirasi buah-buahan akan menurun (Nispero and Baldwin, 1996). Selain kitosan, menurut Santosa (2007) lilin lebah 10% juga mampu memperpanjang umur simpan salak pondoh. Walaupun telah dilakukan penelitian-penelitian untuk memperpanjang umur simpan salak pondoh dengan menggunakan kitosan dan lilin lebah, akan tetapi belum ada penelitian yang langsung dipraktekkan oleh pengusaha buah di lapangan. Hal ini menuntut adanya penelitian yang sifatnya aplikasi langsung di lapangan sehingga bisa diketahui efektifitas dari penggunaan lilin dan kitosan dalam memperpanjang umur simpan buah salak pondoh di skala industri/distributor.

Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian yang langsung dilakukan di lapangan di distributor buah salak dengan menggunakan pelapis dari lilin lebah dari senyawa lipid dan kitosan dari senyawa polisakarida serta kombinasi antara

keduanya dengan penyimpanan pada suhu yang umum digunakan importir buah yaitu suhu 15 °C dan suhu ruang. Velickova *et al.* (2013), menyatakan bahwa pelapis dari polisakarida memiliki sifat mekanik yang baik tetapi permiabilitas rendah, sedangkan pelapis dari lipid memiliki permiabilitas yang tinggi tetapi memiliki sifat mekanik yang kurang baik. Dengan mengkombinasikan antara pelapis dari lemak yaitu lilin lebah dengan pelapis dari polisakarida yaitu kitosan, diharapkan agar sifat dari pelapis akan semakin baik dalam meningkatkan umur simpan buah salak.

Untuk itu, penelitian ini bertujuan mengkaji aplikasi pelapisan kitosan dan lilin lebah serta kombinasi antara kitosan dengan lilin lebah pada suhu yang berbeda untuk memperpanjang umur simpan buah salak.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober sampai Desember 2013 di salah satu distributor buah salak di Semarang dan di Laboratorium Teknik Pengolahan Pangan dan Hasil Pertanian (TPPHP) Departemen TMB-IPB. Bahan yang digunakan adalah buah salak pondoh super dengan kematangan 80% yang dipanen dari kebun salak petani di Sentra Produksi Salak Pondoh Sleman Yogyakarta sebanyak 224 kilogram, kitosan (food grade), lilin lebah, asam asetat glasial 1%, trietanolamin(TEA) dan asam oleat.

Buah yang telah dibersihkan dan disortasi selanjutnya dicelupkan selama 2 (dua) menit dalam: (a) kitosan 0.5%, (b) lilin lebah 10%, dan (c) lilin lebah 10% dilanjutkan dengan dicelup dalam kitosan 0.5%. Setelah pencelupan, dilakukan pengeringangan dengan kipas angin sampai kering. Buah yang telah dikeringanginkan selanjutnya disimpan pada: (a) suhu ruang (26-30 °C) dan (b) suhu 15 °C. Parameter pengamatan terdiri dari :

Persentase Kerusakan

Pengukuran terhadap besarnya kerusakan yang terjadi pada buah salak pondoh dilakukan dengan cara pemisahan dan penimbangan salak yang telah mengalami kerusakan berupa busuk, berjamur, memar, kemudian dibandingkan dengan berat seluruh salak dalam suatu kemasan.

Susut bobot

Pengukuran susut bobot menggunakan metode gravimetri yaitu berdasarkan persentase penurunan susut bobot bahan sejak awal sampai akhir penyimpanan. Untuk mengukur susut bobot digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Susut bobot} = \frac{W_o - W_a}{W_o} \times 100 \%$$

Tabel 1. Pengaruh jenis pelapis dan suhu simpan terhadap persentase kerusakan buah salak (%)

Perlakuan	Lama Penyimpanan (Hari)			
	3	7	11	15*
Suhu Simpan				
Suhu Ruang	9.11a	35.39a	52.01a	
Suhu 15°C	3.45b	18.19b	39.00b	57.33
Jenis Pelapis				
Tanpa Pelapisan (Kontrol)	4.84	25.41b	44.75	52.40
Kitosan 0.5%	4.35	22.01b	41.51	50.95
Lilin Lebah 10%	7.77	20.97b	39.38	52.16
Lilin Lebah 10% dan Kitosan 0.5%	8.12	38.76a	56.38	73.80

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan aspek yang sama adalah tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 0.05 (* = data hanya dari buah salak pada suhu dingin)

Keterangan :

Wo = Bobot salak pondoh sebelum disimpan (gram)

Wa = Bobot salak pondoh setiap akhir penyimpanan (gram) hari ke-n

Kekerasan

Pengukuran kekerasan dilakukan menggunakan *Rheometer* tipe CR-300DX yang diatur dengan mode 20, beban maksimum 10 kg, kedalaman penekanan 10 mm, kecepatan penurunan beban 60 mm/menit dan diameter probe 5 mm. Pengukuran dilakukan dengan cara menusuk ujung buah salak yang telah dibuka kulitnya dengan jarum yang menempel pada alat tersebut sebanyak dua kali pada tempat yang berbeda. Nilai kekerasan salak pondoh akan ditampilkan dalam kg_f.

Total Padatan Terlarut

Total padatan terlarut ditentukan dengan menggunakan alat refraktometer Atago PR-210. Daging buah salak dihaluskan terlebih dahulu dengan cara ditumbuk atau diblender, kemudian diambil sarinya sebagai sampel pengujian. Selanjutnya sampel diletakkan di atas obyek gelas yang terdapat pada refraktometer, sehingga total padatan terlarut (TPT) dapat dilihat secara langsung pada *display* skala pembacaan dalam satuan °Brix.

Warna Kulit Buah (Uji Hedonik)

Pengamatan sensori (organoleptik) meliputi pengamatan warna kulit buah dengan nilai kesukaan 1=sangat suka, 2=suka, 3=agak suka, 4=netral, 5=agak suka, 6=tidak suka, dan 7=sangat tidak suka.

Analisis Data

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan dua ulangan. Faktor pertama (I) jenis pelapis yaitu tanpa pelapisan (kontrol), kitosan 0.5%, lilin lebah 10%, lilin lebah 10% dan kitosan 0.5 %. Faktor kedua (II) suhu penyimpanan yaitu suhu ruang (26–30 °C) dan suhu 15 °C. Analisis data

untuk menguji keseragaman/kehomogenan nilai tengah menggunakan uji anova (analisis varians) pada tingkat kepercayaan 95%. Jika terdapat pengaruh perlakuan maka akan dilanjutkan dengan pengujian lanjut menggunakan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5% menggunakan program S.A.S.

Hasil dan Pembahasan

Persentase Kerusakan

Pengukuran persentase kerusakan buah salak selama penyimpanan dilakukan untuk mengetahui efektivitas perlakuan jenis pelapis dan suhu simpan dalam mengurangi tingkat kebusukan buah salak. Selain itu pengukuran persentase kerusakan juga untuk mengetahui jenis-jenis kerusakan yang terjadi pada buah salak selama penyimpanan. Jenis kerusakan buah salak diantaranya kerusakan karena berjamur, busuk berair, bau menyengat, busuk lunak pada ujung buah, keriput, dan penampakan yang kurang menarik.

Hasil penelitian menunjukkan buah salak mengalami kerusakan lebih dari 50% setelah disimpan sebelas hari (hari ke-11) di suhu ruang sedangkan buah salak disimpan di suhu 15 °C mengalami kerusakan lebih dari 50% setelah disimpan selama lima belas hari (hari ke-15). Berdasarkan hasil analisis sidik ragam perlakuan jenis pelapis berpengaruh nyata terhadap persentase kerusakan buah salak pada penyimpanan hari ke-7 sedangkan perlakuan suhu simpan berpengaruh nyata terhadap persentase kerusakan buah mulai dari awal sampai akhir penyimpanan. Interaksi kombinasi jenis pelapis dan suhu simpan tidak berpengaruh secara nyata terhadap persentase kerusakan buah salak selama penyimpanan.

Hasil uji Duncan pada Tabel 1 menunjukkan persentase kerusakan buah salak disimpan di suhu ruang berbeda nyata dengan di suhu 15 °C selama penyimpanan. Kerusakan buah salak yang disimpan di suhu 15 °C nyata lebih kecil

Tabel 2. Pengaruh jenis pelapis dan suhu simpan terhadap susut bobot buah salak (%)

Perlakuan	Lama Penyimpanan (Hari)			
	3	7	11	15*
<u>Suhu Simpan</u>				
Suhu Ruang	5.75a	9.32a	13.58a	
Suhu 15°C	2.53b	4.32b	7.28b	9.70
<u>Jenis Pelapis</u>				
Tanpa Pelapisan (Kontrol)	5.21	7.76	11.54	9.94
Kitosan 0.5%	4.31	6.63	9.62	9.18
Lilin Lebah 10%	3.16	6.06	10.70	10.61
Lilin Lebah 10% dan Kitosan 0.5%	3.89	6.82	9.85	9.08

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan aspek yang sama adalah tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 0.05 (* = data hanya dari buah salak pada suhu dingin)

dibandingkan di suhu ruang. Hal ini menunjukkan buah salak disimpan di suhu 15 °C (suhu dingin) lebih efektif meningkatkan umur simpan salak pondoh dibandingkan di suhu ruang karena mampu mengurangi kerusakan. Penyimpanan buah salak di suhu dingin akan mampu mengurangi laju respirasi, proses penuaan, pertumbuhan yang tidak dikehendaki dan pertumbuhan mikroba (Muchtadi *et al.*, 2010) sebagai penyebab utama kerusakan buah.

Perlakuan jenis pelapis hanya memberikan pengaruh terhadap persentase kerusakan buah salak pada penyimpanan hari ke-7. Hasil uji Duncan pada Tabel 1 menunjukkan perlakuan lilin lebah 10% dan kitosan 0.5% (dua pelapisan) berbeda nyata dengan perlakuan lilin lebah 10%, kitosan 0.5% dan tanpa pelapisan (kontrol). Rata-rata persentase kerusakan buah salak dari besar ke kecil secara berurutan adalah dari perlakuan lilin lebah 10% dan kitosan 0.5% (dua pelapisan), tanpa pelapisan, kitosan 0.5% dan lilin lebah 10% yaitu 38.76%, 25.42%, 22.01%, dan 20.97%. Persentase kerusakan buah salak dengan perlakuan lilin lebah 10% dan kitosan 0.5% (dua pelapisan) menunjukkan nilai yang paling besar.

Besarnya nilai kerusakan buah salak dengan perlakuan lilin lebah 10% dan kitosan 0.5% (dua pelapisan) kemungkinan diakibatkan lamanya pencelupan buah dalam larutan pelapis. Dengan penggunaan dua pelapis lama pencelupan menjadi dua kali lipat dibandingkan dengan buah yang dilapisi lilin lebah 10% saja atau dengan kitosan 0,5% saja. Pencelupan yang lama memungkinkan cairan pelapis akan masuk ke dalam buah salak menyebabkan kelembaban buah meningkat. Meningkatkan kelembaban buah akan memudahkan tumbuhnya jamur. Dalam praktek di lapangan, pemanenan salak pondoh tidak bisa dilakukan pada musim hujan. Pemanenan buah salak pondoh pada musim hujan harus diiringi dengan pengeringan dengan kipas angin atau blower. Hal ini bertujuan untuk menghindari kerusakan yang diakibatkan tumbuhnya jamur karena buah

salak yang lembab.

Terjadinya respirasi anaerobik kemungkinan juga merupakan salah satu penyebab persentase kerusakan buah salak dengan perlakuan lilin lebah 10% dan kitosan 0.5% (dua pelapisan) paling besar. Perlakuan dua pelapisan menyebabkan kulit buah menjadi lebih tebal dibandingkan perlakuan tanpa pelapisan dan perlakuan satu pelapisan (kitosan 0.5% dan lilin lebah 10%). Kulit yang lebih tebal memungkinkan pori-pori kulit buah tertutup secara sempurna sehingga tidak memungkinkan O₂ yang digunakan dalam proses respirasi masuk dan CO₂ sebagai hasil dari proses respirasi keluar. Kondisi ini memungkinkan terjadinya respirasi anaerobik yang disebabkan proses respirasi berjalan tidak normal. Menurut Waryat dan Rahmawati (2010) respirasi anaerobik akan menyebabkan komponen-komponen tertentu dalam buah salak berubah menjadi alkohol yang akhirnya menyebabkan pembusukan pada buah salak pondoh.

Susut Bobot

Kehilangan air pada buah-buahan yang menyebabkan susut bobot yang merupakan salah satu faktor yang dapat memperpendek umur simpan dan mempercepat terjadinya penurunan mutu pada buah-buahan. Susut bobot pada buah-buahan bisa terjadi sejak dipanen sampai buah dikonsumsi oleh konsumen. Pengukuran susut bobot pada buah bertujuan untuk mengetahui besarnya pengurangan berat buah selama proses penyimpanan yang disebabkan terjadi penguapan air.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan perlakuan jenis pelapis tidak berpengaruh nyata terhadap susut bobot sedangkan perlakuan suhu simpan berpengaruh nyata terhadap susut bobot buah salak selama penyimpanan. Interaksi kombinasi jenis pelapis dan suhu simpan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap susut bobot buah salak selama penyimpanan.

Hasil uji Duncan pada Tabel 2 menunjukkan susut bobot buah salak yang disimpan di suhu ruang berbeda nyata dan sangat nyata dibandingkan di

Tabel 3. Pengaruh jenis pelapis dan suhu simpan terhadap kekerasan buah salak (Kg_f)

Perlakuan	Lama Penyimpanan (Hari)				
	1	3	7	11	15*
Suhu Simpan					
Suhu Ruang	3.17	3.06a	2.81a	2.63	
Suhu 15°C	3.17	2.72b	2.68b	2.63	2.75
Jenis Pelapis					
Tanpa Pelapisan (Kontrol)	2.96	2.89ab	2.66b	2.47	2.66b
Kitosan 0.5%	3.14	3.14a	2.91a	2.72	2.91a
Lilin Lebah 10%	3.11	2.63b	2.62b	2.65	2.62b
Lilin Lebah 10% dan Kitosan 0.5%	3.46	2.91ab	2.82a	2.69	2.82a

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan aspek yang sama adalah tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 0.05 (* = data hanya dari buah salak pada suhu dingin

suhu 15 °C. Buah salak yang disimpan di suhu ruang menunjukkan susut bobot lebih besar dibandingkan di suhu 15 °C. Tingginya susut bobot buah pada suhu ruang disebabkan karena tingginya laju respirasi dan penguapan air melalui kulit. Rendahnya kehilangan air pada suhu 15 °C disebabkan penyimpanan suhu dingin akan menyebabkan laju respirasi dan transpirasi menjadi lebih lambat. Laju respirasi yang lambat menyebabkan kehilangan air sebagai hasil dari proses respirasi juga akan berjalan lambat sehingga susut bobot buah di suhu 15 °C lebih kecil dibandingkan di suhu ruang.

Secara umum susut bobot buah salak cenderung meningkat selama penyimpanan dengan peningkatan susut bobot buah salak di suhu ruang mencapai dua kali lipat lebih besar dibandingkan di suhu 15 °C (Tabel 2). Hal ini menunjukkan bahwa selama penyimpanan terjadi kehilangan jumlah air dalam bahan yang terus bertambah. Menurut Hernandez-Munoz, *et al.* (2008), kehilangan air dalam buah sangat berkaitan erat dengan laju respirasi dan transpirasi melalui kulit buah. Pada buah stroberi, kulit yang tipis sangat memungkinkan kehilangan air dengan sangat cepat yang akan mengakibatkan keriput dan busuk. Besar kecilnya air yang hilang dalam buah tergantung pada *water pressure gradient* antara jaringan buah dan lingkungan, dan suhu penyimpanan.

Kekerasan

Nilai kekerasan merupakan parameter kritis dalam hal penerimaan konsumen terhadap buah-buahan dan sayur-sayuran. Pada stroberi tekstur yang lembut sangat mempercepat penurunan tingkat kekerasan buah selama proses pematangan yang berakibat umur simpan pendek dan lebih mudah terkontaminasi jamur. Tekstur buah adalah pengaruh dari turgor sel, serta struktur dan komposisi polisakarida dinding sel. Kelunakan pada buah stroberi dikaitkan dengan degradasi lamela tengah dari sel parenkim yang menyebabkan peningkatan kelarutan dari pektin dengan perubahan cepat berat

molekul pektin dan penurunan sedikit kandungan hemiselulosa (Koh and Melton, 2002; Hernandez-Munoz, *et al.*, 2008).

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan perlakuan jenis pelapis berpengaruh nyata terhadap kekerasan buah pada penyimpanan hari ke-3 dan ke-7 sedangkan suhu simpan memberikan pengaruh nyata terhadap kekerasan buah pada penyimpanan hari ke-3 dan ke-7. Interaksi kombinasi antara jenis pelapis dan suhu simpan memberikan pengaruh nyata terhadap tingkat kekerasan buah pada penyimpanan hari ke-7.

Perlakuan suhu simpan memberikan pengaruh nyata terhadap perubahan kekerasan buah salak. Hasil uji Duncan (Tabel 3) menunjukkan kekerasan buah salak yang disimpan di suhu ruang berbeda nyata dengan di suhu 15 °C pada penyimpanan hari ke-3 dan ke-7. Nilai kekerasan buah salak yang disimpan di suhu ruang lebih tinggi dibandingkan di simpan di suhu 15 °C menunjukkan bahwa buah salak yang disimpan di suhu ruang lebih lambat lunak dibandingkan suhu 15 °C.

Perlakuan jenis pelapis juga memberikan pengaruh terhadap perubahan kekerasan buah salak. Pada penyimpanan hari ke-3 perlakuan kitosan 0.5% memiliki nilai kekerasan yang paling besar dibandingkan perlakuan lainnya walaupun tidak berbeda nyata dengan perlakuan lilin lebah 10% dan kitosan 0.5% (dua pelapisan) dan tanpa pelapisan (kontrol). Hal ini disebabkan karena buah yang dilapisi kitosan 0.5% mampu menghambat kehilangan air yang cukup banyak sehingga ukuran sel dan tekanan isi sel tidak berkurang banyak yang akhirnya tekstur buah tetap keras.

Interaksi antara jenis pelapis dan suhu simpan terjadi pada penyimpanan hari ke-7. Tabel 4 menunjukkan perlakuan jenis pelapis dan suhu simpan menyebabkan nilai kekerasan buah salak berbeda secara nyata. Perlakuan kitosan 0.5% di suhu ruang dan perlakuan lilin lebah 10% dan kitosan 0.5% (dua pelapisan) di suhu 15 °C dan

Tabel 4. Pengaruh interaksi antara jenis pelapis dengan suhu simpan terhadap kekerasan buah salak (kgf)

Perlakuan	Lama Penyimpanan (Hari)			
	1	3	7	11
Tanpa Pelapisan Suhu Ruang	2.96	3.22	2.73c	
Kitosan 0.5% Suhu Ruang	3.14	3.37	3.12a	2.80
Lilin Lebah 0.5% Suhu Ruang	3.11	2.74	2.72cd	2.64
Lilin Lebah 10% dan Kitosan 0.5% Suhu Ruang	3.46	2.92	2.71cd	2.63
Tanpa Pelapisan Suhu 15°C	2.96	2.55	2.59dc	2.47
Kitosan 0.5% Suhu 15°C	3.14	2.91	2.70cd	2.64
Lilin Lebah 0.5% Suhu 15°C	3.11	2.53	2.53d	2.66
Lilin lebah 10% dan kitosan 0.5% Suhu 15°C	3.46	2.91	2.93b	2.76

Tabel 5. Pengaruh jenis pelapis dan suhu simpan terhadap total padatan terlarut buah salak (°Brix)

Perlakuan	Lama Penyimpanan (Hari)				
	1	3	7	11	15*
Suhu Simpan					
Suhu Ruang	16.64	17.48	18.06	19.01a	
Suhu 15°C	16.64	17.45	17.71	18.00b	18.26
Jenis Pelapis					
Tanpa Pelapisan (Kontrol)	16.20	17.68	17.80	18.00	18.15
Kitosan 0.5%	17.40	17.40	17.85	18.78	18.45
Lilin Lebah 10%	15.55	16.72	17.70	18.55	18.15
Lilin Lebah 10% dan Kitosan 0.5%	17.40	18.08	18.20	18.70	18.30

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan aspek yang sama adalah tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 0.05 (* = data hanya dari buah salak pada suhu dingin)

berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Perlakuan lilin lebah 10% dan kitosan 0.5% (dua pelapisan) berbeda nyata dengan perlakuan kitosan 0.5%. Perlakuan kontrol(tanpa pelapisan) berbeda nyata dengan perlakuan kitosan 0.5% dan lilin lebah 10% dan kitosan 0.5% (dua pelapisan) tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Buah salak dengan perlakuan kitosan 0.5% disimpan pada suhu ruang memiliki nilai kekerasan paling besar dibandingkan perlakuan lainnya dengan nilai kekerasan 3.12 kg_f. Tingginya kekerasan buah dengan perlakuan kitosan 0.5% di suhu ruang dibandingkan perlakuan lainnya menunjukkan perlakuan kitosan 0.5% di suhu ruang lebih efektif mempertahankan penurunan tingkat kekerasan buah.

Penurunan tingkat kekerasan buah berkaitan erat dengan senyawa pektin pada buah salak, dimana senyawa pektin yang semula tidak larut akan berubah menjadi larut sehingga tekstur buah salak akan mengalami penurunan tingkat kekerasannya. Femonena perubahan kekerasan (tekstur) pada pruduk hortikultura juga mempunyai kaitan yang erat dengan perubahan komposisi penyusun dinding sel, beberapa enzim yang berperan dalam pemecahan dinding sel adalah pektinesterase, poligakturonase, selulose, dan hemiselulose. Enzim pektinesterase berfungsi memecah protopektin menjadi pektin yang larut dalam air sedangkan pologalakturonase

berfungsi menghidrolisa ikatan glikosidik antara asam poligalakturonat sehingga jaringan buah menjadi lunak (Waryat dan Rahmawati, 2010).

Total Padatan Terlarut

Total padatan terlarut pada buah yang memiliki rasa manis menunjukkan nilai kemanisan (total gula) dari buah tersebut. Semakin tinggi nilai total padatan terlarut makin manis rasa dari buah tersebut. Pada umumnya selama pematangan akan terjadi peningkatan nilai total padatan terlarut yang menunjukkan meningkatnya nilai kemanisan buah. Hal ini disebabkan karena selama proses pematangan akan terjadi penguraian senyawa kompleks seperti pati menjadi gula-gula sederhana yang memberikan rasa manis pada buah.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan perlakuan jenis pelapis tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap total padatan terlarut buah salak sedangkan suhu simpan menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap total padatan terlarut buah pada penyimpanan hari ke-11. Interaksi kombinasi antara jenis pelapis dan suhu simpan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap total padatan terlarut buah salak selama penyimpanan.

Berdasarkan uji Duncan pada Tabel 5 total padatan terlarut buah salak di suhu ruang berbeda nyata dengan di suhu 15 °C pada penyimpanan hari ke-11. Rata-rata total padatan terlarut buah

Tabel 6. Pengaruh jenis pelapis dan suhu simpan terhadap warna kulit buah (skor)

Perlakuan	Lama Penyimpanan (Hari)			
	0	3	7	11
Suhu Simpan				
Suhu Ruang	1.92	2.23	2.93	3.87
Suhu 15°C	1.98	2.20	2.76	3.39
Jenis Pelapis				
Tanpa Pelapisan (Kontrol)	1.53	2.03	2.33b	2.73
Kitosan 0.5%	2.05	1.94	3.09a	3.18
Lilin Lebah 10%	2.13	2.38	2.72ab	3.45
Lilin Lebah 10% dan Kitosan 0.5%	2.06	2.56	3.19a	5.09

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan aspek yang sama adalah tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 0.05 (* = data hanya dari buah salak pada suhu dingin)

salak dari semua perlakuan pada suhu ruang sebesar 19.01% dan pada suhu 15 °C sebesar 18%. Nilai total padatan terlarut buah salak yang disimpan di suhu ruang lebih tinggi dibandingkan di suhu 15 °C. Hal ini disebabkan karena buah yang disimpan di suhu ruang laju respirasinya lebih cepat dibandingkan di suhu 15 °C. Proses respirasi dengan mengambil O₂ di udara akan merombak atau menguraikan karbohidrat dalam buah menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana yaitu gula dengan melepaskan air dan panas. Akibatnya kemanisan buah bertambah sedangkan kadar airnya berkurang.

Secara umum ada kecenderungan peningkatan total padatan terlarut buah salak selama penyimpanan baik pada suhu ruang maupun suhu 15 °C walau dalam jumlah sedikit. Peningkatan nilai kemanisan buah salak yang sedikit selama penyimpanan kemungkinan disebabkan buah salak memiliki kandungan pati yang sangat rendah. Menurut Muchtadi, *et al.* (2010) buah yang memiliki kandungan pati yang sangat sedikit tidak dapat diharapkan selama penyimpanan kadar gulanya akan meningkat.

Warna Kulit Buah (Uji Hedonik)

Warna kulit pada buah-buahan merupakan salah satu faktor penting yang diperhatikan oleh konsumen ketika menjatuhkan pilihan dalam membeli suatu buah. Menurut Ahmad (2013), warna merupakan salah satu parameter mutu yang menentukan kualitas dari buah-buahan. Warna kulit juga digunakan untuk membedakan tingkat ketuaan produk dan tingkat kematangan pada beberapa jenis buah-buahan.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan perlakuan jenis pelapis memberikan pengaruh nyata terhadap warna kulit buah pada penyimpanan hari ke-7 sedangkan perlakuan suhu simpan dan interaksi kombinasi jenis pelapis dan suhu simpan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap warna kulit buah.

Pada penyimpanan hari ke-7 perlakuan jenis

pelapis memberikan pengaruh yang nyata terhadap warna kulit buah salak. Berdasarkan hasil uji Duncan pada Tabel 6 nilai kesukaan warna kulit buah salak dengan perlakuan lilin 10% dan kitosan 0.5 % (dua pelapisan) berbeda nyata dengan perlakuan tanpa pelapisan (kontrol) dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan lilin lebah 10% dan kitosan 0.5%. Nilai kesukaan warna kulit buah salak dengan perlakuan kitosan 0.5% berbeda nyata dengan tanpa pelapisan (kontrol) dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan lilin lebah 10% dan perlakuan dua pelapisan (lilin lebah 10% dan kitosan 0.5%). Warna kulit buah dengan perlakuan tanpa pelapisan (kontrol) dengan skor 2.33 (suka) lebih disukai dibandingkan perlakuan lilin lebah 10% dan kitosan 0.5% (dua pelapisan) dengan skor 3.19 (agak suka), lilin lebah 10% dengan skor 2.73 (agak suka) dan kitosan 0.5% dengan skor 3.09 (agak suka).

Warna kulit buah dengan perlakuan dua pelapisan (lilin lebah 10% dan kitosan 0.5%) menghasilkan warna yang paling tidak disukai oleh panelis dibandingkan perlakuan lainnya. Tingkat kesukaan yang lebih rendah pada buah salak yang dilapisi dengan lilin 10% dan kitosan 0,5% kemungkinan diakibatkan buah salak yang diberi dua pelapis menyebabkan penampilan kulit buah menjadi lebih kusam dan menghitam (Gambar 1). Penggunaan pelapis yang lebih banyak menyebabkan warna kulit buah menjadi lebih tidak disukai. Velickova *et al.* (2013) menyatakan bahwa penggunaan tiga jenis pelapis pada buah stroberi menyebabkan buah menjadi tidak disukai secara sensori walaupun mampu mempertahankan sifat fisik dan kimia buah menjadi lebih baik.

Simpulan

1. Penyimpanan buah salak di suhu 15 °C mampu menekan susut bobot dan persentase kerusakan buah salak selama disimpan.
2. Perlakuan buah salak dengan dua pelapisan yaitu lilin lebah 10% dan kitosan 0.5% menurunkan

tingkat kesukaan konsumen terhadap kulit buah dikarenakan warnanya lebih gelap dan kusam.

3. Pelapisan buah salak dengan dua pelapisan yaitu lilin lebah 10% dan kitosan 0.5% tidak mampu meningkatkan umur simpan buah salak dibandingkan dengan perlakuan lainnya.

Daftar Pustaka

- Ahmad, U. 2013. Teknologi Penanganan Pascapanen Buah dan Sayuran. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Direktorat Jendral Hortikultura. 2012. www.hortikultura.deptan.go.id. Upaya Pengembangan Kawasan Buah Unggulan Tropika untuk Ekspor. [terhubung berkala] <http://www.deptan.go.id>. [5 Mei 2012].
- Hernandez-Munoz, P., E. Almenar, V. D. Valle, D. Velez and R. Gavara. 2008. Effect of Chitosan Combined with Postharvest Calcium Treatment on Strawberry (*Fragaria x ananassa*) Quality During Refrigerated Storage. *Food Chemistry* 110:428-435.
- Koh, T. H. and Melton, L.D. 2002. Ripening-related changes in cell wall polysaccharides of strawberry cortical and pith tissue. *Postharvest Biology & Technology* 26: 23-33.
- Muchtadi, T. R., Sugiono, dan F. Ayustaningwarno. 2010. Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan. Alfabeta. Bandung.
- Nisperos, M.O. and E.A. Baldwin. 1996. Edible Coating for Whole and Minimally Processed Fruit and Vegetable. *Food Australia* 48 (1):27-31..
- Pratomo, A. 2009. Identifikasi Dan Pengendalian Jamur Putih Buah Salak Dengan Ekstrak Bunga Kecombrang (*Nicolaia speciosa*). Laporan Penelitian. Laboratorium Pengamatan Hama dan Penyakit, Banyumas. Banyumas.
- Santosa, B. 2007. Penentuan Umur Petik dan Pelapisan Lilin Sebagai Upaya Menghambat Kerusakan Buah Salak Pondoh Selama Penyimpanan pada Suhu Ruang. *Jurnal Teknologi Pertanian* Vol.3:153-159.
- Sutoyo dan Suprpto. 2010. Budidaya Tanaman Salak. Leaflet Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Tengah. Ungaran.
- Velikcova, E., E. Winkelhausen, S. Kusmanova, V. D. Alves and M. Maldao-Martins. 2013. Impact Chitosan-Beewax Edible Coating on the Quality of Fresh Strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) Under Commercial Storage Conditions. *LWT-Food Science and Technology* 52:80-92.
- Waryat dan M. Rahmawati. 2010. Pemanfaatan Chitosan untuk Mempertahankan Buah Salak Pondoh (*Salacca zalacca* cv. Pondoh). Prosiding Seminar Nasional: Teknologi Inovatif Pascapanen untuk Pengembangan Industri Berbasis Pertanian, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian. Bogor.



a. Tanpa Pelapis (kontrol)



b. Kitosan 0,5%



c. Lilin Lebah 0.5%



d. Lilin Lebah 10% dan Kitosan 0,5%

Gambar 1. Pengaruh beberapa pelapis terhadap penampilan warna kulit pada hari ke-7.

Technical Paper

Pemodelan Lahan Basah Potensial Berdasarkan Indeks Topografi Di Bretagne, Prancis

Modelling of Potential Wetlands based on a Topographic Index in Brittany, France

Helena Ariesty, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor Gedung Andi Hakim Nasution, Kampus IPB Darmaga Bogor. Email: helenariesty@yahoo.com
Blandine Lemerrier, INRA - UMR SASRennes - France. Email: Blandine.lemerrier@agrocampus-ouest.fr
Lionel Berthier, INRA - UMR SASRennes - France. Email: Lionel.berthier@agrocampus-ouest.fr
Roh Santoso, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Gedung Fateta Kampus IPB Darmaga Bogor. Email: rohsbw@yahoo.com
Satyanto K. Saptomo, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Gedung Fateta Kampus IPB Darmaga Bogor. Email: saptomo.sk@gmail.com

Abstract

Wetlands represent an important natural resource which supports natural biodiversity. In France, in mentioned wetlands, it called potential wetlands, which have potential in its use. Topography and geomorphology play a major role for the development of wetlands and are decisive factors for modeling wetlands extension. The importance of identifying wetlands, can be used as a basis for determining the development priorities that will be based on technical and socioeconomic aspects. The objective of this research was to predict the spatial extent of potential wetlands in Brittany, France from a topographic index calibrated on a set of 10 detailed soil maps. In identifying potential wetlands, it based on soil hydromorph which conducted by method 4 criteria. The following four stages of analysis were respectively categorized: (a) identification hidromorphy, (b) calculation topographic index, (c) calculation of threshold, (d) validation. A threshold method was conducted between soil maps and topographic index to indicate the similarity condition. We use for threshold and validation a new way using 120 combination of soil maps. The result of topographic index was 4.7 and it was applied for all Brittany.

Keywords: *potential wetlands, hydromorphic soil, threshold, topographic index, spatial analysis*

Abstrak

Lahan basah merupakan sumber daya alam penting yang mendukung keanekaragaman hayati. Di Perancis dalam menyebutkan lahan basah digunakan istilah lahan basah potensial, yaitu suatu lahan basah yang memiliki potensial dalam penggunaannya. Topografi dan geomorfologi memainkan peran utama untuk pengembangan lahan basah dan merupakan faktor yang menentukan dalam pemodelan lahan basah berkelanjutan. Pentingnya mengidentifikasi lahan basah, dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan prioritas pembangunan yang akan didasarkan pada aspek teknis dan sosial ekonomi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memprediksi luas spasial lahan basah potensial di Bretagne, Prancis dari indeks topografi dikalibrasi pada satu set 10 peta tanah rinci. Dalam mengidentifikasi lahan basah yang potensial, berdasarkan hidromorfi tanah yang dilakukan dengan metode 4 kriteria. Penelitian ini mengacu kepada Merrot 2006 yaitu dengan metode yang sama berhasil mengidentifikasi lahan basah potensial berdasarkan indeks topografinya. Hal yang membedakan adalah jumlah peta yang digunakan yaitu 1 peta dan 10 peta, sehingga dapat dilihat apakah penelitian terdahulu memiliki nilai yang sama atau berbeda. Berikut ini empat tahap analisis yang masing-masing dikategorikan: (a) identifikasi hidromorfi, (b) indeks perhitungan topografi, (c) perhitungan ambang batas, (d) validasi. Sebuah metode ambang batas dilakukan antara peta tanah dan indeks topografi untuk menunjukkan kondisi kesamaan. Penggunaan ambang batas dan validasi merupakan pengembangan cara baru dengan menggunakan 120 kombinasi peta tanah. Hasil indeks topografi adalah 4,7 dan diterapkan untuk semua Bretagne.

Kata kunci : lahan basah potensial, hidromorfi tanah, ambang batas, indeks topografi, analisis spasial

Diterima: 22 Desember 2013; Disetujui: 27 Maret 2014

Pendahuluan

Latar Belakang

Lahan basah memiliki peranan yang sangat penting bagi manusia dan lingkungan. Fungsi lahan basah tidak saja dipahami sebagai pendukung kehidupan secara langsung seperti sumber air minum dan habitat beraneka ragam makhluk, tetapi juga memiliki berbagai fungsi ekologis seperti pengendali banjir dan kekeringan, pengaman garis pantai dari intrusi air laut dan abrasi, penambat sedimen dari darat dan penjernih air, penyedia unsur hara (Correl, 1996; Gilliam et al., 1997). Fungsi habitat lahan basah sebagai penyedia makanan, air, hasil hutan, tempat perlindungan bagi ikan, burung, mamalia, dan sebagai tempat pemijahan berbagai spesies (Tiner 2009). Fungsi hidrologi lahan basah dapat dikaitkan dengan kuantitas air yang masuk, tinggal, dan keluar di lahan basah. Fungsi kualitas air mencakup penyerapan sedimen dan pengendali polusi pada lahan basah (Vorosmarty et al., 2010).

Dalam mengidentifikasi lahan basah, Perancis mengacu kepada kriteria tanah yaitu berdasarkan hidromorfinya (Merot, 2000; Merot et al., 2006). Tanah dikatakan hidromorfi bila menunjukkan tanda secara fisik adanya kejenuhan air (Merot et al., 1995). Di Perancis lahan basah dikelompokkan ke dalam tiga bagian dengan pendekatan PEE (potensial, efektif, dan efisien) (Merot, 2000; Merot et al., 2006). Lahan basah potensial merupakan lahan basah dengan karakteristik fisik jenuh air yang dengan cepat ditentukan oleh indeks topografi (Merot et al., 2006). Pentingnya melakukan identifikasi lahan basah, dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan

prioritas pengembangan yang nantinya didasarkan pada aspek teknis dan sosial ekonomi.

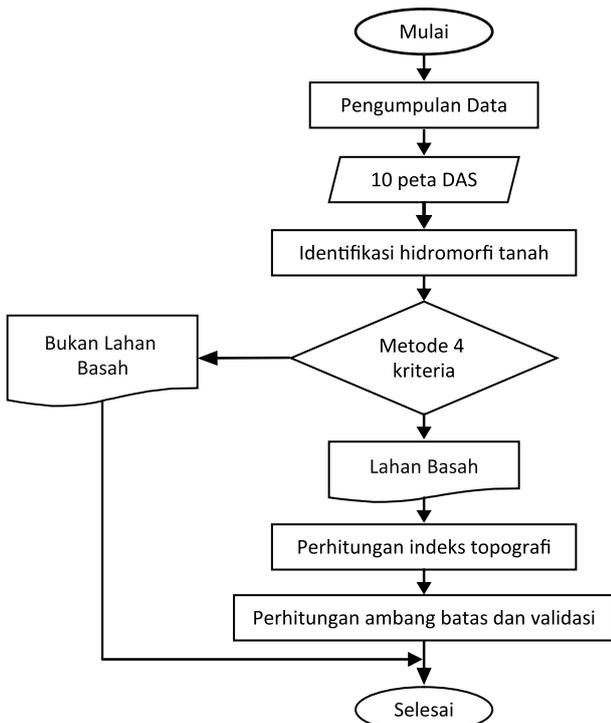
Pendekatan penelitian lahan basah potensial berdasarkan indeks topografi telah direalisasikan di Bretagne dengan menggunakan satu peta DAS (Merot et al, 1995), hasilnya telah didistribusikan secara luas. Contohnya adalah dalam rangka membandingkan indeks topografi dengan negara Eropa lainnya (Merrot, et al., 2003), identifikasi lahan basah ini diintegrasikan dengan indeks iklim-topografi yang kemudian dikalkulasi oleh software (Arousseau and Squidant (1995)). Untuk mengembangkan penelitian tersebut, digunakan 10 peta DAS di daerah Bretagne, Perancis.

Dalam menguji kebenarannya, uji akurasi dilakukan dengan membandingkan dua peta, satu peta bersumber dari hasil analisis penginderaan jauh (peta yang akan diuji) dan satunya adalah peta yang berasal dari sumber lainnya, (Merot et al, 2003). Peta kedua dijadikan sebagai peta acuan, dan diasumsikan memiliki informasi yang benar. Seringkali data acuan ini dikompilasi dari informasi yang lebih detail dan akurat dari data yang akan diuji.

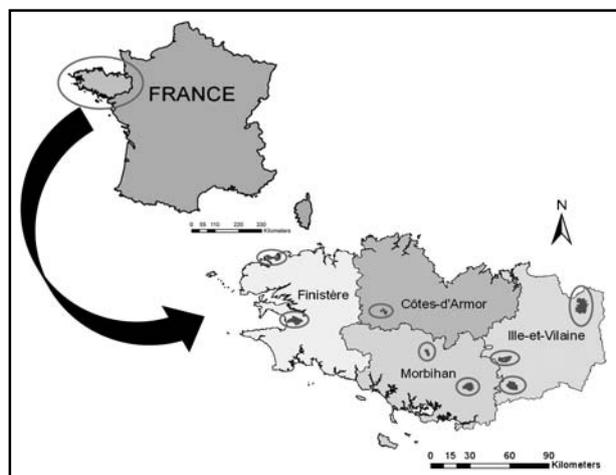
Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya maka tujuan penelitian adalah memprediksi luasnya potensi lahan basah pada daerah Bretagne, Perancis yang didasarkan pada indeks topografi dengan pendekatan validasi berdasarkan 120 kombinasi peta DAS.

Bahan dan Metode

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sepuluh peta DAS di wilayah Bretagne, Perancis. Peralatan yang digunakan adalah seperangkat komputer yang dilengkapi dengan software: ArcGIS 10, Geospatial Modelling Environment, Microsoft Excel, Office, Power Point.



Gambar 1. Bagan alir penelitian



Gambar 2. Lokasi penelitian

Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan. Secara umum tahapan-tahapan tersebut disajikan pada Gambar 1.

Pengumpulan Data Input

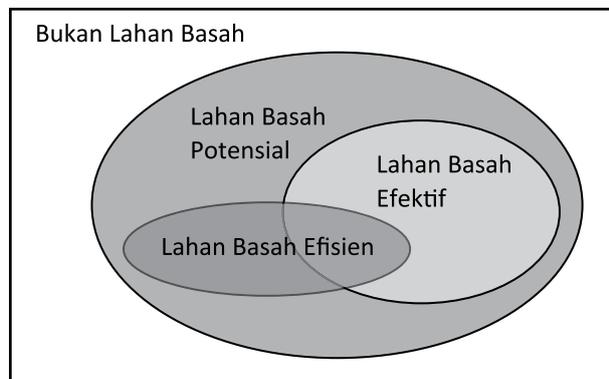
Sepuluh peta DAS (Gambar 2) di daerah Bretagne, Perancis yang digunakan merupakan peta yang didapatkan dari INRA-UMR SAS dengan skala 1/25000- 1/50000.

Lahan Basah Potensial

Tambahkan penjelasan singkat terkait input ini Tipologi ini umumnya digunakan untuk menggambarkan kondisi lahan basah, dapat dilihat pada Gambar 3.

Identifikasi Hidromorfi Tanah

Identifikasi hidromorfi menggunakan Keputusan 1 Oktober 2009 tentang morfologi tanah lahan



Gambar 3. Lahan basah dengan pendekatan PEE (Merot et al., 2006)

basahamandemen Keputusan 24 Juni 2008, suatu lahan dapat dikatakan lahan basah bila memenuhi syarat: 1) Rédoxiques (saturasi sementara) mulai kedalaman 25 cm dan terus mengalami peningkatan kedalamannya atau 2) Rédoxiques mulai kedalaman kurang dari 50 cm, diperluas atau mengalami peningkatan kedalaman dan didukung sifat reductic (saturasi hampir konstan) yang terjadi antara kedalaman 80 cm dan 120 cm. Gambar dapat dilihat pada Gambar 4.

Kriteria tanah tersebut dikombinasikan dengan kodifikasi tanah Masif Armoricaian yaitu metode 4 kriteria dengan parameter substrat, hidromorfi, jenis solum, dan kedalaman tanah (Riviere, et al., 1992). Dalam menentukan apakah tanah tersebut masuk ke dalam kategori lahan basah dapat dilihat dari hidromorfinya, seperti yang terlihat pada Gambar 5. Setelah menerapkan metode 4 kriteria, hasil petanya dapat dilihat pada Gambar 6. Klasifikasi hidromorfi (Gambar7) terdiri dari 10 kelas, yang terbagi menjadi beberapa bagian. Nilai 0-2 merupakan tanah kering, nilai 3-4 hidromorfi sedang, dan nilai 6-9 sangat hidromorfi. Hasil peta lahan basah dan bukan lahan basah dapat dilihat pada Gambar 8.

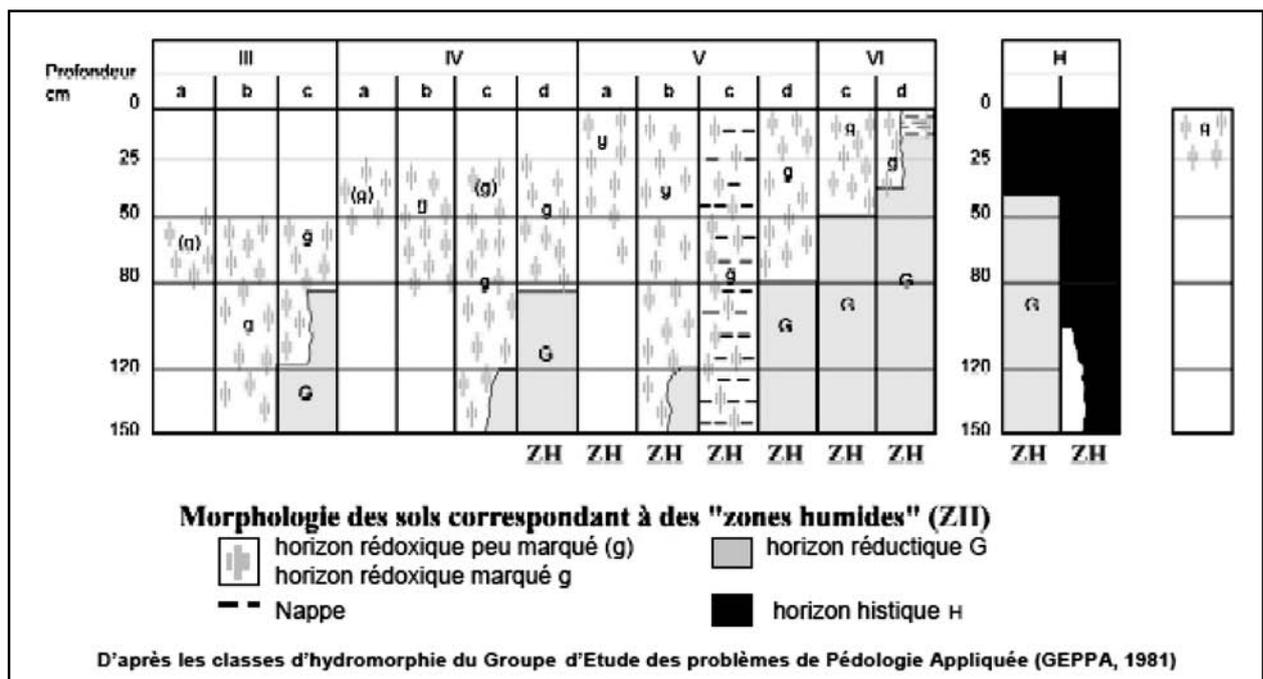
Perhitungan Indeks Topografi

Untuk menghitung indeks topografi, diadopsi dari Beven dan Kirkby (1979) oleh Merot 1995 :

$$TI = \ln \left(\frac{\alpha}{\tan \beta} \right)$$

Dengan α = daerah drainase dan β = kemiringan lereng

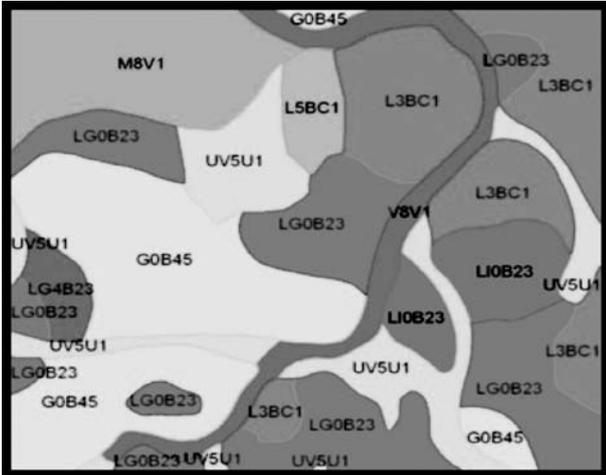
Dihitung dengan DTM (Digital Terrain Model) pada ketinggian 50 m. Indeks topografi di Perancis



Gambar 4. Lahan basah dengan kriteria tanah UU 01 Oktober 2009 (Baize dan Girard, 2009)

Substrat	Hydromorphic	Type of solum	Soil Depth
Granite	Hydromorphic soil	Lessive Soil	Soil over a meter
↓	↓	↓	↓
G	6	L	1

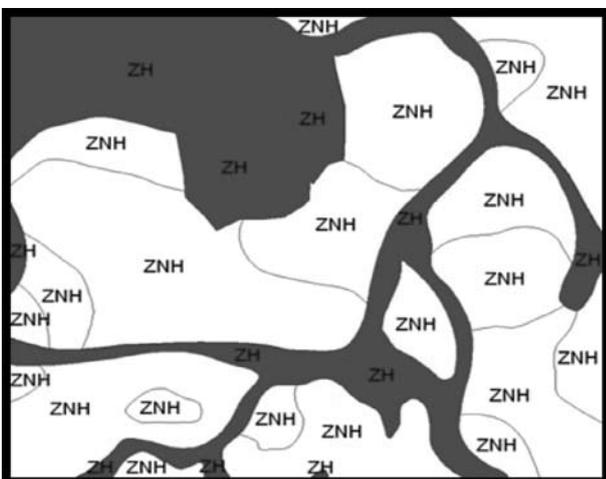
Gambar 5. Kodifikasi tanah : Metode 4 kriteria (Riviere, et al., 1992)



Gambar 6. Peta tanah dengan metode 4 kriteria



Gambar 7. Klasifikasi 10 kelas hidromorfi



Gambar 8. Peta lahan basah dan bukan lahan basah

bervariasi antara 0 hingga 29. Semakin tinggi nilai indeks topografi, maka kemungkinan dugaan lahan basah akan semakin besar.

Perhitungan Ambang Batas

Dalam menentukan ambang batas, digunakan probabilitas kombinatorial sebagai berikut :

$$C_n^p = \frac{n!}{p!(n-p)!}$$

Dengan n = jumlah peta yang tersedia dan p = jumlah peta kalibrasi. Hasil yang diperoleh adalah 120 peta kombinasi, dengan 7 peta kalibrasi dan 3 peta validasi. Skema penentuan ambang batas dapat dilihat pada Gambar 9.

Validasi

Format baku untuk melaporkan hasil uji akurasi adalah dalam bentuk matriks kesalahan, atau dinamakan juga “matriks konfusi” karena ia mengidentifikasi tidak saja kesalahan untuk suatu kategori tetapi juga kesalahan klasifikasi antar kategori. Matriks kesalahan tersusun dari senarai berukuran n kali n, dimana n adalah banyaknya kelas objek yang ada di peta.

Untuk menyusun matriks kesalahan tersebut, digunakan peta preferensi dan peta hasil analisis, kedua peta harus dapat dibandingkan. Validasi dalam kasus ini, dilakukan pembentukan 120 matriks konfusi.

Dua indikator statistik yang digunakan:

- Presentase Gros =

$$\frac{\text{Jumlah piksel yang diklarifikasi dari LB dan non LB}}{\text{Total piksel}}$$

- Indeks Akurasi =

$$\frac{\text{Jumlah piksel yang diklarifikasi dari lahan basah potensial}}{\text{Jumlah piksel lahan basah pada peta tanah}}$$

Bila nilai < 1 maka mengindikasikan dibawah estimasi lahan basah potensial dimana luas lahan basah prediksi lebih kecil lahan basah observasi.

Bila nilai > 1 maka mengindikasikan diatas estimasi lahan basah potensial dimana luas lahan basah prediksi lebih besar dari lahan basah observasi.

Hasil dan Pembahasan

Presentase hidromorfi tanah yang didapat dengan menggunakan kriteria tanah UU 24 Oktober 2009 dalam menentukan lahan basah potensial dapat dilihat pada Tabel 1. Daerah dengan hidromorfi tanah besar cenderung memiliki ambang batas kecil, seperti pada Kervijen dengan hidromorfi tanah 24.3% dan ambang batas 4.3, Pipriac dengan

Tabel 1. Presentase Hidromorfi Tanah dan Ambang Batas

Daerah	Peta DAS	% Hidromorfi Tanah	Ambang Batas
Finistère	1. Kervijen	24,3	4,3
	2. Plouguerneau	18,7	5,3
Morbihan	3. Naizin	18,7	4,7
	4. Pleucadeuc	19,4	5
Côte d'Armor	5. Rostrenen	54,6	4,4
	Ille-et-Vilaine	6. Pipriac	32,6
7. Saint Thurial		53,5	3,8
8. Watershed 1 of the estuary road		14,8	5,3
9. Watershed 2 of the estuary road		9,8	5,9
10. Watershed 3 of the estuary road		12,4	5,2

hidromorfi tanah 32.6% dan ambang batas 4.5, dan Watershed 2 dengan hidromorfi tanah 9.8% dan ambang batas 5.2. Hal tersebut terjadi didukung oleh faktor intensitas hujan dan kemiringan yang berbeda-beda pada setiap DAS.

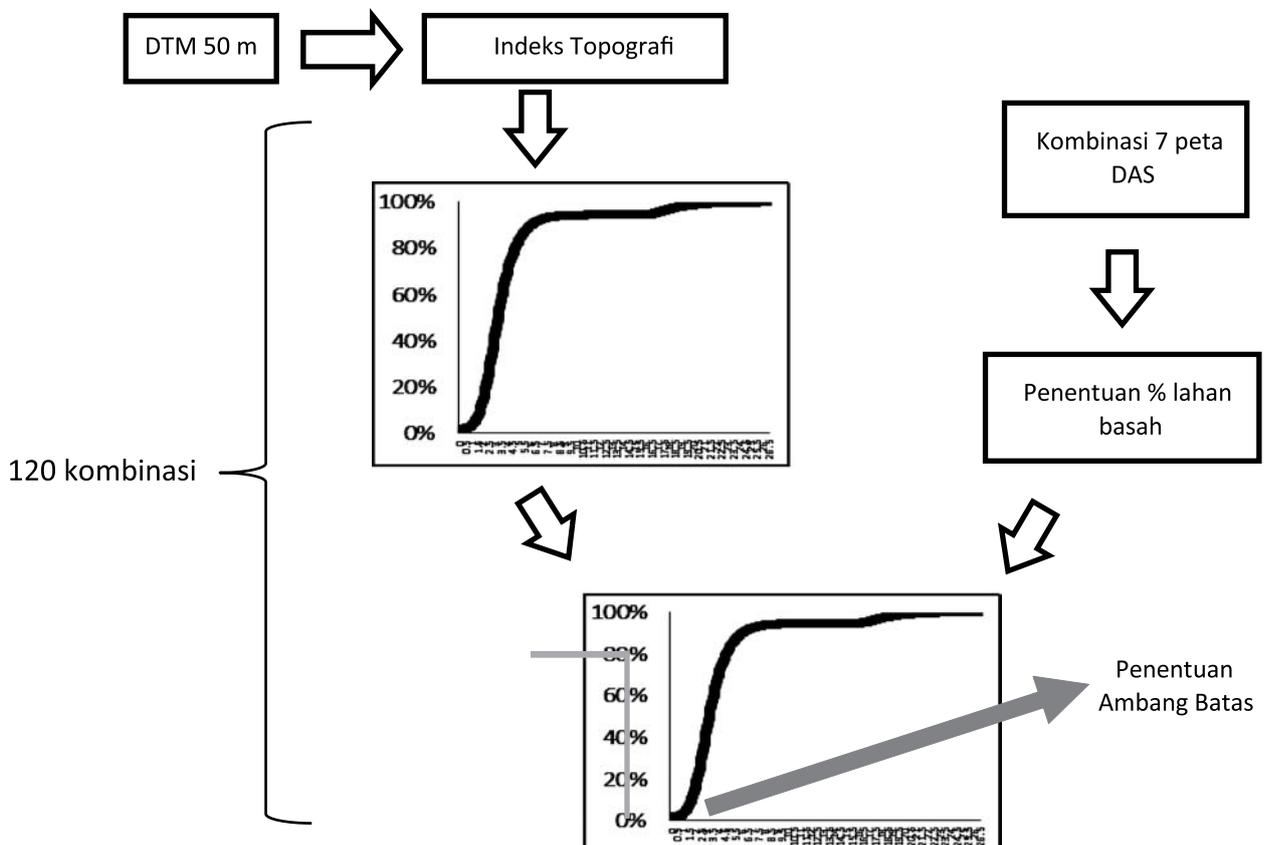
Hampir semua dari sepuluh peta DAS ini memiliki distribusi indeks topografi yang sama di daerah Bretagne kecuali Rostrenen. Hal tersebut terjadi perbedaan disebabkan oleh intensitas hujan dan kemiringan yang cenderung ekstrim. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 10.

Persentase rata-rata kesepakatan gros (Gambar 11) adalah 73%, sedangkan nilai mediannya adalah 72%. Jadi distribusi perjanjian gros ini memiliki dua populasi yang dapat dilihat pada Gambar 11.

Kurva normal, dua populasi memiliki arti dalam menempatkan hipotesis, harus memiliki 2 kombinasi kategori besar. Sebuah distribusi bimodal memiliki rentang nilai minimum sebesar 67%. Kurva normal dua populasi harus dikatakan bahwa presentase tersebut masuk ke dalam batas normal.

Nilai rata-rata pada histogram indeks akurasi bernilai 1.4 dan nilai tengahnya 1.3, sedangkan nilai minimalnya 0.6 dan nilai maksimalnya 2.3. Dalam kasus ini, pemodelan lahan basah diatas estimasi sebesar 75%. Dalam 14% kasus, model memprediksi setidaknya 2 kali lebih banyak dari lahan basah yang telah dipetakan.

Dari Gambar 12, histogram tersebut terdapat dua puncak yang mengindikasikan data berbentuk



Gambar 9. Skema penentuan ambang batas

dua kategori atau dua kelas. Kategori tersebut dinamakan distribusi binomial. Tes ini sangat cocok digunakan sebagai alat pengujian hipotesis dengan ukuran sampel yang kecil. Distribusi binomial adalah suatu distribusi yang terdiri dari dua kelas.

Gambar 13 menampilkan peta lahan basah potensial di Bretagne. Indeks yang didapat dari penelitian ini adalah 4.7 dan diaplikasikan untuk seluruh wilayah Bretagne. Dapat dilihat pada gambar tersebut indeks tersebut merepresentasikan lahan basah potensial di wilayah Bretagne, Perancis. Gambar 14 menunjukkan perbandingan peta hasil prediksi dan observasi di Kervijen, peta yang dihasilkan tepat merepresentasikan keadaan yang ada, sedangkan sebaliknya Gambar 15 perbandingan peta di wilayah Saint Thurial memiliki perbedaan yang signifikan disebabkan oleh kondisi ekstrem berupa dataran tinggi di wilayah tersebut.

Beberapa pemodelan identifikasi lahan basah telah dilakukan di Perancis, seperti identifikasi karakteristik lahan basah di Sungai Seine (Curie,

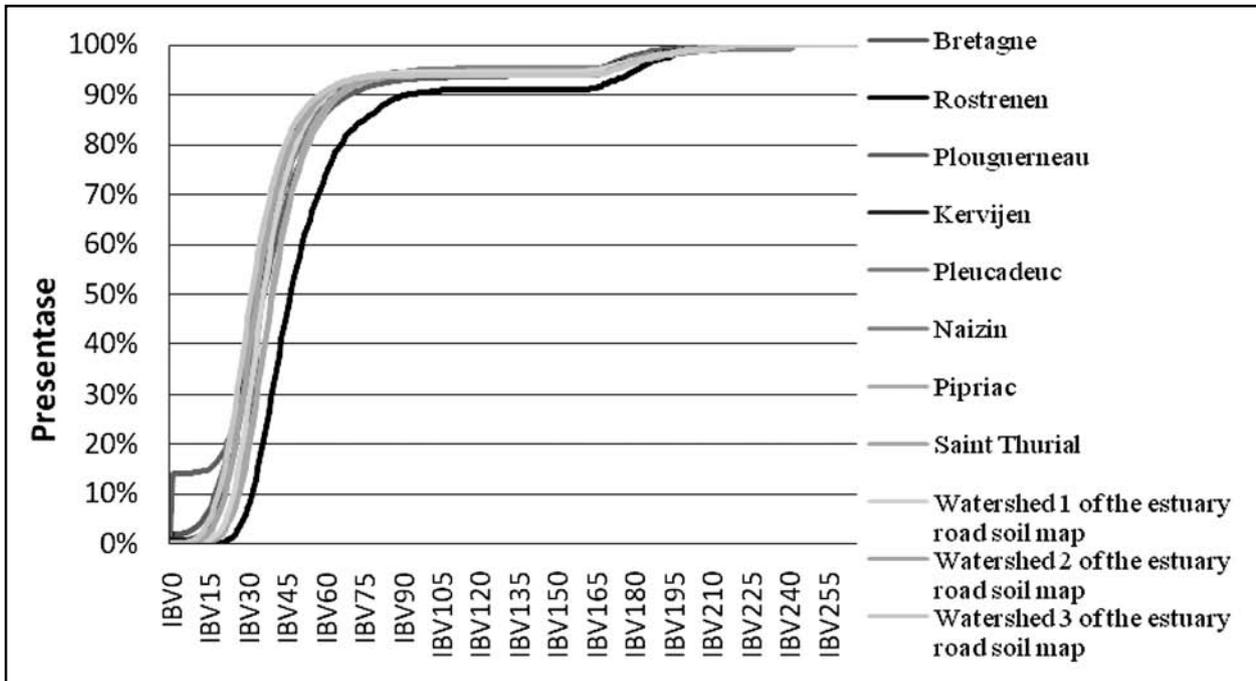
et al., 2007), pra-identifikasi lahan basah di DAS Loire-Bretagne (Mazagolet al., 2008).

Simpulan

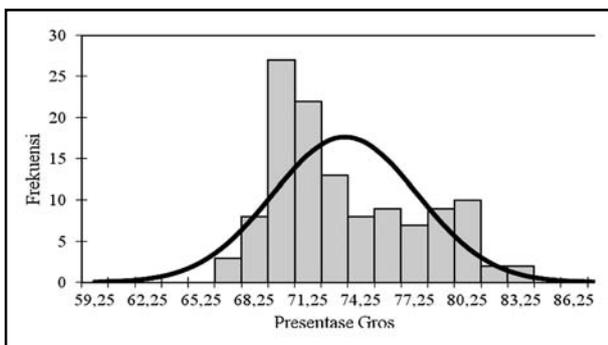
Simpulan yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Pemodelan lahan basah potensial di Bretagne, Perancis dengan menggunakan sepuluh peta DAS hanya merepresentasikan 1% dari wilayah teritorial tapi cukup mewakili keragaman regional.
2. Penerapan metode ambang batas dan validasi memiliki kemampuan mengintegrasikan peta baru dan kemungkinan penerapan ke daerah lain dengan peta DAS lainnya
3. Ambang batas ini tergantung pada peta DAS yang digunakan yang digunakan untuk mengkalibrasi model.

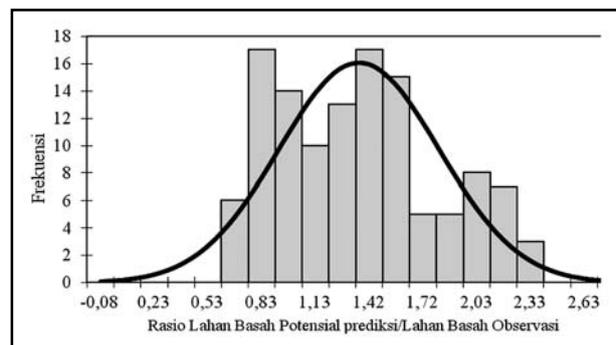
Saran yang dapat diberikan adalah perlunya dilakukan pengembangan metodologi untuk memilih



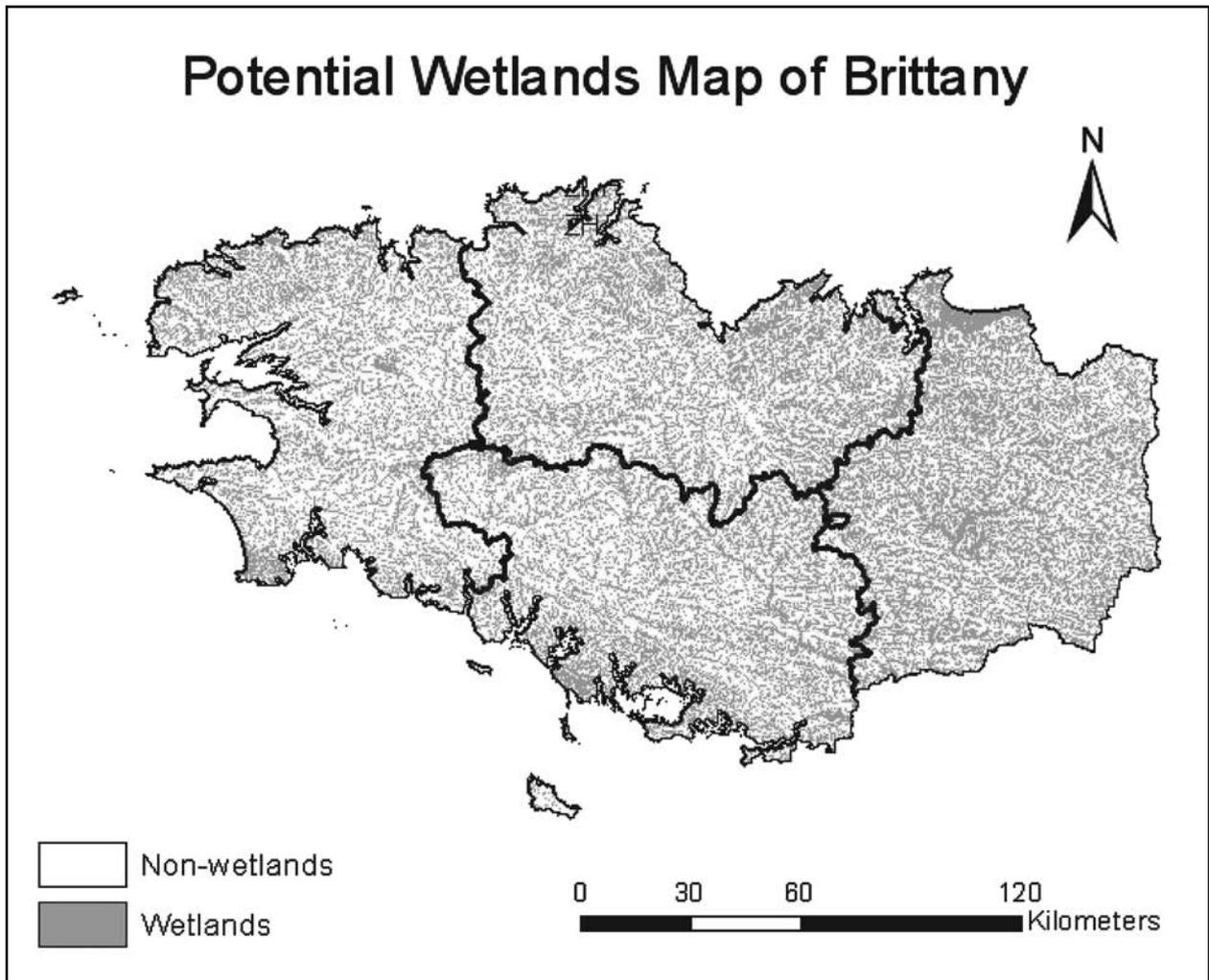
Gambar 10. Frekuensi Kumulatif Indeks Topografi pada Peta DAS di Bretagne



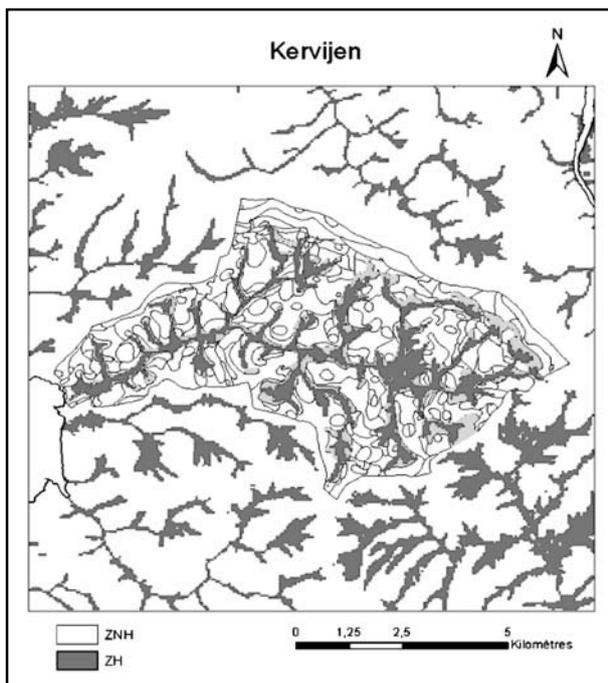
Gambar 11. Histogram Frekuensi dari Presentasi Gros



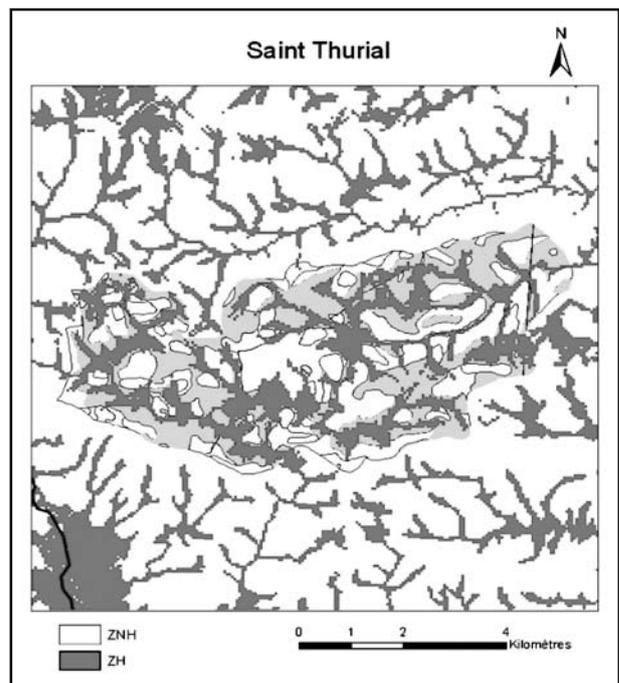
Gambar 12. Histogram Frekuensi dari Indeks Akurasi



Gambar 13. Peta lahan basah potensial dengan pengaplikasian indeks topografi terbaik.



Gambar 14. Perbandingan peta hasil prediksi dan observasi di wilayah Kervijen.



Gambar15. Perbandingan peta hasil prediksi dan observasi di wilayah Saint Thuriel.

kombinasi terbaik dari peta DAS. Selain itu, perlu dilakukan pengujian dengan skala peta yang lebih presisi misalnya 1/250000. Dalam mengidentifikasi lahan basah pada dataran tinggi, perlunya perhitungan perbandingan kemiringan local dengan kemiringan hilir

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada INRA-UMR SAS dan Beasiswa Unggulan Kementerian Pendidikan Nasional yang telah memberikan bantuan dana selama penelitian berlangsung.

Daftar Pustaka

- Aurousseau, P., Squidant, H., 1996. Raffinement des techniques d'estimation spatiale ou de modélisation spatiale du réseau hydrographique et des zones hydromorphes de bas-fonds par intégration de données climatologiques: les pluies efficaces. UMR INRA ENSA SAS, Rennes, note interne, p. 8.
- Baize, D., et M.-C. Girard. 2009. Referentiel pedologique 2008. Editions QUAE, Versailles.
- Beven, K.J., et M.J. Kirkby. 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin* 24(1): 43-69.
- Correl, D.L., 1996. Buffer zones and water quality protection: general principles. In: Haycock, N.E., Burt T., Goulding, K., Pinay, G. (Eds.), *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection*. Quest Environmental, Harpenden, pp 7-20.
- Curie, F., S. Gaillard, A. Ducharne, and H. Bendjoudi. 2007. Geomorphological methods to characterise wetlands at the scale of the Seine watershed. *Science of the total environment* 375(1): 59-68.
- Gilliam, J.W., Parsons, J.E., Mikkelsen, R.L., 1997. Nitrogen dynamics and buffer zones. In: Haycock, N.E., Burt, T., Goulding, K., Pinay, G. (Eds.), *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection*. Quest Environmental, Harpenden, UK, pp. 54-61.
- Mazagol, P.-O., R. Martin, J. Porteret, C. Thyriot, et B. Etlicher. 2008. Pre-determination des zones humides sur le bassin Loire-Bretagne. SIG 2008 : Conference francophones ESRI, Versailles : France. 19 pages.
- Merot, P., B. Ezzahar, C. Walter, and P. Aurousseau. 1995. Mapping waterlogging of soils using digital terrain models. *Hydrological Processes* 9(1): 27-34.
- Merot, Ph. 2000. Ty-fon: typologie fonctionnelle des zones humides de fond de vallee en vue de la regulation de la pollution diffuse. Rapport de synthese final programme PNRZH ; INRA, Rennes, p.115.
- Merot, P., H. Squidant, P. Aurousseau, M. Heffting, T. Burt, V. Maitre, M. Kruk, A. Butturini, C. Thenail, and V. Viaud. 2003. Testing a climatological index for predicting wetlands distribution along a European climate gradient. *Ecological Modelling* 163(1): 51-71.
- Merot, P., L. Hubert-Moy, C. Gascuel-Oudou, B. Clement, P. Durand, J. Baudry, et C. Thenail. 2006. A method for improving the management of controversial wetland. *Environmental management* 37(2): 258-270.
- Riviere, J.M., Tico, S, Dupont, C. 1992. Methode tariere Massif armoricain Caracterisation des sols. 24 pages.
- Vorosmarty CJ, McIntyre PB, Gessner MO, Dudgeon D, Prusevich A, et al. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467: 555-561.
- Tiner, R.W. 2009. Wetland Hydrology. 9.778-789. In Editor-in-Chief: Gene E. Likens (ed.), *Encyclopedia of Inland Waters*. Academic Press, Oxford