

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

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

Vol. 7, No. 2, Agustus 2019



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



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember, Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain meliputi teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

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

Dewan Redaksi:

Ketua : Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, IPB University)
Anggota : Abdul Hamid Adom (Scopus ID: 6506600412, University Malaysia Perlis)
(*editorial board*) Addy Wahyudie (Scopus ID: 35306119500, United Arab Emirates University)
Budi Indra Setiawan (Scopus ID: 55574122266, IPB University)
Balasuriya M.S. Jinendra (Scopus ID: 30467710700, University of Ruhuna)
Bambang Purwantana (Scopus ID: 6506901423, Universitas Gadjah Mada)
Bambang Susilo (Scopus ID: 54418036400, Universitas Brawijaya)
Daniel Saputera (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya)
Han Shuqing (Scopus ID: 55039915600, China Agricultural University)
Hiroshi Shimizu (Scopus ID: 7404366016, Kyoto University)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana)
Agus Arif Munawar (Scopus ID: 56515099300, Universitas Syahkuala)
Armansyah H. Tambunan (Scopus ID: 57196349366, IPB University)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, IPB University)
M. Rahman (Scopus ID: 7404134933, Bangladesh Agricultural University)
Machmud Achmad (Scopus ID: 57191342583, Universitas Hasanuddin)
Muhammad Makky (Scopus ID: 55630259900, Universitas Andalas)
Muhammad Yulianto (Scopus ID: 54407688300, IPB University & Waseda University)
Nanik Purwanti (Scopus ID: 23101232200, IPB University & Teagasc Food Research Center Irelandia)
Pastor P. Garcia (Scopus ID: 57188872339, Visayas State University)
Rosnah Shamsudin (Scopus ID: 6507783529, Universitas Putra Malaysia)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin)
Sate Sampattagul (Scopus ID: 7801640861, Chiang Mai University)
Subramaniam Sathivel (Scopus ID: 6602242315, Louisiana State University)
Shinichiro Kuroki (Scopus ID: 57052393500, Kobe University)
Siswoyo Soekarno (Scopus ID: 57200222075, Universitas Jember)
Tetsuya Araki (Scopus ID: 55628028600, The University of Tokyo)
Tusan Park (Scopus ID: 57202780408, Kyungpook National University)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, IPB University)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, IPB University)
Bendahara : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, IPB University)
Anggota : Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, IPB University)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, IPB University)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, IPB University)
Leopold Oscar Nelwan (Scopus ID: 56088768900, IPB University)
I Wayan Astika (Scopus ID: 43461110500, IPB University)
Agus Ghautsun Niam (Scopus ID: 57205687481, IPB University)
Administrasi : Diana Nursolehat (IPB University)

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

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

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

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 7 No. 2 Agustus 2019. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof. Dr. Ir. Bambang Purwantana, M.Agr (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Bayu Dwi Apri Nugroho, PhD (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Ir. Darma, M.Si, Ph.D (Fakultas Pertanian, Universitas Papua), Ir. Siti Mariana Widayanti, M.Si (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian), Prof.Dr.Ir. Tineke Mandang, (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Radite Praeko Agus Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold Oscar Nelwan, MSi (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lenny Saulia, MSi (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Chusnul Arif, S.TP, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor)

Technical Paper

Pendugaan Emisi CO₂ dari Lahan Gambut dengan Menggunakan Model Artificial Neural Network (ANN)

Prediction of Peatland's CO₂ Emissions Using Artificial Neural Network (ANN) Model

Satyanto Krido Saptomo, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, FATETA,
Institut Pertanian Bogor, Indonesia. Email: ddody@yahoo.com

Anna Farida, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, FATETA, Institut Pertanian Bogor, Indonesia.
Email: annafarida.fadsy@gmail.com

Yudi Chadirin, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, FATETA, Institut Pertanian Bogor, Indonesia
Email: gooday926@yahoo.com

Budi Indra Setiawan, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, FATETA,
Institut Pertanian Bogor, Indonesia. Email: budindra@apps.ipb.ac.id

Kazutoshi Osawa, Faculty of Agriculture, Utsunomiya University, Japan.
Email: osawa@cc.utsunomiya-u.ac.jp

Abstract

Peatlands are the most efficient carbon sinks in large volumes. Peatland clearance makes CO₂ emissions released into the air. This study aims to conduct a continuous estimation of CO₂ emissions from peatlands, analyze the influence of the biophysical environment on CO₂ emissions and obtain CO₂ emissions based on measurements of biophysical environmental parameters using ANN model. The CO₂ emissions measurements were performed by closed chamber method using Licor LI-8100 for 60 days. Biophysical environmental parameter measurements were also installed simultaneously. Biophysical environmental parameters measured include soil temperature, soil moisture, and water table depth. The results showed that CO₂ emissions reached 59.82 tonCO₂/ha/year with carbon emissions of 16.314 tonC/ha/year. Peatland CO₂ emissions are influenced by environmental parameters of peat biophysics. Calculations using the ANN model obtained the highest correlation of R² = 0.56 and can be used as a reference to estimate CO₂ emission from peatland in Padang Island.

Keywords: *CO₂ emissions, biophysical environmental parameters, ANN model, soil temperature and moisture, water table*

Abstrak

Lahan gambut merupakan penyimpan karbon yang paling efisien dalam jumlah besar. Pembukaan lahan gambut mengakibatkan emisi CO₂ terlepas ke udara. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan estimasi emisi CO₂ dari lahan gambut secara kontinyu, menganalisis pengaruh lingkungan biofisik terhadap emisi CO₂ dari lahan gambut dan mendapatkan dugaan emisi CO₂ dari lahan gambut berdasarkan hasil pengukuran parameter lingkungan biofisik dengan menggunakan model ANN. Pengukuran emisi karbon dilakukan dengan metode *closed chamber* menggunakan *Licor LI-8100* selama 60 hari. Pengukuran parameter lingkungan biofisik juga dilakukan secara bersamaan dengan pengukuran emisi CO₂. Parameter lingkungan biofisik yang diukur meliputi temperatur tanah, kelembaban tanah, kedalaman muka air tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi CO₂ lahan gambut mencapai 59.82 tonCO₂/ha/tahun dengan emisi karbon adalah 16.314 tonC/ha/tahun. Emisi CO₂ dipengaruhi oleh parameter lingkungan biofisik gambut yaitu suhu tanah, kelembaban tanah dan kedalaman muka air tanah. Perhitungan menggunakan model ANN diperoleh korelasi tertinggi sebesar R² = 0.56 yang menunjukkan bahwa model ANN bisa dijadikan sebagai acuan dalam mengestimasi CO₂ lahan gambut Pulau Padang.

Kata kunci: emisi CO₂, parameter lingkungan biofisik, model ANN, suhu dan kelembaban tanah, muka air tanah

Diterima: 20 Desember 2018; Disetujui: 12 Maret 2019

Pendahuluan

Lahan gambut adalah ekosistem lahan basah yang ditandai dengan akumulasi bahan organik sepanjang periode waktu. Lahan gambut merupakan penyimpan karbon yang paling efisien dalam jumlah yang sangat besar (Waldes dan Page 2008; Jauhiainen et al. 2008). Besarnya Biomassa berkontribusi terhadap penyerapan dan penyimpanan karbon. Bahan tanaman organik tidak terurai di tanah gambut karena kondisi air dan rawa gambut mampu bertindak sebagai penyerap karbon daripada sebagai sumber karbon melalui proses alami (Tawan dan Sulaiman 2008). Dalam keadaan hutan alam karbon tersebut bertahan dalam bentuk bahan organik, namun apabila hutan gambut dibuka dan didrainase maka karbon yang disimpannya akan mudah terdekomposisi dan mengemisikan CO₂.

Sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk dan permintaan terhadap produk pertanian maka kebutuhan akan perluasan lahan pertanian juga meningkat. Hal ini menyebabkan terjadinya pelepasan karbon ke atmosfer yang sebelumnya tersimpan secara stabil dalam jangka waktu yang panjang didalam tanah (Jaenicke dan Siegert 2008; Hooijer et al. 2012; Subowo 2010). Salah satu faktor abiotik terpenting yang mempengaruhi keseimbangan Gambut adalah hidrologi. Curah hujan yang melebihi penguapan adalah parameter pengatur hidrologi utama yang dominan karena evaporasi dan aliran air tanah cukup konstan di lahan gambut tropis yang masih asli. Pengeringan lahan gambut mengurangi kapasitas menahan air, sehingga mempercepat pembentukan kondisi oksik dan kehilangan karbon dari gambut. Emisi CO₂ optimum tersebar di wilayah yang terkena dampak drainase dibandingkan dengan hutan yang tidak dikeringkan. Fluks CO₂ maksimum lebih kecil jika tidak ada masukan bahan organik segar ke dalam gambut (Jauhiainen et al. 2008). Emisi karbon dari lahan gambut sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu iklim, tanah dan hidrologis. Faktor lingkungan yang mempengaruhi besarnya emisi karbon dari lahan gambut adalah suhu, kelembaban, dan muka air tanah. Faktor lingkungan ini bersifat fluktuatif bergantung pada faktor iklim dan hidrologis sehingga menghasilkan emisi karbon dengan fluktuasi yang tinggi. Untuk itu, diperlukan pengukuran emisi karbon secara kontinyu dalam jangka waktu yang panjang sehingga dapat mewakili segala kondisi iklim (musim kemarau dan hujan).

Hasil pengukuran yang kontinyu dalam jangka waktu yang panjang diharapkan mampu menghasilkan nilai akumulasi emisi karbon dalam setahun sehingga dapat dijadikan nilai rujukan emisi yang lebih akurat di lahan gambut. Namun, pengukuran dengan metode ini menggunakan alat cukup mahal sehingga diharapkan model yang dibangun berdasarkan data pengukuran parameter lingkungan biofisik dengan bantuan model seperti *Artificial Neural Network* (ANN) dapat digunakan untuk menduga emisi karbon secara akurat dengan biaya yang murah. Model ANN atau yang

dikenal sebagai Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dalam Bahasa Indonesia ini juga telah digunakan dalam menduga emisi karbon dan gas rumah kaca seperti disajikan oleh (Arif et al. 2015). Tujuan penelitian ini adalah: (1) Melakukan estimasi emisi CO₂ dari lahan gambut secara kontinyu dalam periode waktu panjang; (2) Menganalisis pengaruh lingkungan biofisik terhadap emisi CO₂ dari lahan gambut; (3) Mendapatkan dugaan emisi CO₂ dari lahan gambut berdasarkan hasil pengukuran parameter lingkungan biofisik dengan menggunakan model ANN.

Bahan dan Metode

Alat dan Bahan

Penelitian ini dilaksanakan di lahan gambut terbuka yang terletak di Pulau Padang, yang secara administratif berada di wilayah Kabupaten Kepulauan Meranti, Provinsi Kepulauan Riau. Pengambilan data dalam penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli sampai September tahun 2014.

Alat dan bahan yang digunakan adalah (1) *Automatic Water Level Recorder (AWLR)* dari *Global Water tipe WL16*, digunakan untuk mengukur tinggi muka air tanah/gambut secara realtimes dengan waktu pengamatan yang diatur mengikuti pengukuran emisi karbon. Durasi pengukuran data diatur dengan interval satu jam, (2) *Automatic Rain Gauge (ARG)*, digunakan untuk mengukur intensitas curah hujan otomatis ini dapat diatur dengan interval pengukuran satu jam, (3) Sensor 5-TE, digunakan untuk mengukur temperatur, kelembaban tanah (*volumetric water content*), (4) *Data logger EM 50*, digunakan untuk merekam data hasil pengukuran sensor 5-TE, ARG, AWLR, (5) Licor LI-8100, digunakan untuk mengukur fluks CO₂ dari permukaan tanah secara otomatis dan kontinyu. Alat ini terdiri dari *gas analyzer* dan *chamber*. Emisi karbon yang masuk ke dalam *chamber* akan dialirkan ke bagian *gas analyzer* untuk dianalisa kandungan CO₂. Durasi dan interval pengukuran dapat diatur dengan program komputer, dalam penelitian ini diatur LI-8100 akan mengukur setiap jam dengan ulangan 3 kali, (6) *Genset*, digunakan untuk sumber energi *recharge* baterai yang digunakan sebagai energi untuk LI-8100, (7) *Ring sampel*, digunakan untuk mengambil contoh tanah di lokasi pengukuran emisi karbon, (8) Baterai kering 9 volt, digunakan sebagai catu daya untuk EM50, AWLR dan ARG.

Metode Pengukuran dan Pengolahan Data

Pengukuran emisi karbon dilakukan dengan metode *closed chamber* menggunakan Licor LI-8100 untuk mengukur emisi karbon secara otomatis untuk periode yang panjang. Licor LI-8100 diinstal di lokasi pengukuran yang merupakan lahan gambut terbuka yang sekaligus berfungsi sebagai lokasi stasiun pemantau cuaca dilahan konsensi hutan tanaman industri di Pulau Padang. Pada prinsipnya Licor LI-8100 terdiri dari dua bagian yaitu *chamber* dan *analyzer*

control unit. Lokasi pengukuran yang dipilih adalah lokasi yang datar dan telah dibersihkan permukaan lahannya. Seluruh peralatan dipasang secara bersamaan pada suatu tempat yang relatif aman dari gangguan dan Licor LI-8100 ini dihubungkan dengan komputer menggunakan *software* LI-800 *Automatic soil CO₂ flux system* untuk pengaturan kondisi pengukuran yaitu durasi pengukuran, interval pengukuran, dan cara menyimpan data hasil pengukuran. Interval pengukuran akan diatur sehingga Licor LI-8100 akan melakukan pengukuran sebanyak 3 kali setiap jam selama 24 jam dalam periode pengukuran. Data hasil pengukuran akan dipindahkan ke komputer untuk dilakukan analisis dan pengolahan data.

Perubahan konsentrasi Gas CO₂ di dalam *chamber* selanjutnya dapat dikonversi menjadi fluks gas CO₂ (gCO₂m⁻²s⁻¹) dengan rumus berikut :

$$Fluks\ CO_2 = gCO_2m^{-2}s^{-1} = \frac{44 \times 273.15 \times \frac{\Delta c}{\Delta t} \times 10^{-6} \times V}{0.0224 \times (273.15 + T) \times A}$$

Keterangan:

- V = Volume udara dalam collar (m³)
- $\frac{\Delta c}{\Delta t}$ = perubahan konsentrasi gas (m³ m⁻³ h⁻¹)
- A = Luas area collar (m²)
- 1 ppmV (CO₂) = 10⁻⁶ (m³CO₂/m³Air)
- 1 mol (CO₂) = 0.0224 (m³CO₂) pada kondisi standar (0°C dan 1 atm)
- 1 mol (CO₂) = $\frac{44 \times 273.15}{0.0224 \times (273.15 + T)}$ (m³CO₂) pada kondisi T(°C)
- 1 mol (CO₂) = 44 (gCO₂)
- 1 (m³CO₂) = $\frac{0.0224 \times (273.15 + T)}{273.15}$ (gCO₂)

Akumulasi emisi CO₂ tersebut kemudian dapat dihitung dengan menghitung luas di bawah kurva fluktuasi emisi dalam satu hari, misalnya dengan pendekatan luas trapesium. Total akumulasi emisi

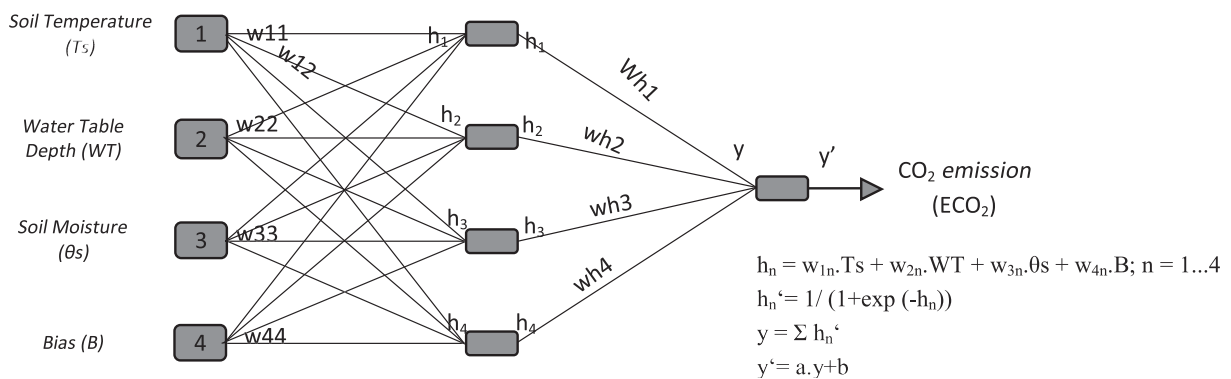
pada waktu pengukuran dapat diperoleh dengan menjumlahkan emisi harian yang diperoleh.

Pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran parameter lingkungan biofisik yang diinstal secara bersamaan dengan pengukuran emisi CO₂. Parameter lingkungan biofisik yang diukur meliputi temperatur tanah, kelembaban tanah, kedalaman muka air tanah (muka air tanah) dan intensitas curah hujan dengan menggunakan sensor 5-TE, mps, AWLR, dan ARG. Sensor 5-TE diletakkan pada kedalaman 10 cm dibawah permukaan tanah. Sensor tersebut akan dihubungkan dengan *data logger* EM50 untuk merekam data hasil pengukuran. Pengaturan kondisi lingkungan dilakukan dengan menghubungkan *data logger* EM50 dengan komputer menggunakan *software* ECH20 *utility*. Interval pencatatan data dilakukan setiap jam. Data hasil pengukuran lingkungan biofisik akan digunakan untuk menganalisa pengembangan sistem model matematika untuk menduga besarnya emisi karbon. Hubungan setiap parameter fisika gambut terhadap emisi karbon dapat dianalisis dengan mengembangkan model ANN (Gambar 1).

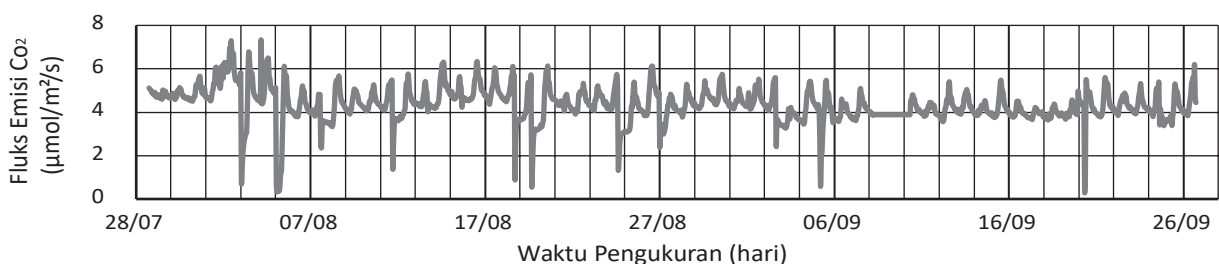
Hasil dan Pembahasan

Emisi Karbon Lahan Gambut

Pengukuran emisi karbon lahan gambut dilakukan di Pulau Padang yang merupakan stasiun *monitoring, reporting* dan *verification* (stasiun MRV). Pengukuran ini dilakukan pada satu titik pengukuran di lahan terbuka tanpa tutupan vegetasi dengan permukaan yang relatif datar. Pengukuran dilakukan selama 2 bulan secara kontinyu dari tanggal 28 Juli 2014 sampai 26 September 2014. Hasil pengukuran emisi karbon disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 2.



Gambar 1. Model Artificial Neural Network CO₂ flux.



Gambar 2. Fluks emisi CO₂ lahan gambut Pulau Padang.

Hasil pengukuran emisi karbon menunjukkan fluks emisi yang fluktuatif terhadap waktu tertentu pada saat pengukuran dilakukan dengan rata-rata CO₂ yang diemisikan sebesar 4.37 μmol/m²/s. Selama pengukuran, fluks CO₂ tertinggi terjadi pada tanggal 2 agustus jam 11.00 WIB dengan fluks sebesar 7.303 μmol/m²/s. Kondisi fluks maksimum terjadi pada suhu 32.78°C dengan kelembaban sebesar 0.226 m³/m³. Sedangkan untuk fluks CO₂ terendah terjadi pada tanggal 5 agustus jam 02.00 WIB dengan fluks sebesar 0.34 μmol/m²/s. Kondisi fluks minimum terjadi pada suhu 23.7°C dengan kelembaban 0.289 m³/m³. Jumlah karbon yang diemisikan selama pengukuran adalah 996.958 gCO₂/m²/2 bulan atau jika dikonversi selama setahun menjadi 59.82 tonCO₂/ha/tahun sehingga emisi karbon yang diemisikan ke atmosfer dari lahan gambut adalah 16.314 tonC/ha/tahun .

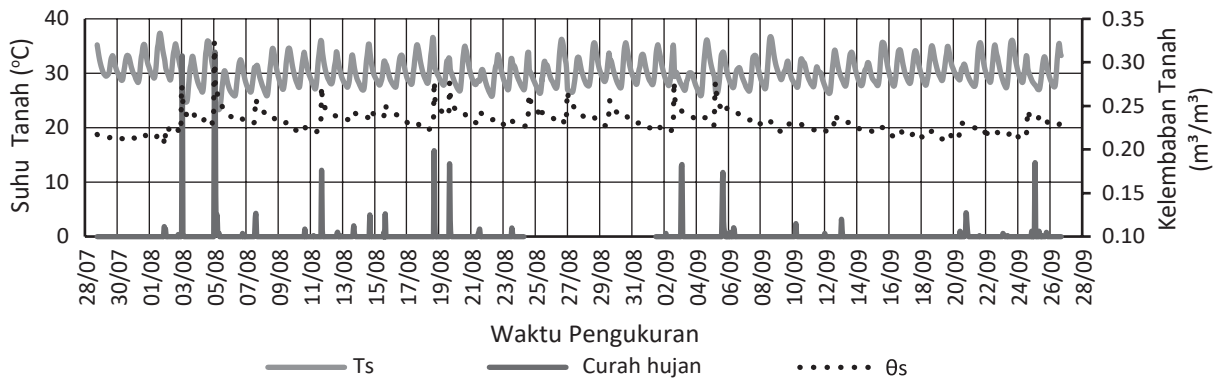
Emisi CO₂ yang dihasilkan menunjukkan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan beberapa penelitian emisi di lahan gambut yang menyebutkan bahwa besaran emisi yang dikeluarkan per tahun mencapai 178 tonCO₂/ha/tahun (Adeolu et al. 2015), 171 – 252 tonCO₂/ha/tahun (Setiawan 2014) dan Chadirin (2016) menyebutkan bahwa emisi lahan gambut sebesar 62.25 tonCO₂/ha/tahun. Berdasarkan nilai maksimum dan minimum fluks CO₂ yang dihasilkan selama pengukuran dilakukan maka dapat diprediksi emisi CO₂ maksimum dan minimum yang diemisikan lahan gambut ke atmosfer. Emisi CO₂ maksimum dapat mencapai 101,340 tonCO₂/ha/tahun dengan emisi karbon sebesar 27.638 tonC/ha/tahun. Emisi CO₂ minimum dapat mencapai 4.718 tonCO₂/

ha/tahun dengan emisi karbon sebesar 1.287 tonC/ha/tahun.

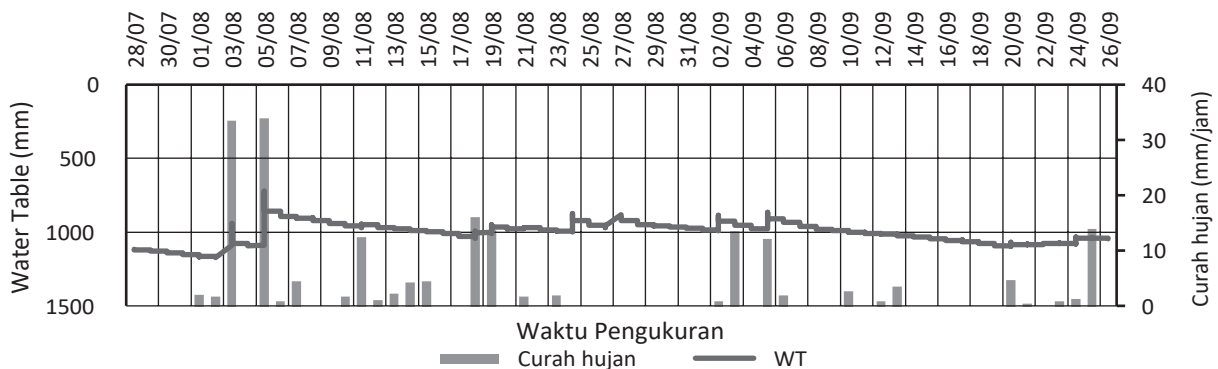
Hubungan Parameter Lingkungan Biofisik dengan Emisi Karbon

Parameter lingkungan biofisik yang diukur pada penelitian ini meliputi suhu tanah, kelembaban tanah dan tinggi muka air tanah. Pengukuran dilakukan pada kedalaman 10 cm. Faktor lingkungan biofisik tanah sangat dipengaruhi oleh iklim mikro yang terjadi di lokasi pengukuran seperti curah hujan yang akan mempengaruhi secara langsung dan signifikan keadaan suhu tanah, kelembaban tanah dan tinggi muka air tanah. Hubungan curah hujan terhadap suhu tanah (Ts), kelembaban tanah (θs) dan muka air tanah (*water table* atau WT) disajikan dalam grafik pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Hasil pengukuran menunjukkan fluktuasi yang terjadi pada suhu dan kelembaban tanah akibat terjadinya hujan. Curah hujan memiliki korelasi positif terhadap kelembaban tanah dan berkorelasi negatif terhadap suhu tanah. Pada saat hujan terjadi, kelembaban akan naik dan suhu akan menurun. Suhu tanah berkisar antara 23.32°C – 37.37°C dengan kelembaban tanah berada di kisaran 0.323 m³/m³ - 0.205 m³/m³. Suhu tanah terendah terukur pada saat hujan sudah berhenti, hal ini disebabkan oleh penurunan suhu akan terjadi seiring dengan terjadinya hujan dan memerlukan waktu untuk mencapai titik terendahnya. Sedangkan suhu tertinggi terjadi pada saat sore hari dengan kondisi tidak terjadinya hujan baik sebelum atau sesudahnya. Pencahayaan



Gambar 3. Pengaruh Curah hujan terhadap Suhu dan kelembaban Tanah.



Gambar 4. Pengaruh Curah hujan terhadap muka air tanah.

dari matahari dapat meningkatkan suhu tanah dan menurunkan kelembaban tanah akibat penguapan sehingga tanah menjadi lebih kering (Hanafiah 2005). Curah hujan tertinggi terjadi pada jam 2 siang tanggal 5 agustus dengan curah hujan yang terukur sebesar 33.6 mm/jam. Namun kelembaban tertinggi (0.323 m³/m³) justru terjadi pada jam satu siang dengan curah hujan 30.4 mm/jam. Hal ini dapat terjadi karena hujan yang turun pada jam 1 siang langsung membasahi tanah dengan kuantitas yang besar sehingga tanah dengan mudah menyerap air dan membuat kelembaban yang terukur di kedalaman 10 cm menjadi sangat besar. Air akan terinfiltrasi kelapisan tanah yang semakin dalam dengan kurun waktu tertentu, sehingga pada jam selanjutnya kelembaban tanah akan menurun dan merata di sepanjang area pengukuran.

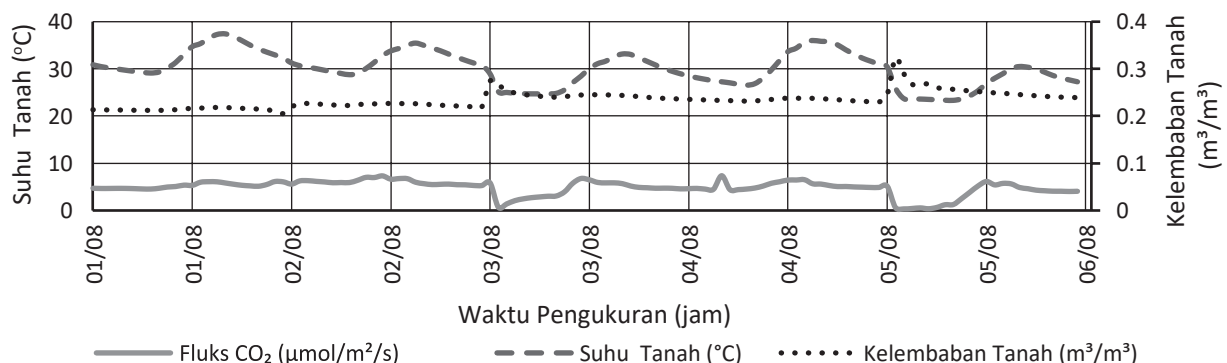
Gambar 4 menunjukkan bahwa curah hujan meningkatkan tinggi muka air tanah, yang berarti bahwa tanah yang jenuh semakin tinggi dan mendekati permukaan tanah paling atas. Pada saat sebelum terjadi hujan, tinggi muka air tanah berada di kedalaman 1.174 m dari permukaan tanah dan mengalami kenaikan air tanah menjadi 0.941 m dari permukaan tanah pada saat terjadinya hujan. Hubungan antara Emisi CO₂ dengan suhu dan kelembaban tanah disajikan pada Gambar 4. Sedangkan hubungan antara Emisi CO₂ dan muka air tanah disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa emisi memiliki reaksi yang sangat fluktuatif terhadap perubahan suhu tanah dan kelembaban tanah. Umumnya, emisi akan naik pada siang hari dan turun pada malam hari atau saat terjadinya hujan. Hal ini membuktikan bahwa intensitas cahaya matahari dan curah hujan sangat berpengaruh terhadap respirasi tanah yang mengemisikan CO₂. Intensitas matahari dan curah hujan secara langsung mempengaruhi suhu dan kelembaban tanah. Suhu dan kelembaban mempengaruhi secara langsung emisi CO₂ yang dikeluarkan lahan gambut. Pada tanggal 3 jam 00.00 WIB dan tanggal 5 jam 00.00-02.00 WIB. Ketika Suhu turun dan kelembaban naik akibat terjadinya hujan, maka emisi menurun. Begitu juga sebaliknya yang terjadi pada tanggal 3 jam 02.00-12.00 ketika hujan berhenti dan lokasi pengukuran mendapatkan radiasi matahari yang menyebabkan suhu naik maka emisi CO₂ juga naik. Emisi tertinggi terjadi pada suhu

32.7°C dan kelembaban tanah 0.226 m³/m³. Dari Hasil pengolahan data ditemukan bahwa pada kondisi normal tanpa adanya hujan, emisi CO₂ akan mulai mengalami kenaikan dari suhu 29°C sampai puncaknya di suhu 32.7°C kemudian emisi CO₂ akan turun kembali sampai suhu maksimum yang terukur 37°C. Suhu tanah akan mempengaruhi kelembaban tanah karena terjadinya evaporasi, aerasi, aktivitas mikroorganisme tanah dalam proses enzimatik dan dekomposisi serasah atau sisa tanaman serta ketersediaan hara-hara tanaman. Aktivitas ini sangat terbatas pada suhu dibawah 10°C, laju optimum aktivitas biota tanah terjadi pada suhu 18-30°C. Pada proses kehidupan mikroorganisme tanah secara langsung juga dipengaruhi oleh suhu tanah (Hanafiah 2005).

Fenomena ini menegaskan bahwa emisi CO₂ memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan suhu namun berbanding terbalik dengan kelembaban. Emisi CO₂ akan meningkat pada kondisi suhu yang tinggi dan kelembaban tanah yang cukup untuk terjadinya respirasi tanah dan aktivitas mikroorganisme. Hasil ini sejalan dengan beberapa penelitian yang pernah dilakukan oleh para peneliti yang menyimpulkan bahwa emisi CO₂ sangat dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban tanah (Chadirin *et al.* 2016; Martins *et al.* 2016; Fenn *et al.* 2010; Astiani *et al.* 2016). Selain suhu dan kelembaban tanah, beberapa penelitian juga menyatakan bahwa adanya pengaruh antara muka air tanah dengan emisi CO₂ (Limin *et al.* 2008; Astiani *et al.* 2016; Hooijer *et al.* 2010; Page 2008; Sabiham 2010).

Hasil pengukuran (Gambar 6) menunjukkan emisi CO₂ yang terjadi sangat fluktuatif pada keadaan muka air tanah yang cenderung stabil. Namun ketika terjadi penurunan kedalaman muka air tanah secara signifikan dari 1089.5 mm ke 941.25 mm hingga mendekati permukaan tanah pada tanggal 3 Agustus jam 01.00 WIB karena adanya hujan sebesar 33.2 mm/jam mengakibatkan emisi CO₂ menurun secara signifikan dari 5.827 μmol/m²/s menjadi 0.69 μmol/m²/s. Keadaan yang sama juga terjadi pada tanggal 5 Agustus jam 20.00 WIB. Hal ini terjadi karena penurunan kedalaman muka air tanah mendekati permukaan tanah yang ditandai dengan kecilnya kedalaman tanah yang tak jenuh membuat ruang gerak respirasi tanah dan mikroorganisme tanah menjadi semakin sedikit. Penurunan kedalaman muka air tanah juga



Gambar 5. Hubungan Emisi CO₂ dengan suhu dan kelembaban tanah.

memperdalam zona permukaan oksida gambut, sehingga meningkatkan ketersediaan substrat CO₂ dan melepaskan proses dekomposisi. Lapisan gambut bagian atas yang tidak jenuh dengan air dan bersifat oksik dapat mendukung aktivitas biologis, sedangkan lapisan di bawahnya tergenang air dan anoksik. Batas oksik-anoksik bergeser akibat fluktuasi tabel air, saat tabel air diturunkan, lapisan oksida menjadi semakin dalam dari permukaan tanah dan proses dekomposisi akan meningkat (Astiani et al. 2016).

Pada lahan gambut terbuka, emisi CO₂ meningkat secara berurutan 20%, 56%, 100% dan 162% Pada kedalaman muka air tanah yang meningkat dari 10, 20, 30 dan 40 cm. (Astiani et al. 2016). Proses pengeringan dan pembasahan lahan gambut mempengaruhi stabilitas asam organik, yang ditunjukkan oleh hilangnya C melalui pelepasan CO₂ dan CH₄. Perubahan status hidrologi di lahan gambut mendorong dekomposisi aerobik yang menyebabkan peningkatan emisi CO₂ sementara, pada saat bersamaan, keasaman dan nutrisi dilepaskan. (Limin et al. 2008).

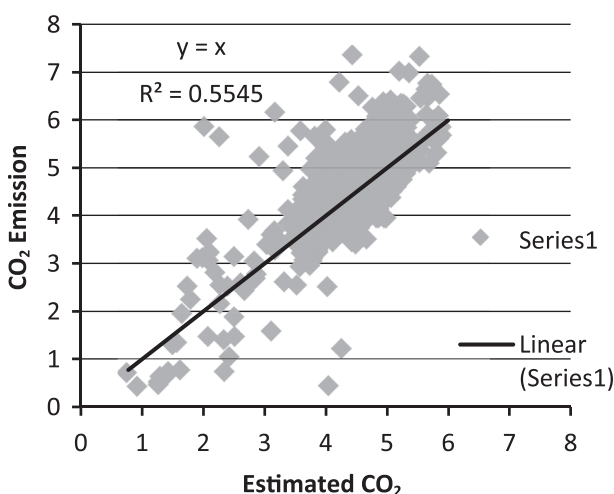
Muka air tanah merupakan batas antara permukaan jenuh dan tak jenuh di dalam tanah. pada kondisi alami, muka air tanah menutup permukaan tanah sehingga gambut terakumulasi dari tanaman selama lebih dari 100 tahun. namun ketika lahan gambut di drainase untuk keperluan pertanian menyebabkan terjadinya penurunan muka air tanah dan subsidensi lahan pada permukaan gambut sehingga menyebabkan emisi CO₂ keluar ke atmosfer, apabila drainase dilanjutkan maka akan terjadi dekomposisi gambut kering dan beresiko terjadinya kebakaran dan emisi CO₂ diproduksi lebih banyak. Pada akhirnya, sebagian besar karbon yang tersimpan dilahan gambut akan berubah menjadi emisi karbon yang dikeluarkan ke atmosfer (Hooijer et al. 2010).

Dugaan emisi karbon dengan menggunakan ANN

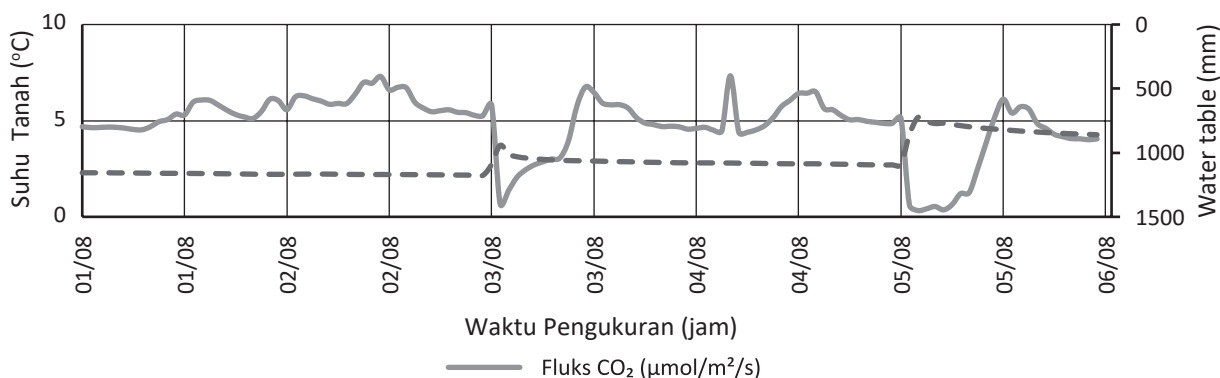
Hubungan setiap parameter fisika gambut terhadap emisi CO₂ dapat dianalisis dengan mengembangkan Model *Artificial Neural Network* (ANN) atau Jaringan Saraf Tiruan. ANN merupakan kumpulan elemen pemrosesan, unit atau node sederhana yang saling berhubungan dan fungsinya didasarkan pada sistem saraf manusia. Model ANN untuk memprediksi emisi

CO₂ yang terjadi di lahan gambut telah dikembangkan oleh beberapa peneliti Setiawan (2014), Chadirin et al. (2016). Setiawan (2014) menggunakan parameter fisika gambut yaitu suhu tanah, kelembaban tanah dan daya hantar listrik tanah sebagai variabel dalam penentuan emisi sedangkan Chadirin (2016) menggunakan parameter suhu tanah, kelembaban tanah dan curah hujan (*rainfall*).

Model ANN pada penelitian ini menggunakan parameter lingkungan biofisik yaitu suhu tanah, kelembaban tanah dan muka air tanah dimasukkan sebagai variabel untuk menentukan emisi CO₂ lahan gambut di pulau padang. Kedalaman muka air tanah merepresentasikan luas ruang yang tersedia di lahan gambut yang diprediksi dapat berpengaruh terhadap besarnya emisi CO₂ lahan gambut. Hasil estimasi emisi CO₂ berdasarkan parameter lingkungan biofisik kemudian disandingkan dengan hasil pengukuran lapangan (Gambar 8). Hasil perhitungan menggunakan model ANN dioptimasi sampai menunjukkan nilai korelasi yang cukup tinggi dengan emisi pada saat pengukuran. Hasil korelasi tertinggi yang diperoleh sebesar R² = 0.5545 yang menunjukkan bahwa hasil perhitungan ANN dengan emisi pengukuran memiliki korelasi yang cukup baik namun kemungkinan masih ada faktor lain yang mempengaruhi dan harus diperhitungkan dalam pendugaan emisi dengan ANN. Model ANN yang telah diperoleh ini kemudian



Gambar 7. Garfik Model ANN terhadap CO₂ fluks lahan gambut.

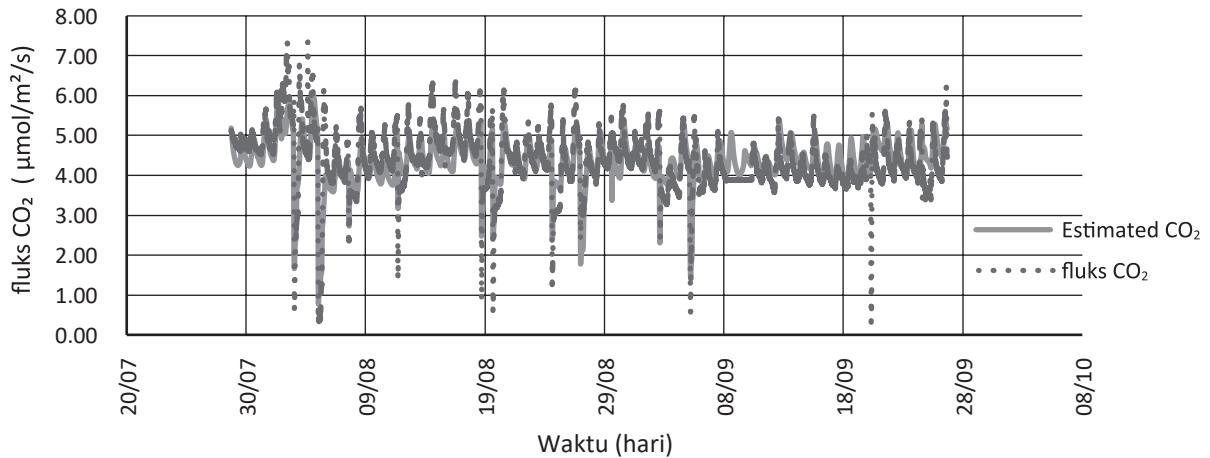


Gambar 6. Hubungan emisi CO₂ dengan muka air tanah.

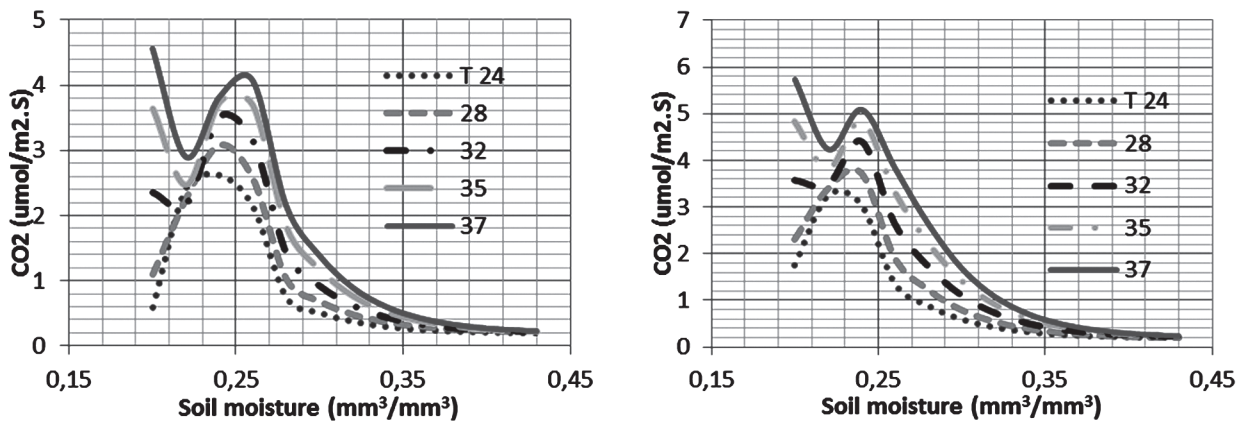
digunakan untuk mengestimasi CO₂ lahan gambut di Pulau Padang dengan lebih cepat.

Pada Gambar 10 terlihat bahwa hasil estimasi dengan perhitungan model ANN tidak berbeda jauh dengan fluks CO₂ yang diukur di lapangan. Model ANN menghasilkan monograf hubungan suhu dan kelembaban tanah terhadap emisi CO₂ pada kedalaman muka air tanah minimum, medium dan maksimum berdasarkan hasil pengukuran dilapangan yaitu 720 mm, 950 mm dan 1180 mm (Gambar 9 a, b dan c).

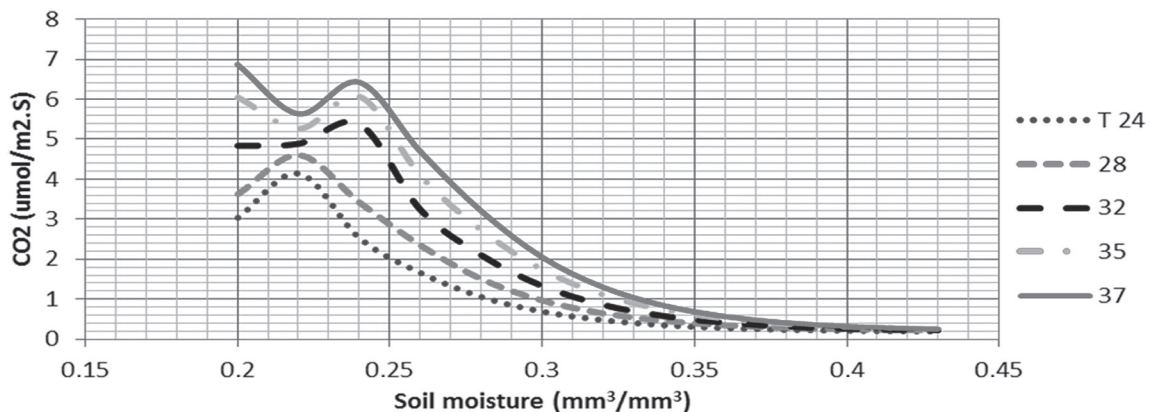
Monogram ini dihasilkan berdasarkan rentang data hasil pengukuran di lapangan. Sehingga apabila tidak ada data yang mendukung maka ANN tidak dapat mengestimasi emisi yang terjadi sehingga perhitungan ANN tidak berlaku. Kondisi ini terjadi pada rentang suhu 32-37°C dengan kelembaban 0.200-0.220 m³/m³, prediksi emisi CO₂ perhitungan model ANN ini tidak berlaku karena tidak ada data yang mendukung adanya rentang suhu dengan kelembaban tersebut dilapangan. Kondisi ini juga berlaku untuk setiap rentang muka air tanah. Gambar 9 a, b dan c



Gambar 8. Hasil estimasi Emisi CO₂ dan Fluks CO₂ pengukuran lapangan.



Gambar 9 . Model ANN dengan kedalaman muka air tanah 720 mm (a) dan 950 mm (b).



Gambar 9c. Model ANN dengan kedalaman muka air tanah maksimum (1180 mm)

memperlihatkan bahwa emisi CO₂ pada kedalaman muka air tanah tertentu berfluktuasi mengikuti keadaan suhu dan kelembaban. Semakin besar kedalaman muka air tanah maka semakin besar pula emisi maksimum yang dihasilkan. Emisi maksimum pada muka air tanah 720 mm, 950 mm dan 1180 mm masing masing mencapai 4.1 µmol/m²/s, 5.1 µmol/m²/s dan 6.9 µmol/m²/s pada suhu maksimum. Emisi bergerak naik pada rentang kelembaban 0.220 sampai 0.250 kemudian kembali turun dengan meningkatnya kelembaban. Dari monogram ini dapat disimpulkan bahwa emisi bergerak naik pada kedalaman muka air tanah yang tinggi dengan suhu maksimum dan rentang kelembaban tertentu.

Simpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa emisi CO₂ lahan gambut Pulau Padang diperkirakan mencapai 59.82 tonCO₂/ha/tahun sehingga emisi karbon yang diemisikan lahan gambut adalah 16.314 tonC/ha/tahun. Emisi CO₂ lahan gambut dipengaruhi oleh parameter lingkungan biofisik gambut yaitu suhu tanah, kelembaban tanah dan kedalaman muka air tanah. Emisi CO₂ akan meningkat pada kondisi suhu yang tinggi dan kelembaban tanah yang cukup untuk terjadinya respirasi tanah dan aktivitas mikroorganisme. Muka air tanah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap emisi karbon dari gambut dengan lebih banyak CO₂ yang dilepaskan pada kedalaman muka air tanah yang semakin jauh dari permukaan. Hasil perhitungan menggunakan model ANN diperoleh korelasi tertinggi yang sebesar R² = 0.5545 dan model ANN dapat dijadikan sebagai acuan untuk mengestimasi CO₂ lahan gambut di Pulau Padang dengan lebih ekonomis.

Daftar Pustaka

Arif, Chusnul, B.I. Setiawan, S. Widodo, - Rudiyanto, N.A. Iswati Hasanah, and M. Mizoguchi. 2015. "Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan untuk Menduga Emisi Gas Rumah Kaca dari Lahan Sawah dengan Berbagai Rejim Air." *Jurnal Irigasi* 10(1):1.

Astiani, D., Burhanuddin, T. Muhammad, dan L.M. Curran. (2016). Effect of Water table Level on Soil CO₂ Respiration in West Kalimantan Forested and Bare Peatland: an Experimental Stage. *Nusantara Bioscience*: 201-206.

Chadirin, Y., S.K. Saptomo, Rudiyanto, dan K. Osawa. (2016). Lingkungan Biofisik dan Emisi Gas CO₂ Lahan Gambut untuk Produksi Biomassa yang Berkelanjutan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*: 146-151.

Fenn, K.M., Y. Malhi and M.D. Morecroft. (2010). Soil CO₂ efflux in a temperate deciduous forest: Environmental drivers. *Elsevier*: 1685-1693.

Hanafiah, K.A. 2005. *Dasar-Dasar Ilmu tanah*. Raja Grafindo Persada, Jakarta.

Hooijer, A., J. Jauhiainen, W. Lee, X. Lu, A. Idris, and G. Anshari. (2012). Subsidence and Carbon Lost in Drained Tropical Peatlands. *Biogeosciences*: 1053-1071.

Hooijer, A., S. Page, J.G. Canadell, M. Silvius, J. Kwadijk, H. Wosten, and J. Jauhiainen. (2010). Current and future CO₂ Emission From Drained peatlands In Southeast Asia. *Biogeoscience*: 1505-1514.

Jauhiainen, J., H. Silvennoinen, S. Limin, and H. Vasander. (2008). Effect of Hydrological Restoration on Degraded Tropical Peat Carbon Fluxes. *Restoration of Tropical Peatland*: 111-117.

Jaenicke, J., and F. Siegert. (2008). Monitoring Restoration Measures in Tropical Peatlands Using Radar Satellite Imagery: 142-147.

Limin, S.H., E. Yunsiska, K. Kitso, and S. Alim. (2008). Restoration of Hydrological Status as The Key to Rehabilitation of Damaged Peatland in Central Kalimantan: 117-124.

Martins, C., C. Macdonald, I. Anderson, and B. Singh. (2016). Feedback responses of soil greenhouse gas emissions to climate change are modulated by soil characteristics in dryland ecosystems. *Soil Biology & Biochemistry*; 21-32.

Page, S., and J. Rieley. (2008). Overview of the need for restoration and rehabilitation of tropical peatland and review of the contents of this book. Dalam J. R. Henk Wosten, *Restoration of tropical peatlands*. Wageningen: Alterra; 13-18

Sabiham, S. (2010). Properties of Indonesia Peat in Relation to The Chemistry of Carbon Emission. *International Workshop on Evaluation and Sustainable Management of Soil Carbon Sequestration in Asian Countries*. Bogor; 205-216

Setiawan, B.I., dan Mustafiril. (2014). *Pendugaan Karbon Di Atas Permukaan Tanah*. Aceh. Universitas Syiah Kuala.

Subowo, G. (2010). Strategi Efisiensi Penggunaan Bahan Organik Untuk Kesuburan. *Jurnal Sumberdaya Lahan* Vol. 4 No. 1;13-25.

Tawan, C.S, I.B. Ipor, and W.H. Wan Sulaiman. (2008). Floral Diversity Of The Peat Swamp Forest Of Sarawak. *Restoration of Tropical Peatlands*; 39-44.

Waldes, N., and S. Page. (2008). Unlocking the natural resource function on tropical peatlands: Understanding the nature and diversity of peat swamp forest vegetation as a foundation for vegetation restoration studies. *environmental journals*; 30-38.

Technical Paper

Desain dan Kinerja Mesin Ekstruder *Twin Screw* untuk Pembuatan Pakan Ikan Terapung

Design and Performance of Twin Screw Extruders for Producing Floating Fish Feed

Arif Rahman Hakim, Loka Riset Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan, Badan Riset dan Sumberdaya Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Email: arifrahmanh11@gmail.com
Wahyu Tri Handoyo, Loka Riset Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan, Badan Riset dan Sumberdaya Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Email: wahyu.th@gmail.com
Ahmat Fauzi, Loka Riset Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan, Badan Riset dan Sumberdaya Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Email: ahmat.fauzi@gmail.com
Widiarto Sarwono, Loka Riset Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan, Badan Riset dan Sumberdaya Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Email: widiarto06@gmail.com

Abstract

Production of floating fish feed independently by fish farmer group currently constrained with types of extruders available. Single screw extruders used fail to produce floating fish feed. It caused by the extrusion process is not optimal due to either temperature or improper screw speed. An alternative solution is using extruder twin screw with temperature and screw speed can be controlled. The objective of the study is developing and assessing of twin screw extruder performance in producing floating fish feed. Principle work of extruders is conveying and mixing feed stuff to the dies under high temperature and pressure. The main component of extruder consists of a motor drive, screw, barrel, heater, dies, and cutter. Evaluation of extruder performance involve temperature, screw speed, engine power, and quality of feed produced that are floatability and unit density. The result of design and assessment are obtained prototype of twin screw extruders which have capacity 10,93 kg/h, stability temperature and screw speed, the power requirement is 5,17 kW, specific mechanical energy 136,11 kJ.kg⁻¹. Produced fish feed have floatability 96% and unit density 0,620 (g/cm³).

Keywords: *Fish feed, floating, extruder, twin screw*

Abstrak

Pembuatan pakan ikan terapung secara mandiri oleh kelompok pembudidaya saat ini terkendala jenis ekstruder yang tersedia. Ekstruder *single screw* yang digunakan belum bisa menghasilkan pakan ikan terapung. Karena proses ekstrusi yang tidak optimal baik disebabkan suhu maupun putaran *screw* yang tidak tepat. Sebagai alternatif ialah dengan menggunakan ekstruder *twin screw* dengan suhu dan putaran yang bisa dikontrol. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan menguji kinerja ekstruder *twin screw* dalam memproduksi pakan ikan terapung. Prinsip kerja dari ekstruder adalah mendorong dan mengaduk bahan pakan menuju *dies* dalam kondisi tekanan dan panas yang tinggi. Komponen utama ekstruder terdiri dari motor penggerak, *twin screw*, *barrel*, element pemanas, *dies* dan pemotong. Pengujian kinerja meliputi suhu, kecepatan *screw*, daya mesin serta kualitas pakan yang dihasilkan berupa daya apung dan unit density. Hasil desain dan pengujian diperoleh mesin ekstruder dengan kapasitas 10,93 kg/jam, suhu dan putaran *screw* stabil saat dioperasikan, kebutuhan daya sebesar 5,17 kW, *specific mechanical energy* 136,11 kJ.kg⁻¹. Pakan ikan yang dihasilkan memiliki daya apung 96 % dan unit density 0,620 (g/cm³).

Kata Kunci: *Pakan ikan, terapung, ekstruder, twin screw*

Diterima: 26 Desember 2018; Disetujui: 19 Maret 2019

Latar Belakang

Harga pakan ikan terus mengalami kenaikan. Hal ini salah satunya disebabkan karena permintaan yang juga terus naik selain faktor kenaikan harga bahan baku (tepung ikan). Sebagai salah satu cara mengatasi dampak negatif dari kenaikan pakan bagi para pembudidaya ikan Pemerintah menggulirkan Program Gerakan Pakan Ikan Mandiri. Dengan program ini para pembudidaya ikan diharapkan mampu memproduksi pakan ikan secara mandiri sehingga bisa menekan biaya pengadaan pakan (DJPB, 2015).

Pakan ikan dibagi menjadi 2 jenis yaitu pakan ikan tenggelam dan pakan ikan terapung. Pakan jenis terapung memiliki keunggulan dibandingkan pakan ikan tenggelam diantaranya pencernaan lebih tinggi, mudah dikontrol jumlah pemberiannya dan tidak menyebabkan kualitas air kolam menurun (Kurniawan & Lestariadi, 2017; Yaqoob, et al 2010; Gunadi dkk, 2010). Tetapi dalam proses pembuatannya pakan terapung lebih kompleks dibandingkan pakan tenggelam. Penyebabnya ialah pakan terapung diperlukan proses ekstrusi yang tepat agar pakan bisa membentuk struktur pori sehingga bisa mengapung (Purwasasmita & Roland, 2008).

Ekstruder sebagai mesin utama dalam proses ekstrusi harus didesain sedemikian rupa sehingga mampu menghasilkan pakan ikan terapung yang berkualitas. Oleh karenanya ekstruder harus bisa menyediakan kondisi suhu, tekanan dan pengadukan yang optimal. Mesin ekstruder yang banyak beredar dikelompok-kelompok budidaya ikan adalah ekstruder dengan ulir tunggal (*single screw*), yang sebagian besar sumber panasnya berasal dari gesekan antara bahan dan selongsong (*barrel*) dari ekstruder. Panas tersebut sulit dikontrol akibatnya bisa kurang panas maupun terlalu panas yang keduanya akan menghambat pembentukan pakan terapung dan bisa juga menyebabkan bahan tidak bisa dialirkan *screw* karena terlalu kering sehingga mesin akan macet. Sedangkan mesin ekstruder jenis ulir ganda (*twin screw*) memiliki beberapa kelebihan dibandingkan jenis *single screw* yaitu proses gesekan antara bahan dan *barrel* bisa dikurangi dan pengadukan lebih homogen (Adekola, 2016; Evon, et al. 2009; Harold et al. 2005).

Penelitian terkait aplikasi ekstruder *twin screw* dalam pengolahan pakan dan pangan sudah banyak dilakukan. Senanayake & Clarke (1999) merancang mesin ekstruder *twin screw* untuk memproduksi *snack*

berbahan pisang dan beras. Philipp, et al, (2017) yang melakukan penelitian pembuatan *snack* berprotein tinggi menggunakan mesin *twin screw* ekstruder. Demikian juga Budijanto dkk (2012) mengaplikasikan mesin ekstruder *twin screw* untuk pembuatan sereal dari bekatul. Penelitian lain seperti Purwasasmita dan Roland (2008); Draganovica et al (2011); Samuelsen et al (2018), melakukan pengujian kualitas pakan ikan yang diproduksi menggunakan mesin ekstruder *twin screw*, belum membahas performansi mesin yang digunakan.

Lebih lanjut, dari penelitian-penelitian tersebut belum ada yang spesifik mendesain dan mengkonstruksi ekstruder untuk produksi pakan terapung dan uji kinerjanya terhadap mutu pakan yang dihasilkan. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah membuat ekstruder *twin screw* dengan kapasitas 10 kg/jam melalui perhitungan rancangan desain, konstruksi dan pengujian mesin yang digunakan untuk membuat pakan ikan terapung.

Bahan dan Metode

Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan adalah peralatan-peralatan dalam konstruksi mesin ekstruder dan peralatan uji kinerja ekstruder yaitu timbangan analitik Fujitsu HTR 220, Thermometer Lutron TM-946 probe tipe K/J, tachometer digital SE-100 Sanwa, kaliper Sigmat-Vernier dan tang ampere Sanwa DCM2000DR.

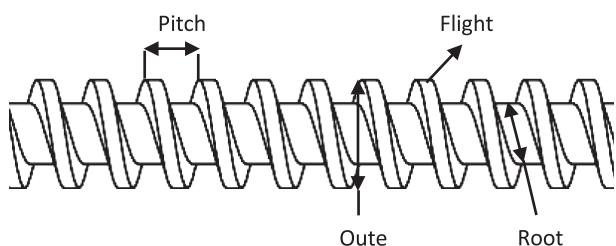
Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari bahan pembuatan mesin dan bahan untuk pengujian. Bahan pembuatan mesin terdiri dari besi kanal U ukuran 65x40x3 mm, plat besi/baja karbon S45C ketebalan 10 dan 20 mm, plat stainless steel 304 ketebalan 1 dan 1,5 mm, stainless steel 304 ukuran lebar x tebal 205 x 45 mm, as stainless steel 304 diameter ϕ 1,5 inch (38,1 mm), plat Al-05 ukuran lebar dan tebal 70x55 dan 50x15 mm, motor listrik 2 phase 7,5 kW, inverter 7,5 kW, motor listrik dan *speed reducer* 18-280 rpm, sensor dan kontrol temperatur, elemen pemanas. Bahan penyusun pakan yang dibuat meliputi tepung ikan, tepung kedelai, tepung jagung dan tepung tapioka.

Rancangan Fungsional

Ekstruder dirancang untuk memproduksi pakan ikan terapung melalui proses ekstrusi. Ekstruder ditargetkan mencetak pakan dengan ukuran diameter 3-5 mm dan berat jenis pakan lebih kecil dari 1 g/cm³. Fungsi dari setiap bagian mesin dapat dilihat pada Tabel 1.

Rancangan Struktural Screw

Bagian utama dari ekstruder ialah *screw*. *Screw* dibuat ganda (*twin*) yang berputar secara berlawanan (*counter rotating*). *Screw* harus mampu mendorong dan menekan bahan baku supaya membentuk padatan.



Gambar 1. Bagian-bagian *screw*.

Tabel 1. Rancangan fungsional.

Fungsi utama	Sub Fungsi	Komponen
Mencetak pakan berdiameter 3-5 mm dan berat jenis pakan lebih kecil dari 1 g/cm ³	Memutar, mengalirkan, mengaduk dan menekan bahan dari hopper menuju dies dalam selongsong /barrel	<i>Screw</i>
	Menahan tekanan akibat gerakan screw dan bahan	<i>Barrel</i>
	Membentuk sifat fisik pakan meliputi densitas, rasio pengembangan, tekstur permukaan dan ukuran serta bentuk	<i>Dies</i>
	Memutar <i>screw</i>	Sistem penggerak
	Menaikkan dan mengatur suhu barrel	Pemanas dan sensor suhu

Oleh karena itu material *screw* harus kuat, tidak mudah terdeformasi dan patah. Material *screw* yang digunakan adalah as stainless steel 304 diameter ϕ 1,5 inch (38,1 mm). Kapasitas sebuah mesin ekstruder ditentukan oleh ukuran *screw* yang meliputi diameter *outer* dan *root*, *pitch* serta lebar *flight* (Gambar 1). Oleh karena penentuan target kapasitas ekstruder diawali dengan perhitungan dimensi *screw*.

Target kapasitas mesin ekstruder pada penelitian ini ialah 9-11 kg/jam. Perhitungan kapasitas *screw* dalam mengalirkan bahan menggunakan persamaan 1 dibawah ini:

$$Q = BH(2\pi - \alpha)DNp \tag{1}$$

Keterangan simbol:

- N = kecepatan putar *screw* (rpm)
- α = *overlap angle of screw flights* (derajat)
- H = tinggi *flight* (mm)
- Q = aliran massa (mm³/min)
- B = lebar *channel* (mm)
- p = *pitch* (mm)
- D = diameter *outer screw* (mm)

Selanjutnya dibuat dimensi *screw* berdasarkan target kapasitas tersebut. Detail dimensi *screw* terlihat pada Gambar 2. sebagai berikut:

Barrel

Barrel adalah selongsong dari *screw* yang harus mampu menahan tekanan akibat gerakan *screw* dan bahan. Tekanan dalam *barrel* tidak diketahui secara pasti sehingga dibutuhkan nilai asumsi untuk menentukan ketebalan dan jenis bahan dari *barrel*. Nilai asumsi bisa berdasarkan literatur maupun dari mesin ekstruder komersial yang memiliki bahan yang sama. Menurut Harper (1979) tekanan pada *barrel*

di mesin ekstruder komersial bisa mencapai 17 MPa (2500 psi) tetapi juga bisa berbeda tergantung panjang *screw* dan bahan yang digunakan. Pada penelitian ini diasumsikan maksimal tekanan yang akan terjadi ialah 10 MPa.

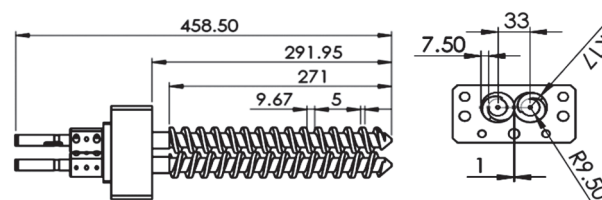
Oleh karena itu bahan yang dipilih berupa baja balok SUS 304 dengan ketebalan 19-20 mm dari silinder *screw* sedangkan ukuran panjang dan lebar *barrel* adalah 278 mm dan 200 mm. Detail desain *barrel* bisa dilihat pada gambar 3. *Barrel* didesain menjadi dua bagian yaitu bagian atas dan bawah yang dilengkapi dengan engsel supaya dapat dibuka dengan tujuan agar *screw* mudah dibersihkan.

Dies

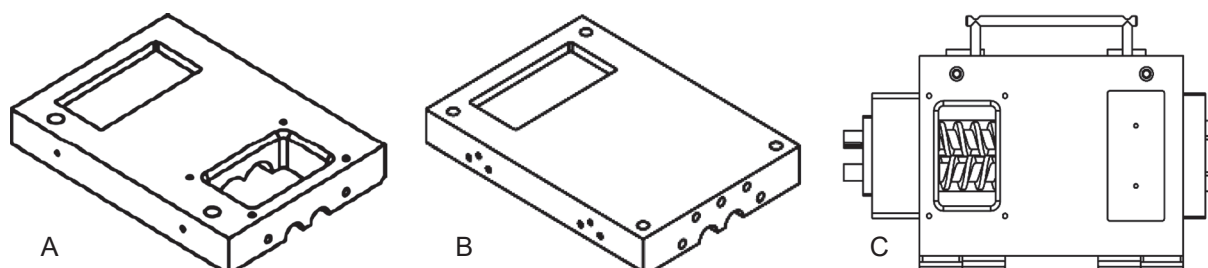
Lubang keluaran atau disebut *Dies* berperan penting dalam membentuk sifat fisik pakan. Saat produk keluar dari *dies*, tekanan dan temperature akan turun dengan tiba-tiba sehingga menyebabkan produk cenderung mengembang. *Dies* dibuat dengan bentuk kerucut, hal ini berujuan agar bahan yang mengalir dari ujung *screw* bisa dengan lancar menuju lubang *dies*. Lubang *dies* memiliki diameter 3 mm dengan jumlah lubang sebanyak 8 buah.

Sistem penggerak

Mesin *twin screw* ekstruder dilengkapi motor sebagai penggerak. Sistem penggerak yang digunakan



Gambar 2. Dimensi *screw*.



Gambar 3. *Barrel* atas (A), *barrel* bawah (B), *barrel* gabungan (C).

berupa motor listrik 3 phase jenis induksi MA132MA 4 - 7.5 kW-50 Hz-1450 rpm dengan inverter WJ200 7.5 kW sebagai pengatur putaran. Untuk mentransmisikan daya motor penggerak ke *twin screw* digunakan *coupling* dan *gear set* yang menghubungkan antara as motor dengan as *screw*. Kebutuhan energi pada motor sebagai sistem penggerak sangat bervariasi tergantung dari bahan yang diolah serta kondisi proses yang diterapkan. Pada penelitian Senanake & Clarke (1999), menyebutkan bahwa kebutuhan energi motor untuk kapasitas mesin ekstruder *twin screw* 10 kg/ jam adalah 2.2 kW. Sedangkan penelitian Muthukumarappan and Karunanithy (2000) menggunakan Persamaan 2. untuk menghitung kebutuhan energi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kebutuhan daya mesin ekstruder sebesar 6.84 kW kemudian diperhitungkan faktor keselamatan dan ketersediaan motor sehingga diperoleh nilai 7.5 kW.

$$P = \tau \pi^2 D^2 N L \quad (2)$$

Dimana

P = power (W)

τ = shear stress (N.m⁻²)

D = diameter screw (m)

N = screw speed (rpm)

L = panjang screw (m)

Pemanas dan sensor suhu

Proses pembuatan pakan terapung dibutuhkan proses pemasakan yang optimal. Sehingga dibutuhkan alat yang mampu meningkatkan suhu *barrel* sesuai dengan kebutuhan. Alat tersebut ialah elemen pemanas listrik tipe plat (*heater plate*). Pemanas dipasang pada *barrel* atas dan *barrel* bawah dan diletakkan pada bagian ujung atau di bagian yang dekat dengan *dies*. *Heater plate* yang digunakan mampu menaikkan suhu hingga 200°C.

Sensor suhu untuk zona pemanasan menggunakan jenis *Thermo Couple* : *Standard Part* – 200°C 2 buah, letak *thermocouple* berada pada *barrel* bagian atas dan bawah dengan jarak 10 mm dari *screw*. Selanjutnya untuk mengatur suhu ditambahkan kontrol temperatur

jenis *Autonics*, TCN4M. Gambar keseluruhan mesin ekstruder tersaji pada gambar 4 sebagai berikut.

Metode Pengujian dan Analisis Data Pengujian

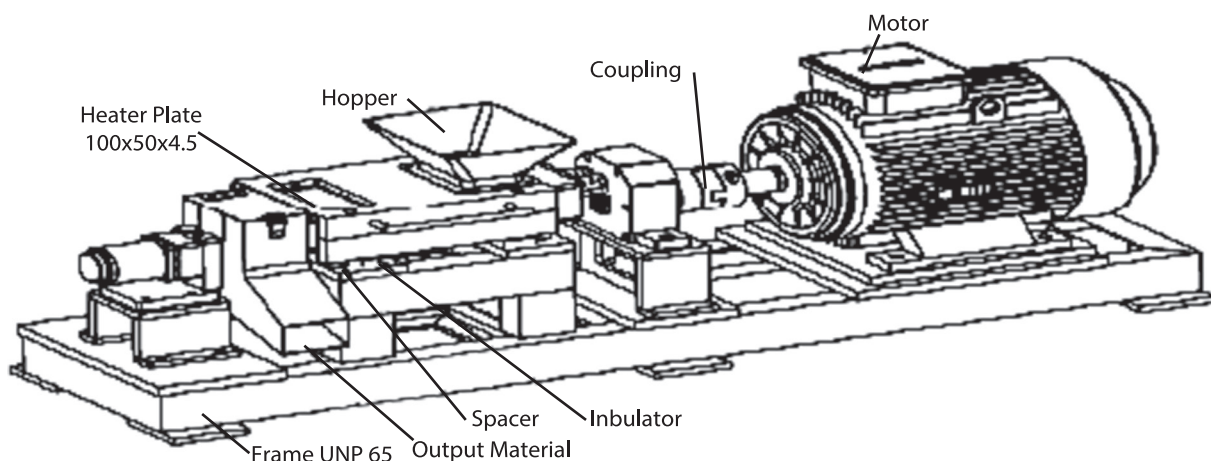
Pengujian mesin ekstruder meliputi pengukuran daya, suhu dan kestabilan putaran *screw* selama proses pembuatan pakan. Pengukuran daya menggunakan persamaan berikut :

$$Daya\ total = 1.73 \times Voltase \times Arus \times \cos\theta \quad (3)$$

Jala-jala listrik atau voltase yang dipakai sebesar 220 volt dan arus diukur menggunakan Tang amper yang dicatat setiap menit dan nilai $\cos\theta$ motor sebesar 0.84. Selanjutnya parameter suhu diukur menggunakan thermometer digital dengan *thermocouple* diletakkan didalam *barrel* bagian atas dan bawah berjarak 10 mm dari *screw*. Berikutnya parameter kecepatan *screw* diukur menggunakan alat *Tachometer digital*, bagian atau titik yang diukur putarannya adalah putaran poros motor.

Beban yang digunakan ialah formula pakan yang terdiri dari tepung ikan (38%), bungkil kedelai (22%), tepung jagung (22%) dan tepung tapioka (18%) dengan berat total 5 kg. Kemudian bahan tersebut ditambahkan air sebanyak 25%. Kondisi ekstruder diatur pada suhu 100 °C dan kecepatan *screw* 600 rpm (20 Hz).

Pengoperasian ekstruder sebagai berikut: sistem kelistrikan ekstruder dinyalakan melalui kontrol panel, kemudian diatur suhu *barrel* atas dan bawah, setelah suhu tercapai putaran *screw* diatur sesuai kebutuhan. Formula pakan yang telah ditambahkan air dan homogen dimasukkan melalui *hopper* lalu diproses dalam *screw* dan dikeluarkan melalui *dies* yang berdiameter 3 mm berjumlah 8 buah. Pakan ikan yang keluar dari lubang *dies* dalam bentuk padatan langsung dipotong oleh pisau pemotong yang ditempatkan pada permukaan *dies*. Kecepatan putaran pisau pemotong dan kerapatan dengan permukaan *dies* berpengaruh terhadap panjang pendeknya ukuran pellet yang dihasilkan. Oleh karena itu kecepatan putaran pisau



Gambar 4. Mesin ekstruder *twin screw*

pemotong harus disesuaikan dengan kecepatan ekstrusi. Pisau pemotong digerakkan dengan motor DC yang dapat diatur kecepatannya sehingga bisa diperoleh pakan dengan ukuran tertentu. Pakan yang dihasilkan berbentuk bulat dengan diameter 3-4 mm.

Selanjutnya, untuk mengetahui performansi mesin dan kualitas pakan yang dihasilkan dilakukan uji dengan beberapa variasi suhu dan kecepatan putar *screw*. Mesin ekstruder diatur pada suhu *barrel* 80, 90, 100, 110 dan 120°C dan putaran *screw* 480, 540, 600 dan 660 rpm. Setelah suhu *barrel* tercapai sesuai perlakuan tersebut, formula dimasukkan ke ekstruder melalui *hopper*. Pakan yang dihasilkan selanjutnya dikeringkan. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali.

Parameter yang diamati meliputi unit density (g/cm³), daya apung (%), kapasitas mesin (kg/jam) dan *specific mechanical energy*/SME (kJ.kg⁻¹). Data yang diperoleh dianalisa menggunakan software Minitab 17. Persamaan untuk perhitungan parameter adalah sebagai berikut:

Unit density. Penentuan unit density berdasarkan Rosentrater *et al* (2009) sebagai berikut 10 butir pakan yang sudah kering masing-masing diukur panjang dan diameternya menggunakan penggaris kaliper lalu ditimbang beratnya menggunakan timbangan digital. Rata-rata berat massa pelet dibagi volume merupakan nilai dari unit density.

$$\text{Unit density} = \frac{\text{berat pelet (g)}}{\text{volume pelet (mm}^3\text{)}} \quad (4)$$

Daya apung. 20 butir pelet dituang kedalam 1000 ml beaker glass berisi 800 ml aquades pada suhu ruang. Jumlah pakan yang masih terapung (NF) selama 30 menit dibandingkan jumlah pelet awal (de Cruz *et al*, 2015). dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Daya apung} = \frac{NF}{20} \times 100 \quad (5)$$

Kapasitas mesin. 1 kg bahan pembuat pakan dimasukkan mesin ekstruder kemudian waktu dihitung hingga semua bahan masuk ekstruder. Kemudian semua pelet yang terbentuk ditimbang.

$$\text{Kapasitas mesin} = \frac{\text{berat pelet yang terbentuk (kg)}}{\text{waktu yang dibutuhkan (jam)}} \quad (6)$$

Specific Mechanical Energy. SME adalah energi yang dikonsumsi oleh motor per satuan berat bahan. Dalam menghitung SME, harus dihitung dulu data kecepatan putar *screw* (n) dalam rpm, torsi motor (T) dan aliran massa bahan (MFR) dalam Kg/jam. Persamaan yang digunakan menurut Zhang *et al*. 2015 adalah sebagai berikut

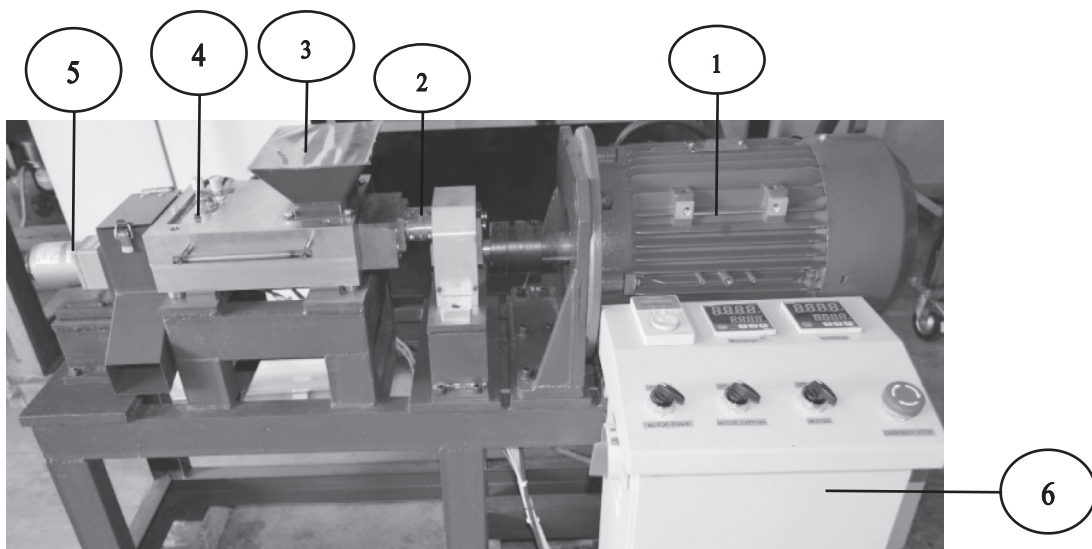
$$\text{SME} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{Kg}} \right) = \frac{2\pi \times n \times T}{\text{MFR}} \quad (7)$$

Hasil dan Pembahasan

Konstruksi Ekstruder Hasil Rancangan

Konstruksi ekstruder *twin screw* untuk pembuat pakan ikan terapung telah selesai dikerjakan (Gambar 5). Komponen utama ekstruder terdiri dari motor penggerak (1), *coupling as* motor dan *screw* (2), *hopper* (3), *barrel screw* elemen pemanas (4), *dies* (5), motor dan pisau pemotong (6) serta kontrol panel (6).

Prinsip kerja mesin ini ialah bahan baku pakan dialirkan melalui *barrel screw* dalam tekanan dan suhu tinggi lalu keluar melalui *dies* dan membentuk pelet dengan diameter 3-4 mm dan perpori. Kapasitas mesin adalah 10.93 kg/jam Jenis *screw* berupa ulir ganda (*twin*) dengan gerakan *counter rotating* putaran bisa mencapai 700 rpm. Motor penggerak yang digunakan adalah motor AC 7.5 kW. Pemanas yang diletakkan pada ujung *barrel* atas dan bawah mampu menaikkan suhu hingga 200°C.



Gambar 5. Rancangbangun mesin ekstruder *twin screw*.

Tabel 2. Performansi mesin ekstruder dan kualitas pakan

Perlakuan	Kapasitas (kg/jam)	SME (KJ.kg ⁻¹)	Daya Apung (%)	Unit Density (g/cm ³)
Putaran <i>Screw</i> (rpm)	480	7.35 ± 0.50 b	234.14 ± 5.52 a	30.00 ± 5.00 c
	540	9.56 ± 1.18 ab	178.02 ± 2.93 b	50.00 ± 5.00 b
	600	10.11 ± 0.43 ab	140.55 ± 3.10 c	95.28 ± 2.93 a
	660	10.93 ± 1.95 a	136.11 ± 4.48 c	96.00 ± 3.61 a
Suhu (°C)	80	8.41 ± 0.28 b	170.62 ± 7.27 bc	92.93 ± 2.30 a
	90	9.92 ± 0.37 a	165.19 ± 6.58 c	94.45 ± 0.63 ab
	100	9.94 ± 0.73 a	166.61 ± 6.58 c	95.28 ± 2.93 ab
	110	9.15 ± 0.14 ab	187.20 ± 12.24 b	96.25 ± 3.75 ab
	120	9.27 ± 1.24 b	213.01 ± 15.84 a	98.50 ± 1.32 b

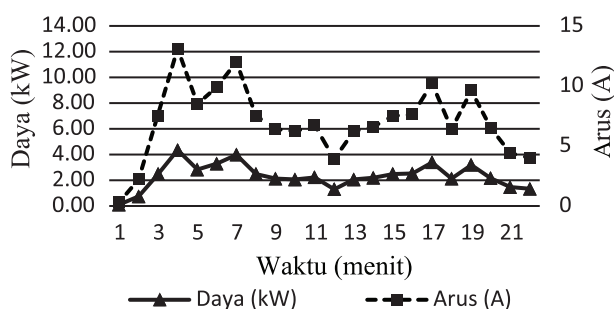
Pengujian

Hasil pengujian besaran daya dan arus listrik selama proses pengoperasian ditampilkan pada Gambar 6. Berdasarkan grafik tersebut nilai rata-rata arus sebesar 6.97 Ampere dan daya 2.31 Kilowatt sedangkan nilai maksimal untuk arus ialah 15.60 Ampere dan daya sebesar 5.17 Kilowatt.

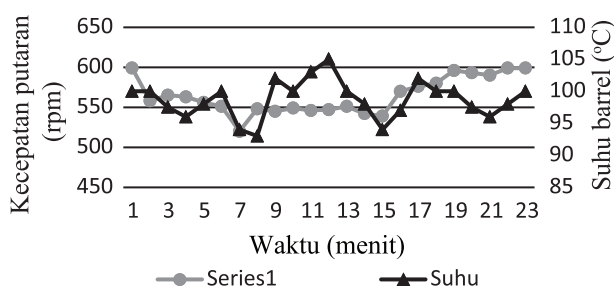
Sedangkan grafik kecepatan putaran *screw* dan suhu ditunjukkan pada Gambar 7. Putaran *screw* diatur pada frekuensi 20 Hz (600 rpm) dan selama proses ekstrusi bahan, putaran *screw* mengalami fluktuasi yaitu maksimal 599 rpm, minimal 520 rpm dan rata-rata 555.24 rpm. Suhu *barrel* tercatat maksimal 98.74°C, minimal 93°C dan rata-rata 98.74 °C.

Performansi mesin dan kualitas pakan

Dari hasil pengujian ekstruder dengan beberapa perlakuan diperoleh nilai kapasitas dan SME mesin serta nilai kualitas pakan meliputi unit density dan daya apung. Detail hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 2.



Gambar 6. Nilai arus dan daya ekstruder selama proses,



Gambar 7. Kecepatan putaran *screw* dan suhu *barrel* selama proses.

Kapasitas

Kapasitas ekstruder hasil perancangan dalam memproduksi pakan adalah sebesar 7.35 – 10.93 kg/jam. Perubahan kecepatan putaran *screw* menghasilkan nilai kapasitas ekstruder yang berbeda. Semakin cepat atau tinggi putaran *screw* akan diperoleh nilai kapasitas yang semakin besar pula. *Screw* yang berputar lebih cepat akan mendorong bahan menuju *dies* lebih cepat dan akan terjadi sebaliknya. Menurut Wei *et al* (2013), kecepatan putaran *screw* sangat mempengaruhi laju aliran bahan selain juga akan berpengaruh pada tingkat homogenitas bahan. Putaran *screw* yang lebih tinggi akan menghasilkan laju aliran bahan yang semakin besar.

Pada perlakuan suhu *barrel* yang berbeda, kapasitas tertinggi dihasilkan pada suhu *barrel* 100°C yaitu 9.94 Kg/jam. Pola kapasitas yang dihasilkan ialah pada suhu 80°C kapasitasnya hanya sebesar 8.41 Kg/jam, kemudian kapasitas naik hingga pada suhu 100°C dan mulai turun kembali pada suhu 110 dan 120°C. Dalam suhu *barrel* dibawah 90°C bahan pakan yang diolah belum mengalami proses gelatinisasi sempurna. Bahan yang mengalami gelatinisasi sempurna akan bersifat licin karena amilosa dalam pati meleleh dan membentuk larutan/cairan kental sebelum menjadi gel. Cairan inilah yang menyebabkan bahan mudah terdorong ke *dies*. Namun bila panas semakin tinggi (110°C) sebagian bahan akan mengalami matang berlebih dan mengeras sehingga gesekan bahan dengan *barrel* menjadi besar akibatnya bahan akan lambat terdorong menuju *dies*. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Ji *et al* (2017) tentang pengaruh tekanan dan suhu terhadap derajat gelatinisasi senyawa pati. Disebutkan bahwa molekul pati pada proses gelatinisasi mulai meleleh pada suhu 80°C kemudian berlanjut hingga suhu 100°C setelah itu cairan kental dari pati tersebut akan semakin mengeras karena suhu yang semakin tinggi akan menyebabkan air bebas dalam larutan/cairan menguap.

SME

Berdasarkan data pada Tabel 2. Nilai SME ekstruder cenderung turun dengan meningkatnya kecepatan putar *screw*. Menurut Zhang *et al* (2015) SME ekstruder dipengaruhi oleh konfigurasi *screw*, putaran *screw*, torsi motor dan laju aliran bahan / kapasitas.

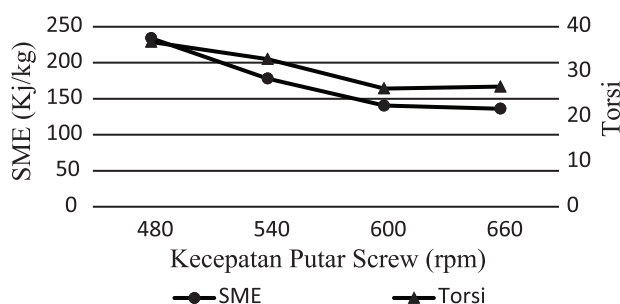
Dalam penelitian ini putaran *screw* tidak memberikan pengaruh besar dibandingkan dengan perubahan kapasitas, sehingga putaran *screw* yang tinggi dengan nilai kapasitas yang tinggi akan menurunkan nilai SME. Hal ini juga disebabkan akibat nilai torsi yang kecil ketika putaran *screw* tinggi sehingga nilai SME menjadi kecil (Gambar 8).

Perbedaan suhu *barrel* mempengaruhi nilai SME mesin ekstruder. Pada perlakuan suhu 80, 90 dan 100°C, nilai SME-nya tidak berbeda nyata dengan nilai 170.62 - 166.61 KJ.Kg⁻¹. Kemudian SME naik pada perlakuan suhu 110 dan 120°C dengan nilai sebesar 187.20 dan 213.01 KJ.Kg⁻¹. Tren tersebut dipengaruhi oleh perubahan suhu *barrel* yang berimbas pada kapasitas lalu menyebabkan perubahan nilai SME. Suhu yang terlalu tinggi mengakibatkan kapasitas rendah sehingga SME naik.

Daya apung

Parameter utama kualitas pakan yang diamati dalam penelitian ini adalah daya apung. Dalam proses ekstrusi bahan mengalami pemanasan, pengadukan dan tekanan yang tinggi sehingga pada saat keluar dari *dies* bahan akan mengembang akibat adanya perubahan tekanan dan suhu yang tiba-tiba. Uap air diantara matrik penyusun pakan akan menguap dan membentuk pori-pori dalam matrik sel yang ditinggalkan (Ayadi *et al*, 2011). Pori-pori inilah yang menyebabkan pakan bisa mengapung dalam air. Berdasarkan data pada Tabel 2. Perlakuan perbedaan kecepatan putaran *screw* berpengaruh nyata pada daya apung. Daya apung tertinggi pada perlakuan putaran 660 rpm (96.00 ± 3.61%) dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan 600 rpm (95.28 ± 2.93%). Hal ini disebabkan karena pada putaran yang tinggi menghasilkan tekanan yang lebih tinggi (Emin *et al*, 2016). Tekanan tersebut menyebabkan bahan bisa mengembang maksimal saat melewati *dies*. Putaran *screw* yang tinggi menyebabkan tekanan dalam *screw* meningkat yang menyebabkan bahan akan mengembang dan membentuk pori saat keluar dies (Wei *et al*, 2013).

Peningkatan suhu dalam ekstruder menyebabkan peningkatan daya apung. Daya apung terendah pada perlakuan suhu 80°C yaitu 92.93 ± 2.30 (%) sedangkan tertinggi pada perlakuan suhu 120°C yaitu 98.50 ± 1.32 (%). Menurut Kamarudin *et al* (2018),



Gambar 8. Hubungan kecepatan putar screw, torsi dan SME.

pakan ikan terapung karena terbentuknya porositas akibat tekanan dan suhu yang tinggi saat proses dan ukuran pori akan semakin besar jika suhu dinaikkan.

Unit density

Unit density pakan yang dihasilkan ialah $0.620 \pm 0.04 - 0.782 \pm 0.03$ (g/cm³). Pada kecepatan *screw* yang lebih tinggi akan menghasilkan unit density pakan yang lebih rendah. Putaran *screw* yang cepat menghasilkan pakan dengan pori lebih besar karena bahan mampu mengembang lebih besar. Hal ini akibat tekanan yang lebih kuat dibandingkan tekanan pada putaran *screw* yang rendah dalam proses ekstrusi. Hasilnya berat jenis pakan yang didapatkan menjadi lebih kecil. Hasil serupa juga disampaikan oleh Rosentrater *et al* (2009) bahwa peningkatan kecepatan *screw* akan menurunkan *unit density*.

Kenaikan suhu pada ujung *screw* menyebabkan penurunan unit density pakan. *Unit density* terendah pada perlakuan suhu 120°C yaitu 0.497 ± 0.04 (g/cm³) dan berbeda signifikan dengan *unit density* terendah pada perlakuan suhu 80°C yaitu 0.674 ± 0.05 (g/cm³). De cruz *et al* (2015) mengemukakan bahwa peningkatan suhu dari 125 - 175°C pada ujung *screw* ekstruder menyebabkan penurunan *density* pakan ikan. Demikian juga disebutkan oleh Gonzales *et al* (2013) bahwa peningkatan suhu hingga 182.8°C akan meningkatkan derajat pemasakan yang menghasilkan produk dengan *density* rendah.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pakan ikan terapung bisa diproduksi menggunakan mesin ekstruder *twin screw*. Dengan komponen utama terdiri dari motor penggerak, *twin screw*, *barrel*, elemen pemanas, *dies* dan pemotong.
2. Dalam produksi pakan, kebutuhan daya maksimal sebesar 5.17 kW, kecepatan putar *screw* optimal 600 rpm, suhu *barrel* optimal 100°C, kapasitas terendah 7.35 kg/jam dan tertinggi 10.93 kg/jam, SME terendah 136.11 kJ.kg⁻¹ dan tertinggi 234.14 kJ.kg⁻¹.
3. Pakan ikan yang dihasilkan memiliki daya apung terendah 30.00% dan tertinggi 98.50%, *unit density* 0.497 - 0.782 g/cm³.

Daftar Pustaka

- Adekola, K.A. 2016. Engineering Review Food Extrusion Technology and Its Applications. Journal of Food Science and Engineering. Vol 6:149-168.
- Ayadi, F.Y., K.A. Rosentrater., K. Muthukumarappan., M.L. Brown. 2011. Twin-screw extrusion processing of distillers dried grains with solubles (DDGS)-based Yellow Perch (*Perca flavescens*) Feeds. Food Bioprocess Technol. Vol 5: 1963-1978.

- Budijanto, S., A.B. Sitanggang., H. Wiaranti., B. Koesbiantoro. 2012. Pengembangan Teknologi Sereal Sarapan Bekatul dengan Menggunakan Twin Screw Extruder. *J. Pascapanen*. Vol 9(2): 63 – 69.
- De Cruz, C.R., M.S. Kamarudin., C.R. Saad., E.R. Fard. 2015. Effects of extruder die temperature on the physical properties of extruded fish pellets containing taro and broken rice starch. *Anim. Feed Sci. Technol*. Vol 199: 137–145.
- Draganovica, V., A.J. Goot., R. Boom., J. Jonkers. 2011. Assessment of the effects of fish meal, wheat gluten, soy protein concentrate and feed moisture on extruder system parameters and the technical quality of fish feed. *Animal Feed Science and Technology*. Vol 165: 238–250.
- DJPB (Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya). 2015. Gerpari untuk Indonesia Mandiri. *Buletin Akuakultur Indonesia*. No 13 (2).
- Emin, M.A., T. Teumer., W. Schmitt., M. Radle., H.P. Schuchmann. 2016. Measurement of the true melt temperature in a twin-screw extrusion processing of starch based matrices via infrared sensor. *Journal of Food Engineering*. Vol 170: 119-124.
- Evon, P.H., V. Vandenbossche., P.Y. Pontalier., L. Rigal. 2009. Aqueous extraction of residual oil from sunflower press cake using a twin-screw extruder: Feasibility study. *Industrial Crops and Products*. Vol 29: 455–465.
- Gonzales, R.J., E.P. Cavada., V.J. Pena., R.L. Torres., M.D. De Greef., S.R. Drago. 2013. Extrusion conditions and amylose content affect physicochemical properties of extrudates obtained from brown rice grain. *International Journal Food Science*. Vol 58:41-48.
- Gunadi, B., R. Febrianti., Lamanto. 2010. Keragaan Kecernaan Pakan Tenggelam dan Terapung untuk Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*) dengan dan Tanpa Aerasi. *Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakulture*.
- Harold, F.G. Jr., Jr. R.W. John., M. M. Eldridge. 2005. *Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook*. William Andrew Publishing. Norwich. New York. USA
- Harper, J.M. 1979. Food extrusion. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr*. 11, 155–215.
- Ji, Z., L.Yu., H. Liu., X. Bao., Y. Wang., L. Chen. 2017. Effect of pressure with shear stress on gelatinization of starches with different amylose/amylopectin ratios. *Food Hydrocolloids*. Vol 72: 331-337
- Kamarudin, M.S., C.R. de Cruz., C.R. Saad, N. Romano., E.R. Fard. 2018. Effects of extruder die head temperature and pre-gelatinized taro and broken rice flour level on physical properties of floating fish pellets. *Animal Feed Science and Technology*, 236: 122–130
- Kurniawan, A., R.A. Lestariadi. 2017. Induction Of Fish Pellet Making Machine To Improve Feed Community Program In Catfish Farmers In Mojokerto Regency. *Journal of Innovation and Applied Technology*. Vol 3 (01): 433-438.
- Philipp, C., I. Oey., P. Silcock., S.M. Beck., R. Buckow. 2017. Impact of protein content on physical and microstructural properties of extruded rice starch-pea protein snacks. *Journal of Food Engineering*. Vol 212: 165-173.
- Purwasasmita, B.S dan P. H. Roland. 2008. Sintesa, karakterisasi dan fabrikasi material berpori untuk aplikasi pelet apung (*Floating Feed*). *Jurnal Bionatura*. Vol 10 (1): 13-28.
- Rosentrater, K.A., K. Muthukumarappan, S. Kannadhasan. 2009. Effects of ingredients and extrusion parameters on aquafeeds containing DDGS and potato starch. *Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition*. Vol 1(1): 22-38.
- Samuelsen, T.A., A. Oterhals., K. Kousoulaki. 2018. High lipid microalgae (*Schizochytrium sp.*) inclusion as a sustainable source of n-3 long-chain PUFA in fish feed—Effects on the extrusion process and physical pellet quality. *Animal Feed Science and Technology*. Vol 236: 14–28.
- Senanayake, S.A.M.A.N.S., Clarke, B. 1999. A simplified twin screw co-rotating food extruder: design, fabrication and testing. *Journal of Food Engineering*. Vol 40: 129-137.
- Wei, J., Q. Sun., X. Sun., W. Sun. 2013. A Study on Rotor Profiles Design for a Novel Twin screw Kneader. *International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing*. Vol 14(3): 451-459.
- Yaqoob, M., M.R. Ali., S. Mehmood. 2010. Comparison of Growth Performance of Major and Chinese Carps Fed on Floating and Sinking Pelleted Supplementary Feeds in Ponds. *Pakistan Journal Zoologi*. Vol 42(6): 765-769.
- Zhang, B., Y. Zhang., J. Dreisoerner., Y. Wei. 2015. The effects of screw configuration on the screw fill degree and special mechanical energy in twin-screw extruder for high-moisture texturised defatted soybean meal. *Journal of Food Engineering*. Vol 157: 77–83.

Review

**Energi Terbarukan dari Jerami Padi :
Review Potensi dan Tantangan Bagi Indonesia**

Renewable Energy from Rice Straw: Review on Potential and Challenges for Indonesia

Agus Haryanto, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Lampung.

Email: agus.haryanto@fp.unila.ac.id

Siti Suharyatun, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Lampung.

Email: ti_suharyatun@yahoo.com

Winda Rahmawati, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Lampung.

Email: windarahmawati89@gmail.com

Sugeng Triyono, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Lampung.

Email: striyono2001@yahoo.com

Abstract

Straw is a waste produced from the threshing and harvesting of rice. So far, rice straw has only been removed. In fact, it can be used as a potential energy source. This paper aims to examine the potential of rice straw as a renewable energy source in Indonesia. Opportunities and challenges were evaluated based on extensive and in-depth literature review. The paper discussed rice straw potential, its characteristics and benefits of using straw energy, and conversion technology. Results showed that renewable energy potential of rice straw is 693 PJ/year. Conversion technologies include densification, combustion, gasification, pyrolysis, fermentation, and biogas. The biggest challenge for using rice straw energy is collection and transportation. Straw characteristics also need to be improved to increase its combustion properties. Combustion, densification, and biogas are applicable technologies to convert rice straw to energy.

Keywords: *combustion, biogas, gasification, transportation, alkali metals.*

Abstrak

Jerami merupakan limbah dari proses perontokan dan pemanenan padi. Selama ini jerami padi hanya dibuang, padahal, bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi yang potensial. Makalah ini bertujuan membahas potensi jerami padi sebagai sumber energi terbarukan Indonesia. Peluang dan tantangan dikaji berdasarkan studi literatur secara ekstensif dan mendalam. Makalah berisi perhitungan potensi jerami padi, karakteristik, keuntungan energi jerami, dan teknologi konversi. Hasil pengkajian menunjukkan potensi energi terbarukan dari jerami 693 PJ/tahun. Teknologi konversi jerami meliputi densifikasi, pembakaran, gasifikasi, pirolisis, fermentasi dan biogas. Tantangan terbesar pemanfaatan jerami padi adalah pengumpulan dan transportasi. Karakteristik intrinsik jerami juga perlu diperbaiki untuk mengurangi kandungan logam dan meningkatkan sifat pembakarannya. Pembakaran langsung, densifikasi, dan biogas adalah teknologi mengkonversi jerami padi yang sudah diaplikasikan.

Kata Kunci: *pembakaran, biogas, gasifikasi, transportasi, logam alkali.*

Diterima: 29 Januari 2019; Disetujui: 11 April 2019

Latar Belakang

Indonesia merupakan negara penghasil padi terbesar di kawasan Asia Tenggara dan terbesar ketiga di dunia (Abraham *et al.*, 2016), sehingga budidaya padi dan rantai prosesnya memiliki posisi penting. Hal ini dapat dilihat dari sumbangannya yang mencapai 21% dari total produksi sektor pertanian nasional (Samuel, 2013). Dengan luas panen mencapai 15.712 juta ha, produksi padi Indonesia mencapai 81.149 juta ton gabah kering giling (BPS, 2018). Proses produksi beras menghasilkan produk samping berupa jerami, kulit, dan bekatul. Jerami padi meliputi bagian yang tertinggal pada saat panen dan setelah gabah dirontokkan (merang), dan merupakan *komponen* yang paling besar. Produksi jerami kering berkisar 2.3 ton/ha (Djajanegara dan Rangkuti, 1983) hingga 3.86 ton/ha (Marsetyo, 2008). Pada angka produksi jerami padi rata-rata 3.08 ton/ha dan luas panen padi tahun 2018 seluas 15.712 juta ha (BPS, 2018), maka total potensi jerami padi Indonesia adalah 48.39 juta ton bahan kering per tahun. Dengan nilai kalori rata-rata 14.32 GJ/ton, maka potensi energi jerami padi adalah 693 PJ/tahun, setara 19.25 juta kiloliter solar. Potensi jerami padi ini diperkirakan meningkat dengan laju 3.1%/tahun (Makhrani, 2014).

Jerami padi bisa menjadi sumber energi alternatif menggantikan energi fosil sehingga mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) serta menghindari polusi lokal akibat pembakaran terbuka. Jerami padi menarik karena dapat diperbaharui dan dianggap netral karbon dioksida. Tetapi, jerami padi memiliki sifat intrinsik yang kurang baik sebagai bahan bakar. Selain itu, jerami padi tercecer di lahan mengakibatkan biaya koleksi yang mahal. Berat jenis yang rendah juga mengakibatkan transportasi jerami padi ke lokasi pengguna menjadi mahal. Makalah ini bertujuan untuk menyajikan hasil ulasan (*review*) mendalam mengenai potensi dan tantangan jerami padi sebagai sumber energi terbarukan di Indonesia.

Sifat Jerami Padi

Sebagai biomassa lignoselulosik, jerami tersusun atas tiga komponen, yaitu: lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Hal ini membuka peluang bagi pemanfaatan jerami sebagai sumber energi melalui berbagai rute konversi. Jerami memiliki massa jenis yang rendah, yaitu 70–80 kg/m³ pada kadar air 15–18%. Tabel 1 memberikan sifat dan komposisi beberapa jenis jerami. Dua hal yang menyolok dari jerami padi dibandingkan jerami lain adalah kadar abu yang tinggi (hingga 22.1%) dan nilai kalori (HHV) yang rendah (kurang dari 15 MJ/kg). Efek negatif dari kandungan abu yang tinggi dan komposisi mineralnya akan dibahas lebih rinci di bagian selanjutnya.

Teknologi Konversi Energi Jerami

Jerami padi dapat digunakan sebagai sumber energi untuk menghasilkan bahan bakar, panas, atau listrik melalui proses-proses termal-kimia, fisika, atau biologi (Gambar 1). Hingga saat ini konversi termal jerami padi yang paling umum adalah pembakaran langsung terbuka di lahan. Samuel (2013) menyatakan bahwa 61% dari potensi jerami dibakar di lahan. Alasan utama pembakaran jerami padi adalah murah dan kurangnya tenaga kerja. Pembakaran juga dipicu oleh aplikasi mesin pemanen *combine* yang mengakibatkan jerami berceceran dan sulit dikumpulkan. Pembakaran jerami dapat membantu mengendalikan gulma, hama dan penyakit. Efek negatif pembakaran meliputi kehilangan unsur hara, penipisan bahan organik tanah, dan pengurangan biota tanah (Mandal *et al.*, 2004). Jerami yang terbakar di lahan juga menyebabkan emisi gas rumah kaca (GRK) dan polutan seperti CH₄, SO₂, NO_x, HCl, dioksin, dan furan (Jenkins *et al.*, 2003) hingga debu kasar (PM10) dan debu halus (PM2.5) (Chang *et al.*, 2013), yang mempengaruhi kualitas udara regional.

Densifikasi

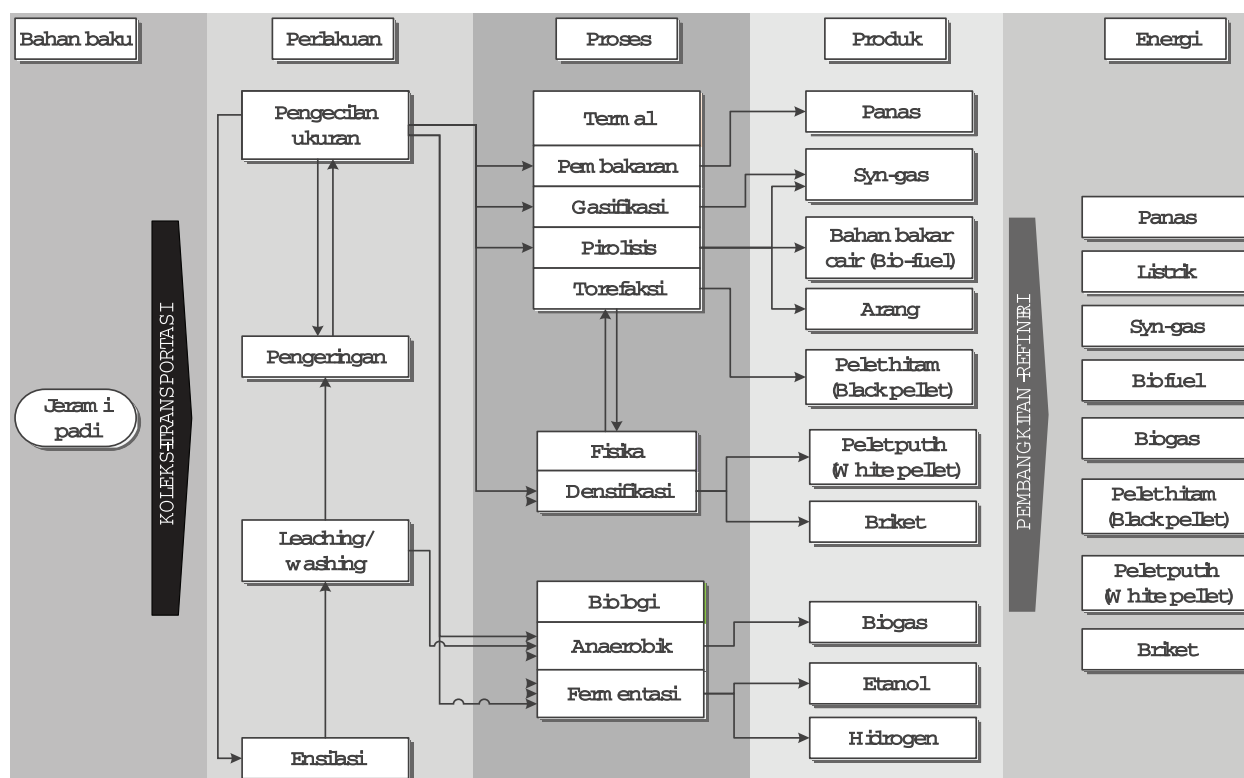
Keterbatasan utama jerami padi adalah kerapatan curah yang rendah (antara 80–100 kg/m³) sehingga menyulitkan penanganan, penyimpanan, dan transportasi. Densifikasi dapat menghasilkan bahan bakar yang homogen dan densitas hingga 10 kali sehingga menurunkan biaya transportasi serta ruang penyimpanan (Tumuluru *et al.*, 2011). Densifikasi menghasilkan dua jenis produk, yaitu pelet dan briket (Gambar 2). Pelet berbentuk silinder dengan diameter 6-12 mm, panjang <10 cm, densitas satuan 1000–1400 kg/m³ dan densitas kamba sekitar 700 kg/m³ (Stelte *et al.*, 2011). Pelet dapat digunakan untuk aplikasi rumah tangga maupun industri (*boiler*). Untuk menghasilkan pelet, jerami padi digiling menjadi partikel halus lalu dipres dengan tekanan tinggi (> 50 MPa). Tekanan sangat menentukan kualitas pelet, tetapi di atas 200 MPa tidak berpengaruh signifikan terhadap densitas pelet (Stelte *et al.*, 2011). Ukuran partikel jerami mempengaruhi tekanan kerja (makin kecil partikel, makin besar tekanan). Pelet dibuat dengan menambahkan uap tanpa perekat. Pelet yang berkualitas dibuat dengan suhu 60–80°C dan kadar air bahan 13–20% (Ishii 2014). Jika jerami terlalu kering, permukaan pelet bisa menjadi arang dan terbakar sebelum proses selesai. Jika terlalu basah, uap air tidak bisa lepas pada saat pengepresan sehingga menghasilkan pelet yang lemah secara mekanis. Pengembangan pelet jerami padi menarik secara komersial, meningkatkan nilai tambah rantai proses padi, dan dapat membuka kesempatan kerja di wilayah pedesaan.

Briket berbentuk silinder atau balok dengan ukuran 60-100 mm dan panjang 60-150 mm. Briket dipakai untuk bahan bakar boiler dan kurang sesuai

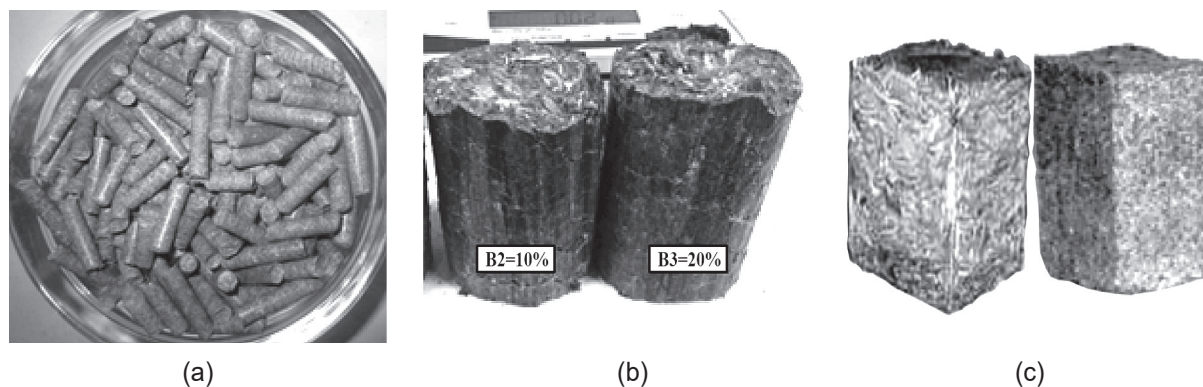
Table 1. Sifat-sifat jerami padi dan bahan sejenisnya.

Jenis Jerami	Uji Proksimat (% , bk)			Uji Ultima (% , bk)			Komposisi Ab (% , abu)			HHV (MJ/kg)	Ref
	Fix C	Abu	C	H	N	O	Si	Na	K		
Padi	17.82	20.15	49.15	6.23	1.59	42.13	80.68	0.74	5.72	14.74	*
Padi	15.86	18.67	38.24	5.20	0.87	36.84	74.67	0.96	12.30	15.08	**
Gandum (<i>wheat</i>)	14.87	3.89	47.55	5.86	0.59	42.02	55.32	1.51	12.90	18.38	**
Gandum (<i>oat</i>)	14.55	8.20	50.58	6.16	0.53	46.23	31.43	0.55	22.37	18.94	*
<i>Alfalfa</i> (rumput)	15.81	5.27	47.17	5.99	2.68	38.69	5.79	1.10	28.10	18.66	**
<i>Miscanthus</i>	12.55	3.05	47.29	5.75	0.33	43.52	61.84	0.33	11.60	18.72	**
<i>Switchgras</i>	14.34	8.97	46.68	5.82	0.77	37.57	65.18	0.58	11.60	18.06	**
Jerami jagung	14.83	5.06	49.31	6.04	0.70	43.56	54.04	0.15	20.67	19.06	*
Bagas tebu	11.95	2.44	48.64	5.87	0.14	38.39	46.61	0.79	4.15	18.99	**

Keterangan: *) <https://phyllis.nl> ; **) Jenkins *et al.* (1998)



Gambar 1. Potensi proses konversi energi jerami padi (adaptasi dari IRRI, 2018).



Gambar 2. Bahan bakar padat dari jerami: (a) pelet (Said *et al.*, 2015), (b) briket silinder (Gill *et al.*, 2017), (c) briket balok (Chou *et al.*, 2009).

untuk aplikasi rumah tangga. Untuk menghasilkan briket, jerami cukup dipotong-potong lalu dipres dengan mesin kempa. Briket yang baik dihasilkan dari tekanan kerja sekitar 30 MPa (Singh and Singh, 1982). Kondisi optimum pembuatan briket jerami adalah kadar air bahan 12–14%, ukuran partikel 14–16 mm, dan perekat 20%. Pada kapasitas 1200 kg/jam, pembuatan briket memerlukan daya minimum (36.60 kW) dan menghasilkan briket dengan densitas tinggi (1030.38–1159.22 kg/m³) dan nilai kalori tinggi (15.61 MJ/kg) (Gill *et al.*, 2017). Jenkins *et al.* (2000) mencatat konsumsi energi pada proses densifikasi dan penggilingan jerami padi berturut-turut mencapai 16 kWh/ton atau 2% dan 30 kWh/ton atau 4% dari daya yang dihasilkan pembangkit listrik jerami padi. Briket jerami untuk bahan bakar pembangkit listrik di daerah terpencil atau untuk mengoperasikan mesin penggiling gabah lebih berpeluang untuk dikembangkan karena tidak memerlukan energi untuk penggilingan dan biaya transportasi dapat ditekan.

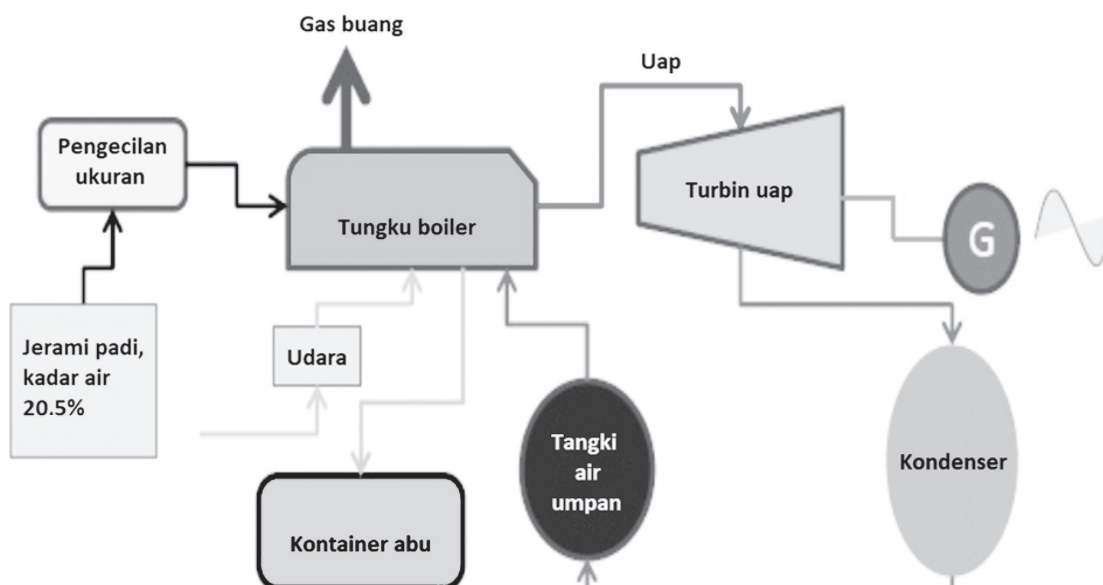
Pembakaran Langsung

Jerami masih digunakan sebagai sumber bahan bakar bagi masyarakat di berbagai negara dan mencakup 14% dari konsumsi energi total di dunia (Matsumura *et al.*, 2005). Pembakaran langsung merupakan proses termal yang paling banyak dipilih untuk keperluan industri kecil (pembakaran batubara, genteng) hingga pengoperasian turbin uap skala kecil. Pemanfaatan jerami untuk bahan bakar pembangkit dapat mengatasi masalah kelangkaan listrik di Indonesia (Makhrani, 2014). Pembakaran langsung merupakan teknologi pembangkit listrik dari jerami yang paling menjanjikan (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010).

Sistem pembangkit listrik dengan pembakaran langsung merupakan cara yang paling sederhana dan paling tua untuk membangkitkan listrik dari biomasa. Sistem pembangkit listrik jerami (Gambar 3) terdiri

dari komponen unit pengelolaan jerami (penyimpanan, pengecilan ukuran), tungku, boiler, kondenser, tangki air umpan, dan kontainer abu (Abdelhady *et al.*, 2014). Dalam pembangkit ini jerami dibakar di dalam tungku dan memanaskan boiler untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi. Bal jerami dikirim dari bin penyimpanan dan diumpankan ke tungku boiler. Di dalam boiler, sebagian jerami dibakar di atas sarangan (*grate*) dan sebagian lainnya tertunda dan terbakar di dalam tungku. Uap bersuhu dan bertekanan tinggi yang dihasilkan boiler memutar turbin yang dihubungkan dengan generator. Ketika turbin berputar maka generator juga berputar sehingga menghasilkan listrik yang kemudian ditransmisikan ke jaringan.

Pembangkit listrik berbahan bakar jerami padi berpotensi menurunkan emisi GRK sebesar 1.79 kg CO₂-eq/kWh jika dibandingkan dengan pembangkit batubara, dan 1.05 kg CO₂-eq/kWh jika dibandingkan dengan pembangkit gas alam (Shafie *et al.*, 2014). Di India, Soam *et al.* (2017) menyimpulkan tiap ton jerami padi kering yang dipakai untuk membangkitkan listrik dapat mereduksi emisi GRK 1.47 ton CO₂-eq. Tetapi, Jenkins *et al.* (2000) mencatat bahwa pencampuran jerami padi sebanyak 20% pada pembangkit listrik berbahan bakar kayu justru meningkatkan biaya bahan bakar sebesar 25% (dari \$20 menjadi \$24.80 per ton). Studi di Thailand juga menunjukkan biaya bahan bakar pembangkit listrik jerami (0.38–0.61 Baht/MJ) belum kompetitif dibandingkan dengan batubara (0.30 Baht/MJ), tetapi masih sebanding dengan biomassa lain (0.35–0.53 Baht/MJ) (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010). Untuk *boiler* industri, pemanfaatan jerami lebih kompetitif dan fleksibel dengan dua opsi, yaitu (1) menginstal *boiler* khusus berbahan bakar jerami; atau (2) jika memakai boiler batubara, maka penggantian bahan bakar dari batubara ke jerami akan memberikan penghematan biaya penyediaan bahan bakar sebesar 0.01 Baht/MJ panas. Berdasarkan hal ini, pembangkit listrik tenaga jerami perlu diupayakan



Gambar 3. Komponen sistem pembangkit listrik pembakaran langsung berbahan bakar jerami (Abdelhady *et al.*, 2014).

terutama untuk masyarakat yang tidak terjangkau PLN atau untuk mengoperasikan pabrik penggiling padi sehingga dapat mengurangi konsumsi listrik konvensional.

Pembakaran Langsung

Jerami masih digunakan sebagai sumber bahan bakar bagi masyarakat di berbagai negara dan mencakup 14% dari konsumsi energi total di dunia (Matsumura *et al.*, 2005). Pembakaran langsung merupakan proses termal yang paling banyak dipilih untuk keperluan industri kecil (pembakaran batubara, genteng) hingga pengoperasian turbin uap skala kecil. Pemanfaatan jerami untuk bahan bakar pembangkit dapat mengatasi masalah kelangkaan listrik di Indonesia (Makhrani, 2014). Pembakaran langsung merupakan teknologi pembangkit listrik dari jerami yang paling menjanjikan (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010).

Sistem pembangkit listrik dengan pembakaran langsung merupakan cara yang paling sederhana dan paling tua untuk membangkitkan listrik dari biomassa. Sistem pembangkit listrik jerami (Gambar 3) terdiri dari komponen unit pengelolaan jerami (penyimpanan, pengecilan ukuran), tungku, boiler, kondenser, tangki air umpan, dan kontainer abu (Abdelhady *et al.*, 2014). Dalam pembangkit ini jerami dibakar di dalam tungku dan memanaskan boiler untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi. Bal jerami dikirim dari bin penyimpanan dan diumpankan ke tungku boiler. Di dalam boiler, sebagian jerami dibakar di atas sarangan (*grate*) dan sebagian lainnya tertunda dan terbakar di dalam tungku. Uap bersuhu dan bertekanan tinggi yang dihasilkan boiler memutar turbin yang dihubungkan dengan generator. Ketika turbin berputar maka generator juga berputar sehingga menghasilkan listrik yang kemudian ditransmisikan ke jaringan.

Pembangkit listrik berbahan bakar jerami padi berpotensi menurunkan emisi GRK sebesar 1.79 kg CO₂-eq/kWh jika dibandingkan dengan pembangkit batubara, dan 1.05 kg CO₂-eq/kWh jika dibandingkan dengan pembangkit gas alam (Shafie *et al.*, 2014). Di India, Soam *et al.* (2017) menyimpulkan tiap ton jerami padi kering yang dipakai untuk membangkitkan listrik dapat mereduksi emisi GRK 1.47 ton CO₂-eq. Tetapi, Jenkins *et al.* (2000) mencatat bahwa pencampuran jerami padi sebanyak 20% pada pembangkit listrik berbahan bakar kayu justru meningkatkan biaya bahan bakar sebesar 25% (dari \$20 menjadi \$24.80 per ton). Studi di Thailand juga menunjukkan biaya bahan bakar pembangkit listrik jerami (0.38–0.61 Baht/MJ) belum kompetitif dibandingkan dengan batubara (0.30 Baht/MJ), tetapi masih sebanding dengan biomassa lain (0.35–0.53 Baht/MJ) (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010). Untuk *boiler* industri, pemanfaatan jerami lebih kompetitif dan fleksibel dengan dua opsi, yaitu (1) menginstal *boiler* khusus berbahan bakar jerami; atau (2) jika memakai boiler batubara, maka penggantian bahan bakar dari batubara ke jerami akan memberikan penghematan biaya penyediaan bahan

bakar sebesar 0.01 Baht/MJ panas. Berdasarkan hal ini, pembangkit listrik tenaga jerami perlu diupayakan terutama untuk masyarakat yang tidak terjangkau PLN atau untuk mengoperasikan pabrik penggiling padi sehingga dapat mengurangi konsumsi listrik konvensional.

Gasifikasi Jerami

Gasifikasi merupakan teknologi konversi energi jerami yang menjanjikan untuk menghasilkan daya listrik atau panas (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010). Gasifikasi adalah proses termokimia dimana biomassa dikonversi menjadi syngas yang terdiri dari CO, H₂, CH₄, dan sedikit gas lain. Syngas dapat digunakan sebagai bahan bakar maupun feedstock industri. Gasifikasi jerami dapat mengurangi polusi dan memperbaiki kualitas udara rumah tangga. Delivand *et al.* (2011) menyimpulkan gasifikasi kapasitas pembangkit 8-10 MW lebih praktis dan memenuhi kriteria keekonomian. Studi di Pakistan menyimpulkan gasifikasi biomassa layak diimplementasikan di wilayah pedesaan dengan populasi sekitar 200 keluarga atau untuk industri kecil (Khan, 2015). Sistem pembangkitan listrik jerami dapat ditingkatkan efisiensinya hingga 43% dengan mengintegrasikan semua komponen sistem, yaitu torefaksi, gasifikasi, pembersihan gas, dan pembangkit siklus kombinasi (Darmawan *et al.*, 2017).

Sistem gasifikasi *fluidized bed* sesuai untuk jerami padi, tetapi sistem ini terkendala karena tidak bisa bekerja pada skala kecil. Sistem gasifikasi *downdraft* atau *updraft* skala kecil dengan pelet atau briket jerami dapat dikembangkan di pedesaan atau untuk menjalankan penggilingan padi. Tetapi, aplikasi gasifikasi jerami padi masih akan lambat karena kadar abu dan kalium yang tinggi yang akan dibahas di bagian selanjutnya.

Pirolisis Jerami

Pirolisis merupakan proses dekomposisi termokimia dari biomassa pada kondisi tanpa oksigen (anaerob) atau dengan sedikit oksigen dalam kisaran suhu relatif rendah 300–700°C. Selama pirolisis, molekul-molekul hidrokarbon kompleks dan besar pecah menjadi molekul-molekul gas, cairan, dan arang yang lebih sederhana. Pirolisis diklasifikasikan menjadi pirolisis lambat dengan produk utama arang, dan pirolisis cepat dengan produk utama bio-oil atau minyak pirolisis. Pütün *et al.* (2004) melaporkan bahwa bio-oil dari jerami padi mencapai nilai maksimum 35,86% pada proses dengan uap air. Yang *et al.* (2011) melaporkan suhu pirolisis optimum 450°C dengan aliran gas carrier 10 L/menit. Pada penelitian ini produk bio-oil mencapai 41.3% (w/w) dengan nilai pH sekitar 4.1 dan viskositas pada 25°C sekitar 9 cSt. Jung *et al.* (2008) melaporkan suhu reaksi optimal untuk produksi bio-oil dari jerami padi adalah antara 440 hingga 500°C dengan produksi bio-oil mencapai 69%.

Hingga kini pirolisis jerami masih dalam tahap pengembangan untuk menghasilkan produk bernilai tinggi, yaitu minyak pirolisis yang merupakan bahan dasar (*building block*) bagi proses lebih lanjut. Pirolisis lambat dengan produk cair, arang, dan gas yang seimbang lebih berpeluang untuk dikembangkan karena tidak memerlukan perkakas yang rumit.

Etanol Jerami

Karena kaya akan selulosa dan hemiselulosa dan tidak bersaing dengan bahan makanan, jerami padi juga menjadi bahan baku yang menjanjikan untuk produksi etanol generasi kedua. Ada dua platform teknologi konversi yang tengah dikembangkan, yaitu platform syngas dan platform gula. Dalam platform syngas, jerami digasifikasi untuk menghasilkan syngas yang kemudian difermentasi atau diproses secara katalitik untuk menghasilkan etanol (Drapcho *et al.*, 2008). Dalam platform gula, selulosa dan hemiselulosa dihidrolisis dengan bantuan asam atau enzim menjadi gula (seperti glukosa, xylosa, arabinosa, dan galaktosa), lalu difermentasi untuk menghasilkan etanol. Platform gula hanya dapat memanfaatkan selulosa dan hemiselulosa. Tetapi, selulosa dan hemiselulosa terikat oleh lapisan lignin yang susah terhidrolisis. Kehadiran abu dan kandungan silika yang tinggi menimbulkan masalah dalam produksi etanol dari jerami padi. *Pretreatment* merupakan tahap yang paling mahal (Mosier *et al.*, 2005), sehingga pemilihan metode *pretreatment* yang tepat menjadi tantangan utama dalam pengembangan teknologi konversi jerami padi menjadi etanol yang efisien sehingga layak secara ekonomi (Binod *et al.*, 2010).

Rute konversi jerami ke etanol adalah yang paling lambat perkembangannya di Indonesia. Belum ada tanda-tanda bahwa teknologi ini akan teraplikasi dalam waktu dekat. Salah satu kendalanya adalah biaya proses produksi bahan bakar etanol yang tidak kompetitif. Jangankan bahan bakar etanol generasi kedua yang berbasis serat, etanol generasi pertama pun belum terjangkau harga keekonomiannya. Sebuah industri etanol berbahan baku singkong di Lampung Utara sudah berhenti beberapa tahun lalu akibat harga bahan baku yang mahal.

Biogas Jerami

Produksi biogas diakui sebagai salah satu proses konversi biomassa menjadi energi terbarukan yang paling ramah lingkungan (Mussoline *et al.*, 2013). Banyak penelitian yang membuktikan viabilitas produksi biogas dari campuran jerami padi dan limbah organik lainnya. Kalra dan Panwar (1986) melaporkan setiap kilogram jerami padi dapat menghasilkan sekitar 220 L biogas. Campuran jerami padi dan kotoran sapi (perbandingan berat kering 3:1) dapat meningkatkan produksi biogas hingga 434.2 L/gVS yang terdegradasi dengan kandungan metana mencapai 50.12% (Haryanto *et al.*, 2018). Kotoran hewan yang umum digunakan sebagai sumber bakteri

meliputi kotoran babi, kotoran sapi, dan kotoran ayam. Kotoran sapi yang dicampur kotoran ayam dapat meningkatkan kapasitas *buffering* dan menghasilkan efek sinergis (Wang *et al.*, 2014). Mussoline *et al.* (2013) melaporkan kondisi optimal adalah pH (6.5–8.0), suhu (35–40°C) dan rasio C/N 25–35 dan dari digester 1-m³ berisi campuran 50 kg jerami padi dengan air limbah babi dapat diperoleh biogas total 22.859 L selama 189 hari (231 L CH₄/kgVS). Jika sistem diperluas untuk pertanian padi 100-ha, maka skenario ini dapat menghasilkan 100,000 m³CH₄ per tahun, setara 328 MWh. Biogas dapat digunakan untuk membangkitkan daya listrik melalui mesin pembakaran internal maupun melalui boiler. Hibukawa *et al.* (2014) melaporkan bahwa Nagaoka Wastewater Treatment Plant di kota Niigata, Jepang, memerlukan 1916 ton jerami padi (kadar air, 20%) untuk dicampurkan dengan lumpur air limbah guna menghasilkan biogas. Hal ini merupakan motivasi bahwa jerami padi memiliki prospek yang baik untuk digunakan sebagai substrat dalam proses produksi biogas.

Meskipun demikian, suatu perlakuan awal (*pretreatment*) diperlukan untuk jerami padi karena dinding lignin pada jerami menghambat pencernaan (*digestibility*), yang mengurangi efisiensi konversi menjadi biogas. Berbagai metode *pretreatment* jerami padi dapat dipilih, seperti perlakuan mekanis (pengecilan ukuran), bahan kimia, termal, dan enzim (Bruni *et al.*, 2010). Perlakuan menggunakan alkali merupakan yang sangat efektif mengurangi lignin sehingga meningkatkan proses dekomposisi anaerobik. Produksi biogas dari jerami padi dengan perlakuan NaOH meningkat antara 27.3–64.5% (He *et al.*, 2008). *Pretreatment* dengan 0.5 M Na₂CO₃ pada 110°C selama 2 jam menghasilkan 292 L CH₄/kgVS, sedangkan jerami tanpa diolah hanya memproduksi 130 L CH₄/kgVS (Dehghani *et al.*, 2015).

Tantangan

Tantangan pemanfaatan jerami padi meliputi persoalan sosial-ekonomi terkait dengan praktek budidaya padi di lahan basah yang berakibat pada mahalnya biaya pengumpulan dan transportasi, serta persoalan teknis yang meliputi karakteristik intrinsik dari jerami itu sendiri.

Pengumpulan dan Transportasi

Pengumpulan jerami masih menjadi tantangan utama dalam rantai penyediaan jerami untuk penggunaan lebih lanjut. Jerami perlu dikumpulkan dan diikat agar lebih kompak dan mudah diangkat. Kebiasaan petani Indonesia yang memanen padi ketika kondisi lahan masih basah menyulitkan proses koleksi sehingga menjadi mahal. Pada pemanenan tradisional dengan sabit, proses perontokan (baik menggunakan thresher maupun dibanting pada gebot) akan meninggalkan jerami yang terkumpul dalam satu area. Persoalan juga dihadapi pada proses

transportasi yang biasanya dilakukan menggunakan truk. Demi penghematan, sopir cenderung untuk mengangkut jerami sebanyak mungkin. Dengan kondisi yang terurai, maka pemuatan dilakukan dengan menumpuk dan mengikat jerami sampai tinggi. Hal ini membahayakan pengguna jalan lainnya karena selain menghalangi jarak pandang, muatan yang tinggi juga rawan mengakibatkan truk terguling.

Jika kondisi tanah pada saat panen cukup kering, maka pengumpulan dapat dilakukan secara mekanis. Studi di Vietnam menunjukkan pengumpulan jerami secara mekanis berkapasitas 0.87–2.47 ton/jam dapat menekan kebutuhan tenaga kerja hingga 90% dengan biaya pengumpulan jerami antara 12–18 US\$/ton (Nguyen *et al.*, 2016). Biaya pengumpulan jerami padi di Taiwan 31.66 US\$/ton dan biaya transportasi 20.7 US\$/ton (Chiu *et al.*, 2016). Pengumpulan jerami padi secara mekanis dapat mencegah pembakaran di lahan, menjamin kelangsungan pasokan feedstock untuk penggunaan lebih lanjut, dan memberikan nilai tambah bagi budidaya padi. Oleh karena itu, kajian menyeluruh sistem koleksi dan transportasi perlu dilakukan untuk mempertimbangkan jerami padi sebagai sumber energi. Hambatan utama pemanfaatan jerami padi untuk energi adalah biaya yang tinggi untuk logistik pengumpulan, pengangkutan, penanganan dan penyimpanan. Biaya transportasi jerami padi dipengaruhi oleh jarak tempuh. Pada jarak tempuh antara 12–20 km, biaya transportasi jerami padi 5.40–6.40 \$/ton dan peningkatan 0.12 \$/ton per km (Jenkins *et al.*, 2000).

Kini, pemanenan padi banyak dilakukan menggunakan mesin pemanen kombinasi (*combine harvester*). Dengan mesin combine harvester, proses pengumpulan jerami padi menjadi makin sulit dan mahal karena jerami tercecer dan tersebar di lahan (Samuel, 2013). Logistik penyediaan bahan bakar sangat berpengaruh terhadap ekonomi pembangkit listrik biomassa, khususnya jerami padi. Salah satu gagasan menarik adalah mengoptimalkan mesin combine agar mampu memanen padi, merontok dan mengepak gabah, serta menggulung jerami padi *in situ* menjadi bal (Gambar 4). Analisis penggunaan mesin baler di Thailand (Delivand *et al.*, 2011) menunjukkan biaya total operasi logistik bervariasi dari 18.75 hingga 19.89 US\$/t. Menyatukan proses pemanenan hingga penggulangan jerami padi dalam sekali kerja menjadi penting karena biaya untuk koleksi jerami cukup besar. Dengan cara ini proses pemanenan jerami hanya menyisakan bongkar-muat dan transportasi.

Karakteristik Intrinsik Jerami Padi

Jerami padi merupakan bahan bakar yang buruk, terutama untuk sistem yang beroperasi pada suhu tinggi. Hal ini disebabkan oleh karakteristik intrinsik dari jerami padi itu sendiri, seperti kadar abu yang tinggi dan kandungan elemen-elemen (Si, K, Na, S, Cl, P, Mg, dan Fe) yang tinggi. Kandungan abu yang tinggi menurunkan nilai energi (Gambar 5). Abu yang tinggi juga mengakibatkan tambahan biaya 0.5 \$/MWh pada

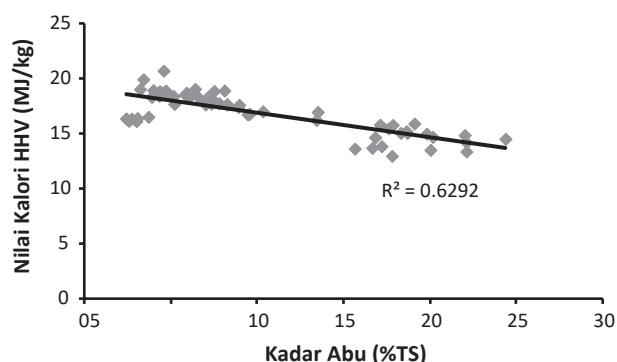
biaya total pembangkitan untuk menangani masalah yang terkait dengan abu dan ammonia (Jenkins *et al.*, 2000).

Komposisi kimia abu jerami padi yang terdiri dari logam alkali dan alkali tanah (Si, Ca, Mg, Na dan K) bertanggung jawab pada berbagai reaksi yang tidak diinginkan dalam sistem pembakaran. Konsentrasi abu dan kandungan silika serta logam alkali yang tinggi pada jerami padi mengakibatkan aglomerasi, fouling, slagging pada komponen boiler (Jenkins *et al.*, 1998) yang berdampak pada menurunnya efisiensi sistem (Jenkin *et al.*, 2000) dan kegagalan pada sebagian besar tanur dan boiler. Kegagalan ini telah menghambat pemanfaatan jerami untuk boiler skala besar, bahkan di wilayah dimana boiler berdekatan dengan sumber jerami. Kandungan silika yang tinggi pada jerami padi menyebabkan komponen mesin pencacah atau penggiling cepat aus. Jerami padi juga sangat sulit dibakar, terutama pada tungku pembakaran yang dirancang untuk pembangkit akibat terbentuknya deposit. Deposit ini menghambat laju perpindahan panas, memicu pembentukan kerak dalam tungku dan pada sarangan sehingga mempersulit pengumpanan bahan bakar dan pembuangan abu (Jenkins *et al.*, 1998). Hal ini meningkatkan biaya pembangkitan listrik karena rendahnya efisiensi.

Salah satu upaya menurunkan K dan Cl adalah pelindian (*leaching*). Pelindian dengan air dapat menghilangkan 80% K dan 90% Cl. Pelindian



Gambar 4. Sebuah mesin pemanen padi *combine harvester-baler* (www.youtube.com).



Gambar 5. Pengaruh kadar abu biomassa terhadap nilai kalori (data dari <https://phyllis.nl>).

dapat dilakukan secara alami dengan membiarkan jerami terkena hujan lalu memanennya, atau merendam jerami setelah dipanen. Pelindian jerami menggunakan air limbah tahu dapat menurunkan K hingga 93.75% hanya dalam waktu 3.75 menit (Zubaidah, 2019). Pencampuran 20-25% jerami yang sudah terlindi dengan kayu bakar atau sekam padi dapat menurunkan resiko akibat kerak (Baker, 2000).

Simpulan

Jerami padi berpotensi besar untuk dikembangkan sebagai sumber energi terbarukan. Potensi tahunan jerami padi di Indonesia mencapai 48.39 juta ton yang setara dengan 693 PJ. Teknologi konversi jerami menjadi energi terbarukan yang tersedia meliputi pembakaran terkontrol, densifikasi untuk menghasilkan pelet maupun briket, gasifikasi, pirolisis, fermentasi, dan dekomposisi anaerobik (biogas). Tantangan utama pemanfaatan jerami padi meliputi kadar abu dan kadar logam alkali yang tinggi yang mengakibatkan aglomerasi pada sistem konversi dengan suhu tinggi. Perlakuan *leaching* (pelindihan) menggunakan air bisa mengurangi kandungan logam alkali secara signifikan. Tantangan lain adalah proses koleksi dan transportasi yang secara ekonomi masih mahal. Sifat jerami yang lepas mengakibatkan rumitnya proses pengumpulan dan transportasi. Salah satu solusinya adalah densifikasi *in situ* yang disatukan dengan proses pemanenan menggunakan mesin combine harvester. Sejauh ini pembakaran langsung, densifikasi, dan biogas merupakan teknologi konversi jerami padi yang sudah diaplikasikan, sedangkan teknologi lainnya (gasifikasi, pirolisis, fermentasi etanol) masih dalam tahap pengembangan.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Penelitian Terapan Unggulan BLU Universitas Lampung tahun 2018 dengan nomor kontrak 1459/UN26.21/PN/2018. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada dua orang reviewer yang telah memberikan saran dan masukan berharga.

Daftar Pustaka

Abdelhady, S., D. Borello, S. Shaban and F. Rispoli. 2014. Viability Study of Biomass Power Plant Fired with Rice Straw in Egypt. *Energy Procedia* Vol. 61: 211-215.

Abraham, A., A.K. Mathew, R. Sindhu, A. Pandey and P. Binod. 2016. Potential of rice straw for bio-refining: An overview. *Bioresource Technology* Vol. 215: 29-36.

Baker, R. 2000. Biomass fuel leaching for the control of fouling, slagging, and agglomeration in biomass

power generation. *PhD Dissertation*, University of California.

Binod, P., R. Sindhu, R.R. Singhanian, S. Vikram, L. Devi, S. Nagalakshmi, N. Kurien, R.K. Sukumaran, A. Pandey. 2010. Bioethanol production from rice straw: An overview. *Bioresource Technology* Vol. 101: 4767-4774.

BPS. 2018. Statistik Indonesia 2018. Badan Pusat Statistik, Jakarta.

Bruni, E., A.P. Jensen and I. Angelidaki. 2010. Comparative study of mechanical, hydro-thermal, chemical and enzymatic treatments of digested biofibers to improve biogas production. *Bioresource Technology* Vol. 101: 8713-8717.

Chang, C.H., C.C. Liu and P.Y. Tseng. 2013. Emissions inventory for rice straw open burning in Taiwan based on burned area classification and mapping using Formosat-2 satellite imagery. *Aerosol Air Qual. Res.* Vol. 13: 474-87.

Chiu, Y.-C., S.-J. Guo, S. Chen, C.-Y. Tsai and J.-M. Tsai. 2016. Planning the collection and transportation of rice straw in Nantou County, Taiwan. *Applied Engineering in Agriculture* Vol. 32(5): 1-8.

Chou, C.-S, S.-H. Lin, and W.-C. Lu. 2009. Preparation and characterization of solid biomass fuel made from rice straw and rice bran. *Fuel Processing Technology* Vol. 90, p. 980-987.

Darmawan, A., A.C. Fitrianto, M. Aziz, and K. Tokimatsu. 2017. Enhanced electricity production from rice straw. *Energy Procedia* Vol. 142: 271-277.

Dehghani, M., K. Karimi and M. Sadeghi. 2015. Pretreatment of rice straw for the improvement of biogas production. *Energy Fuels* Vol. 29(6): 3770-3775.

Delivand, M.K., M. Barz, S.H. Gheewala and B. Sajjakulnukit. 2011. Economic feasibility assessment of rice straw utilization for electricity generating through combustion in Thailand. *Applied Energy* Vol. 88: 3651-3658.

Djajanegara, A. and M. Rangkuti. 1983. Residues of importance as potential animal feeds in Indonesia, in edited by Shacklady, C.A. (Ed). *The Use of Organic Residues in Rural Communities*, United Nations University Press, Tokyo: 3-10.

Drapcho, C.M., N.P. Nhuan, T.H. Walker. 2008. *Biofuels Engineering Process Technology*. Mc Graw Hill Companies, Inc., New York : 133-134.

Gill, N., R. Dogra and B. Dogra. 2017. Influence of moisture content, particle size, and binder ratio on quality and economics of rice straw briquettes. *Bioenergy Research*. DOI: 10.1007/s12155-017-9877-9.

Haryanto, A., B.P. Sugara, M. Telaumbanua, and R.A.B. Rosadi. 2018. Anaerobic co-digestion of cow dung and rice straw to produce biogas using semi-continuous flow digester: Effect of urea addition. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* Vol. 147(1): 012032.

- Hibukawa, H.S., A.I. Noue, S.H. Imeno and T.K. Omatsu. 2014. Examination of rice straw collection and transportation systems for the production of biogas by co-digestion with sewage sludge: A case study of the Nagaoka region in Niigata Prefecture. *Japanese Journal of FarmWork Research* Vol. 49(2): 69-78.
- IRRI (International Rice Research Institute). 2018. Rice Straw (Rice Knowledge Bank). <http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/postharvest/rice-by-products/rice-straw> (visited February 10, 2018).
- Ishii, K. and T. Furuichi. 2014. Influence of moisture content, particle size and forming temperature on productivity and quality of rice straw pellets. *Waste Management* Vol. 34(12): 2621-2626.
- Jenkins, B.M. 1998. Physical properties of biomass, in Kitani, O. and C.W. Hall (Eds). *Biomass Handbook*. Gordon and Breach, New York, p.
- Jenkins, B.M., R.R. Bakker, R.B. Williams, R. Bakker-Dhaliwal, M.D. Summers, H. Lee, L.G. Bernheim, W. Huisman, L.L. Yan, P. Andrade-Sanchez and M. Yore. 2000. Commercial feasibility of utilizing rice straw in power generation. *Proceedings Bioenergy 2000*, Buffalo, New York.
- Jenkins, B.M., J.J. Mehlschau, R.B. Williams, C. Solomon, J. Balmes, M. Kleinman and N. Smith. 2003. Rice straw smoke generation system for controlled human inhalation exposures. *Aerosol Sci. Technol.* Vol. 37(5): 437-454.
- Jung, S-H., Kang, B-S. and Kim, J-S. 2008. Production of bio-oil from rice straw and bamboo sawdust under various reaction conditions in a fast pyrolysis plant equipped with a fluidized bed and a char separation system. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* Vol. 82(2): 240-247.
- Kalra, M.S. and J.S. Panwar. 1986. Anaerobic digestion of rice crop residues. *Agricultural Wastes* Vol. 17: 263-269.
- Khan, A. 2015. Economic feasibility of biomass gasification for electricity generation in Pakistan. *Global Journal of Science Frontier Research: E Interdisciplinary* Vol.15 (1): 19-23.
- Makhrani. 2014. Potential analysis of rice straw as an alternative energy source for substitute coal in Indonesia. *Applied Mechanics and Materials* Vol. 554: 276-280
- Mandal, K.G., A.K. Misra, K.M. Hati, K.K. Bandyopadhyay, P.K. Ghosh and M. Mohanty. 2004. Rice residue management options and effects on soil properties and crop productivity. *Food Agric. Environ.* Vol. 2: 224-231.
- Marsetyo. 2008. Strategi pemenuhan pakan untuk peningkatan produktivitas dan populasi sapi potong. *Seminar Nasional Pengembangan Sapi Potong Untuk Mendukung Percepatan Pencapaian Swasembada Daging Sapi 2008-2010*. Kerjasama Universitas Tadulako dan Subdinan Peternakan Distanbunak, Palu : 94-103.
- Matsumura, Y., T. Minowa and H. Yamamoto. 2005. Amount, availability, and potential use of rice straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan. *Biomass and Bioenergy* Vol. 29: 347-354
- Mosier, N., C. Wyman, D. Dale, R. Elander, Y.Y. Lee, M. Holtzapfle. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresour. Technol.* Vol. 96: 673-686.
- Mussoline, W., G. Esposito, A. Giordano and P. Lens. 2013. The anaerobic digestion of rice straw: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* Vol. 43: 895-915.
- Nguyen, H.V., C.D. Nguyen, T.V. Tran, H.D. Hau, N.T. Nguyen and M. Gummert. 2016. Energy efficiency, greenhouse gas emissions, and cost of rice straw collection in the Mekong river delta of Vietnam. *Field Crops Research* 198: 16-22.
- Nurhayati, T., Y. Waridi and H. Roliadi. 2006. Progress in the technology of energy conversion from woody biomass in Indonesia. *Forestry Studies in China* Vol. 8(3), p. 1-8.
- Pütün, A.E., E. Apaydin, and E. Pütün. 2004. Rice straw as a bio-oil source via pyrolysis and steam pyrolysis. *Energy* Vol. 29(12-15): 2171-2180.
- Said, N., M.M. Abdel daiem, A. Garcia-Maraver, and N. Zamorano. 2015. Influence of densification parameters on quality properties of rice straw pellets. *Fuel Processing Technology* Vol. 138: 56-64.
- Samuel, V. 2013. Environmental and socioeconomic assessment of rice straw conversion to ethanol in Indonesia: the case of Bali. *Thesis*. KTH School of Industrial Engineering and Management Energy Technology, Stockholm, Sweden.
- Shafi, S.M., H.H. Masjuki and T.M.I. Mahlia. 2014. Life cycle assessment of rice straw-based power generation in Malaysia. *Energy* Vol. 70: 401-410.
- Singh, A. and Y. Singh. 1982. Briquetting of paddy straw. *Agric Mech Asia Africa Latin Am.* Vol. 13(4): 42-44.
- Soam, S., P. Borjesson, P.K. Sharma, R.P. Gupta, D.K. Tuli and R. Kumar. 2017. Life cycle assessment of rice straw utilization practices in India. *Bioresour. Technol.* Vol. 228: 89-98.
- Stelte, W., J.K. Holm, A.R. Sanadi, S. Barsberg, J. Ahrenfeldt and U.B. Henriksen. 2011. Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. *Fuel* Vol. 90: 3285-3290.
- Suramaythangkoor, T. and S.H. Gheewala. 2010. Potential alternatives of heat and power technology application using rice straw in Thailand. *Applied Energy* Vol. 87: 128-133.
- Tumuluru, J.S., C.T. Wright, J.R. Hess and K.L. Kenney., 2011. A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* Vol. 5: 683-707.

- Wang, X.X., Lu, F. Li and G. Yang. 2014. Effects of temperature and Carbon-Nitrogen (C/N) ratio on the performance of anaerobic co-digestion of dairy manure, chicken manure and rice straw: Focusing on ammonia inhibition. *PLOS ONE* Vol. 9(5): e97265.
- Yang, S.Y., Zhang, C. and Chen, Z. 2011. The physical characteristics of bio-oil from fast pyrolysis of rice straw. *Advanced Materials Research* Vol. 328-330: 881–886.
- Zubaidah, U. 2019. Pencucian (*Leaching*) Kadar Kalium (K) Jerami Padi (*Oryza sativa*) Menggunakan Limbah Cair Industri Tahu untuk Meningkatkan Mutu Bahan Bakar. *Skripsi*. Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung.

Technical Paper

Pengembangan Prototipe dan Pengujian Traktor Satu Roda untuk Pemeliharaan Tanaman Padi

Prototyping and Performance Test of Single Wheel Tractor for Rice Plants Maintenance

Jusran, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Institut Pertanian Bogor.

Email: jusranrinding3@gmail.com

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

Email: raditepas@gmail.com

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

Email: dewamadesubrata.ipb@gmail.com

Abstract

Most of paddy fields in Indonesia are not consolidated, therefore, soil hardpan usually not exist. With no soil hardpan, mobility of any machine for crop maintenance is very difficult even in some places is almost impossible. Until now crop maintenance such as weeding, spraying and spreading fertilizer was done manually by labor. Then mechanization is required to replace the labour which is not available or very expensive. Hence, this study conducted with objective to make a prototype II of a single wheel tractor for crop maintenance operated in deep mud field or in an unconsolidated paddy field. The study also did performance test of a single wheel tractor to measure the tractor speed, traction, sinkage, and slip of wheel when operated in rice plants field. The results of performance test showed that the speed average of wheels with straight lug and curved lug respectively were 1.15 km/hour and 0.97 km/hour. The average of sinkage and slip of wheels with straight lug and curved lug respectively were 24.8 cm, 25.9 cm and 38.7%, 26.12%. The results of performance test also showed that the traction average of wheel with straight lug and curved lug respectively were 45.8 kg and 41.5 kg.

Keywords : Single wheel tractor, paddy field, traction, sinkage, slip

Abstrak

Umumnya lahan persawahan di Indonesia tidak terkonsolidasi, sehingga tidak memiliki lapisan tanah yang keras pada kedalaman tertentu. Kondisi tersebut menyebabkan mobilitas mesin untuk pemeliharaan tanaman menjadi sangat sulit bahkan dibeberapa tempat hampir tidak memungkinkan. Sampai sekarang pemeliharaan tanaman seperti penyiangan, penyemprotan dan pemupukan dilakukan secara manual sehingga biaya produksi menjadi mahal. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka diperlukan mekanisasi pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk membuat *prototype* II traktor satu roda untuk pemeliharaan tanaman pada lahan sawah berlumpur dalam atau tidak terkonsolidasi. Parameter kinerja traktor satu roda yang diuji meliputi: kecepatan maju, traksi, *sinkage* dan slip pada roda ketika beroperasi di lahan padi sawah. Pengujian dilakukan menggunakan dua perlakuan bentuk sirip roda yaitu sirip lurus dan sirip kurva. Hasil uji kinerja menunjukkan bahwa rata-rata kecepatan roda sirip lurus dan sirip kurva adalah 1.15 km/jam dan 0.97 km/jam. Rata-rata *sinkage* dan slip kedua roda sirip lurus dan sirip kurva berturut-turut 24.8 cm, 25.9 cm dan 38.7%, 26.12%. Uji kinerja juga menunjukkan bahwa rata-rata traksi roda sirip lurus dan sirip kurva adalah 45.8 kg dan 41.5 kg.

Kata Kunci : traktor satu roda, lahan sawah, traksi, *sinkage*, slip

Diterima: 12 Maret 2019; Disetujui: 18 Juni 2019

Latar Belakang

Pada umumnya lahan persawahan di Indonesia memiliki lapisan tanah permukaan yang dalam, tidak memiliki lapisan yang padat (*hardpan*), bahkan kedalamannya cenderung meningkat dari tahun ke tahun akibat endapan lumpur yang dibawa oleh aliran air irigasi. Tidak terbentuknya *hardpan* mengakibatkan lalu lintas roda traktor atau mesin pemeliharaan tanaman padi menjadi sangat sulit karena roda tenggelam terlalu dalam.

Usaha untuk mengkonversi lahan persawahan yang tidak terkonsolidasi menjadi lahan terkonsolidasi belum banyak dilakukan di Indonesia karena membutuhkan biaya yang besar sehingga belum menjadi opsi bagi para petani. Disisi lain, penggunaan mekanisasi pada lahan persawahan yang tidak terkonsolidasi menimbulkan inefisiensi yang besar pada performansi mesin.

Penelitian yang dilakukan oleh Ubaidillah (2016) yang menguji kinerja traksi roda ramping menggunakan traktor tangan dan Taufiq et al. (2017) yang menguji roda sangkar dengan beberapa variasi sudut sirip pada lahan yang tidak terkonsolidasi menunjukkan bahwa efisiensi traksi tertinggi yang diperoleh secara berurutan yaitu 27.18% dengan sudut sirip 30° dan 47.81% dengan sudut sirip 30°. Hasil penelitian tersebut mengkonfirmasi inefisiensi performansi traktor pada lahan yang tidak terkonsolidasi yang cukup besar. Setiawan et al. (2013) membuat disain traktor ringan (*light tractor*) untuk kegiatan pemeliharaan tanaman padi seperti: pemupukan, penyemprotan dan penyiangan. Traktor menggunakan roda traksi tunggal sebagai alat penggerak traktor. Roda traksi didisain untuk dapat beroperasi pada lahan persawahan dengan kedalaman 20-30 cm. Diameter luar roda traksi 740 mm dan dilengkapi dengan delapan sirip. Roda traksi didisain ramping dan disesuaikan dengan jarak tanam agar dapat bergerak diantara barisan tanaman padi tanpa merusak tanaman. Untuk memudahkan mobilitas traktor, pada bagian belakang dilengkapi dengan *slider* yang juga berfungsi untuk menopang *body* traktor.

Disain traktor ringan beroda satu untuk kegiatan pemeliharaan tanaman padi dipilih karena konstruksinya yang lebih mudah dan sederhana. Selain itu, dengan bobot yang ringan, traktor bisa diangkat oleh operatornya ketika roda traktor tenggelam dan macet akibat lumpur yang terlalu dalam. Disain traktor kemudian dibuat dalam bentuk prototipe dan dilanjutkan dengan pengujian fungsional untuk mengetahui apakah semua komponen utama dari traktor berfungsi dengan baik atau tidak.

Hasil pengamatan uji fungsional prototipe traktor ringan beroda satu yang telah dibuat menunjukkan beberapa komponen utama traktor tidak berfungsi dengan baik yakni: roda traksi, sistem kopling dan sistem transmisi. Letak mesin dan *gearbox* yang tidak tepat menghasilkan ketidakseimbangan dan *ground clearance* yang terlalu rendah pada traktor satu roda.

Untuk memperbaiki permasalahan pada traktor, maka diperlukan perubahan disain traktor ringan beroda satu dengan cara memodifikasi disain traktor satu roda.

Tujuan penelitian ini adalah membuat pengembangan prototipe dan menguji kinerja traktor satu roda yang dapat digunakan untuk pemeliharaan tanaman padi sawah.

Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan mulai Desember 2016 sampai Januari 2018. Pembuatan dan perakitan prototipe II traktor satu roda dilaksanakan di bengkel Metanium Siswadi Soepardjo, Fateta – IPB sedangkan uji kinerja dilakukan di lahan sawah laboratorium Lapangan Siswadi Soepardjo, Fateta – IPB.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dikelompokkan ke dalam 2 bagian besar, yaitu: (1). Pada tahap disain gambar dan pabrikan menggunakan *software solid works*, *excel* dan berbagai bahan konstruksi (besi plat, holo, silinder, sproket, *gearbox*, *chain*, puli, sabuk, dan peralatan perbengkelan lainnya), (2). Pada tahap pengujian menggunakan prototipe traktor satu roda, 1 unit laptop, kamera, beberapa instrumen alat ukur dan sensor (meteran, *strain gauge*, *strain amplifier*, *handy strain*, *data logger*, *tachometer*, *potensiometer*). Satu unit mesin honda GX 160 4 tak digunakan sebagai tenaga penggerak prototipe traktor satu roda.

Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan dalam 2 tahapan, yaitu: 1. Tahap modifikasi gambar disain dan pembuatan prototipe II traktor satu roda. 2. Tahap pengujian.

Modifikasi Gambar Disain dan Pembuatan Prototipe II Traktor Satu Roda

Tahapan modifikasi gambar disain dan pembuatan protipe II traktor satu roda dimulai dengan melakukan evaluasi terhadap konsep disain traktor satu roda yang telah ada. Beberapa bagian yang dievaluasi yakni posisi komponen utama seperti mesin, *gearbox* dan *slider*. Berikutnya yakni sistem keseimbangan traktor, sistem transmisi, kopling, disain roda dan *ground clearance* traktor. Hasil evaluasi kemudian dijadikan sebagai bahan analisis untuk melakukan modifikasi disain.

Tahapan selanjutnya yaitu membuat analisis disain. Untuk memperbaiki keseimbangan traktor maka dilakukan perubahan posisi pada *gearbox* dengan cara menempatkan *gearbox* sejajar dengan mesin sehingga posisi *gearbox* dan mesin berada diatas roda traksi. Perubahan posisi *gearbox* juga membuat *ground clearance* traktor menjadi lebih baik, karena *gearbox* yang sebelumnya terhubung langsung dengan poros roda, digantikan dengan *pillow block bearing* yang ukurannya jauh lebih kecil dan tidak memerlukan dudukan yang besar sebagaimana dudukan *gearbox*. Sistem transmisi daya dari mesin

ke poros roda ditransmisikan dari enjin ke *gearbox* melalui sabuk dan puli, kemudian dari *gearbox* daya ditransmisikan ke poros roda melalui rantai dan sproket. Penggunaan rantai dan sproket untuk transmisi daya bertujuan untuk meminimalkan *slip* yang terjadi pada sistem transmisi. Sirip roda didisain lebih tinggi untuk menghasilkan cengkaman yang lebih baik, disain *slider* lebih panjang dan kopling lebih disederhanakan.

Tahap selanjutnya yaitu dengan membuat gambar kerja menggunakan perangkat *solid works*, kemudian pembuatan prototipe dan pengujian traktor. Jika kinerja traktor belum baik maka kembali ketahap analisis disain untuk melakukan perbaikan disain traktor satu roda.

Rancangan Fungsional

Roda pada traktor satu roda berfungsi untuk menghasilkan gaya traksi. Karena roda akan beroperasi pada lahan padi sawah yang berlumpur, maka disain roda perlu dilengkapi dengan sirip besi untuk menghasilkan traksi. Desain sirip roda akan disesuaikan dengan jarak tanam padi sehingga memungkinkan roda mampu melintas disela-sela tanaman padi tanpa merusak fisik tanaman padi, sedangkan ukuran roda terkait dengan tinggi *ground clearance* alat. Ukuran roda didasarkan pada pengukuran *sinkage* roda dan tinggi tanaman pada saat operasi.

Mesin honda GX 160 berdaya 4.8 HP/3600 rpm, digunakan sebagai tenaga penggerak untuk menggerakkan traktor satu roda. Untuk mentransmisikan daya mesin ke roda traktor maka digunakan sabuk - puli yang terhubung ke *gear box*. Selanjutnya daya ditransmisikan dari *gear box* ke roda menggunakan rantai-sproket untuk meminimalisir slip. Reduksi kecepatan putaran enjin juga terjadi dalam proses transmisi daya di puli, *gear box* dan sproket, sehingga menghasilkan putaran yang rendah pada roda bersirip.

Traktor yang dibuat pada penelitian ini merupakan jenis traktor beroda satu, dimana roda penggerak hanya terpasang pada bagian depan, sedangkan pada bagian belakang berupa *slider* yang akan menghasilkan gaya luncuran ketika mendapat gaya tarik. Ukuran *slider* disesuaikan dengan jarak tanam padi sehingga tidak merusak tanaman padi dan diharapkan mampu menopang bobot traktor antara 40% - 70% dari total bobot traktor.

Sistem kendali traktor satu roda menggunakan setir untuk mengendalikan arah gerakan maju traktor. Untuk mengendalikan tenaga enjin, maka digunakan kopling sabuk tipe tegangan *idler*. Sebagai sistem kendali yang berfungsi menyalurkan tenaga dengan tanpa kejutan dan melepaskan tenaga dengan cepat dari seluruh bagian mesin, kopling juga berfungsi sebagai rem pada traktor satu roda.

Analisis Teknik

1. Kecepatan maju

Kisaran kecepatan maju traktor dalam berbagai

kerja lapang berkisar antara 0.5–0.7 m/s atau 1.8–2.5 km/jam (Sakai *et al.* 1998). Untuk menghitung besaran kecepatan maju traktor digunakan persamaan:

$$s = \frac{v}{t} \quad (1)$$

Dimana : v = kecepatan maju traktor (m/s)
 s = jarak tempuh (m)
 t = waktu (s)

2. **Slip roda traksi**, secara matematis dapat dihitung dengan persamaan:

$$S = \left(1 - \frac{S_b}{S_0}\right) \times 100\% \quad (2)$$

Dimana:

S = slip roda traksi (%)
 S_b = jarak yang ditempuh putaran roda dengan beban (m)
 S_0 = jarak yang ditempuh putaran roda tanpa beban (m)

3. Diameter Roda

Roda pada traktor satu roda diharapkan mampu menopang beban hingga 30–40% total berat traktor, slip antara 30–50% dan ketenggelaman roda antara 20–30 cm. Ukuran diameter roda minimum ditentukan dengan persamaan:

$$R_w = H_t + H_c + Z \quad (3)$$

Dimana : R_w = jari-jari luar roda (cm)
 H_t = jari-jari gear box (cm)
 H_c = *ground clearance*
 Z = ketenggelaman roda (*sinkage*) (cm)

4. Jumlah Sirip

Menurut Sakai *et al.* (1998), jumlah sirip minimum untuk lahan sawah antara 8–12 buah, sedangkan berdasarkan nilai slip lahan berkisar antara 9–20 buah. Menurut Setiawan *et al.* (2013), jumlah sirip dengan slip 30% berjumlah 8, sedangkan pada kondisi ekstrim dimana slip 50%, maka jumlah sirip menjadi 6. Penentuan jumlah sirip roda menggunakan persamaan:

$$N_i \geq \frac{2\pi}{\cos^{-1}(1 - S)} \quad (4)$$

N_i = jumlah sirip
 S = slip (%)

5. Lebar sirip

Untuk merencanakan luas penampang sirip roda harus dipertimbangkan besar spasi antara sirip dan spasi horizontal antar sirip dengan menggunakan persamaan:

$$S_{as} = 2R_w \sin \left[\frac{180}{J_s} \right] \quad (5)$$

$$S_{hs} = \frac{(1 - S)\pi D_w}{J_s} \quad (6)$$

Dimana: S_{as} = jarak spasi antar sirip (cm)
 S_{hs} = jarak spasi horizontal antar sirip (cm)
 J_s = jumlah sirip roda
 S = slip roda
 Lebar sirip efisien adalah $\leq 0.75S_{hs}$

6. Koefisien traksi (C_t)

Koefisien traksi adalah perbandingan antara gaya tarik pada batang penarik traktor dengan berat dinamis yang membebani roda penggerak, dirumuskan dalam persamaan:

$$C_t = \frac{DBP}{W} \quad (7)$$

Dimana:

C_t = koefisien traksi (*coefficient of traction*)
 DBP = gaya tarik pada batang penarik (*drawbar pull*), (kg)
 W = berat dinamis yang membebani roda penggerak, (kg)

Pengujian Fungsional Prototipe II Traktor Satu Roda

Prototipe II traktor satu roda dari hasil modifikasi perancangan kemudian diuji untuk melihat kinerja fungsional dari masing-masing komponennya. Pengujian awal dilakukan pada lahan kering tanpa beban, kemudian dilanjutkan dengan pengujian dengan beban. Jika pengujian pada lahan kering tidak memberikan hasil yang baik, maka dilakukan modifikasi dan perbaikan desain. Jika memberikan kinerja yang baik, maka dilakukan pengujian pada lahan sawah berlumpur tanpa genangan air untuk memudahkan pengamatan baik tanpa beban maupun dengan beban. Selama pengujian, parameter kerja fungsional yang diamati dan menjadi ukuran keberhasilan pengujian meliputi: kinerja roda, kopling, rantai-sproket, sabuk-puli, slider, kecepatan maju dan keseimbangan traktor saat beroperasi.

Pengujian pada Lahan Sawah

Pengujian pada tahapan ini dilakukan menggunakan dua perlakuan roda dengan sirip berbeda (lurus dan kurva) yang dilakukan secara bergantian, dimana setiap pengujian dilakukan dengan 2 kali pengulangan. Pengujian dilakukan pada saat umur tanam padi mencapai satu bulan setelah tanam.

Parameter yang Diukur dalam Pengujian pada Lahan Sawah

Selama pengujian, parameter yang diukur sebagai tolak ukur keberhasilan adalah kinerja traksi. Kinerja traksi diperoleh dengan mengukur parameter-parameter seperti: 1) kecepatan maju traktor, 2) torsi pada poros roda, 3) kecepatan putar roda, 4) ketenggelaman roda (*sinkage*), 5) slip roda, 6) traksi, 7) koefisien traksi (C_t). Pengukuran parameter-parameter tersebut dapat dilakukan dengan membuat instrumen pengujinya.

a. Pengukuran Kecepatan Maju Traktor

Kecepatan maju traktor diukur dengan

menggunakan kamera dan meteran berdasarkan jarak lintasan yang telah ditentukan. Pengukuran dilakukan pada tiga lajur lintasan dengan jarak lintasan masing-masing 10 meter. Cara pengukuran kecepatan maju traktor adalah dengan merekam pergerakan maju traktor sejak dari titik awal hingga titik akhir lintasan. Berdasarkan hasil rekaman kamera, maka dapat diketahui waktu yang dibutuhkan oleh traktor satu roda untuk menempuh jarak pada setiap lajur lintasan.

b. Pengukuran Torsi Poros Penggerak Roda

Nilai torsi pada poros penggerak roda saat uji kinerja traktor satu roda diukur dengan sebuah unit sensor *strain gauge* yang dipasang pada poros *gearbox* dan terhubung dengan slip ring pada ujung *gearbox*. Sensor *strain gauge* bekerja dengan mengukur regangan yang terjadi ketika poros mendapatkan beban. Nilai torsi diperoleh setelah nilai regangan yang diukur oleh sensor *strain gauge* yang terjadi pada poros *gearbox* masuk ke *strain amplifier*, diteruskan ke data logger dan ke PC.

Flens poros berfungsi menghubungkan poros *gearbox* dengan slip ring. *Flens* akan berputar mengikuti putaran poros, sedangkan slip ring dipertahankan dalam kondisi diam sehingga memungkinkan sambungan kabel dari sensor *strain gauge* tidak ikut berputar searah putaran poros.

c. Pengukuran Kecepatan Putar Roda

Kecepatan putar roda traktor diukur dengan cara merekam putaran roda menggunakan video kamera ketika traktor bergerak maju diatas lintasan lahan sawah yang telah ditentukan. Pada salah satu bagian lingkaran roda ditandai dengan ikatan tali rapih untuk memudahkan pengamatan. Hasil kecepatan putar roda diperoleh dengan mengamati waktu (s) yang dibutuhkan roda dalam 1 kali putaran roda traktor satu roda, kemudian dikonversi kedalam rotasi per menit (RPM).

d. Pengukuran Ketenggelaman Roda (*Sinkage*)

Ketenggelaman roda traktor dapat diukur dengan menggunakan sebuah sensor *potentiometer* yang terpasang pada sebuah mekanisme menyerupai papan ski. Mekanisme papan ski dilengkapi lengan yang berengsel dan terhubung ke poros roda sehingga memudahkan manuver papan ski diatas permukaan lahan sawah mengikuti pergerakan roda traktor.

Sensor *potensiometer* menghasilkan data gerakan naik dan turun papan ski mengikuti pola gerakan roda. Data dari *potensiometer* tersebut direkam dan dikirim ke *data logger* yang langsung terhubung pada sebuah unit laptop yang terpasang pada traktor yang sedang berjalan tersebut. Pembacaan data tegangan (*voltase*) dari *data logger* selanjutnya dikonversi kedalam satuan meter (m) sehingga dapat memberikan informasi ketenggelaman roda traktor satu roda pada saat pengujian. Skema rancangan pengukur ketenggelaman roda (*sinkage*) ditunjukkan pada Gambar 1.

e. Pengukuran Slip Roda

Slip roda merupakan perbandingan antara selisih jarak tempuh aktual dan jarak tempuh teoritis. Jarak tempuh teoritis diperoleh dengan cara mengukur jarak tempuh traktor dalam 5 kali putaran maju roda tanpa diberikan beban. jarak tempuh aktual, pengukuran dilakukan dengan cara mengukur jarak tempuh traktor dalam 5 kali putaran maju roda yang diberikan beban. Slip roda traksi akan terukur dalam persen (%).

Kalibrasi Instrumentasi Pengukuran dan Sistem Akuisisi Data

Kalibrasi instrumentasi pengukuran untuk mendapatkan nilai torsi terukur pada poros, dilakukan dengan dua tahap yaitu; kalibrasi *strain-torsi* dan kalibrasi *strain-tegangan*. Kalibrasi *strain-torsi* menggunakan perangkat ukur *strain gouge, handy strain meter, bridge box*, poros, timbangan digital, beban, lengan beban. Kalibrasi *strain-tegangan* menggunakan perangkat ukur *strain gauge, dynamic strain amplifier, bridge box, slip ring* dan laptop.

Tujuan dari kalibrasi *strain-torsi* dan kalibrasi *strain-tegangan* adalah untuk mendapatkan persamaan regresi *strain-torsi* dan *strain-tegangan*. Skema kalibrasi instrumentasi pengukuran ditunjukkan pada Gambar 3.

Persamaan torsi terukur dapat diperoleh dari kalibrasi *strain-torsi* dan kalibrasi *strain-tegangan* masing-masing akan menghasilkan suatu persamaan regresi. Persamaan *strain-tegangan* yang diperoleh kemudian disubsitusi ke dalam persamaan *strain-torsi*

sehingga diperoleh persamaan torsi terukur.

Data hasil pengukuran selanjutnya diolah untuk memperoleh grafik torsi pengujian. Adapun cara pengolahan data hasil pengukuran adalah mencari tegangan maksimum, tegangan minimum, rata-rata tegangan sebelum traktor maju (pada saat mesin hidup tanpa gerakan maju), dan rata-rata tegangan ketika traktor bergerak maju.

Voltase pengujian (V_p) yang digunakan untuk perhitungan torsi diperoleh dari persamaan berikut:

$$VP = Vb - Vtb \tag{8}$$

Dimana:

V_p = voltase pengujian (Volt)

V_b = voltase mesin traktor menyala (Volt)

V_{tb} = voltase traktor bergerak maju (Volt)

Torsi pengujian diperoleh dengan mensubsitusikan V_p ke persamaan yang diperoleh dari hasil kalibrasi.

$$T = Vp \times d \times b \tag{9}$$

Dimana :

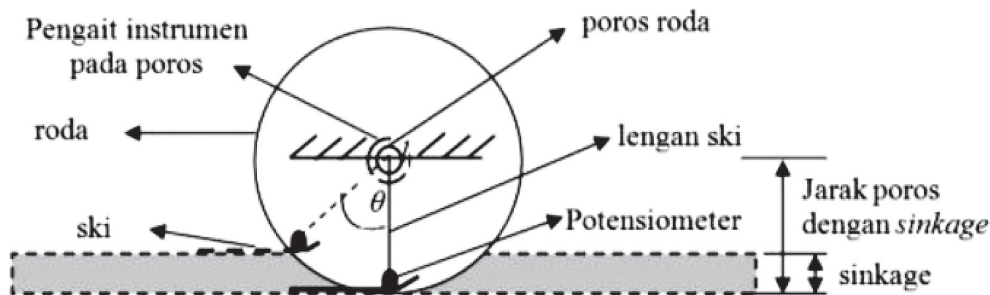
T = torsi terukur (Nm)

V = voltase pengujian (Volt)

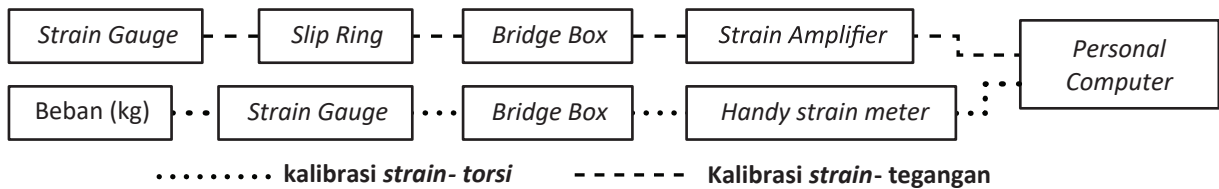
d = gradien kurva hasil kalibrasi *strain-tegangan* ($\mu\text{s/Volt}$)

b = gradien kurva hasil kalibrasi *strain-torsi* (Nm/ μs)

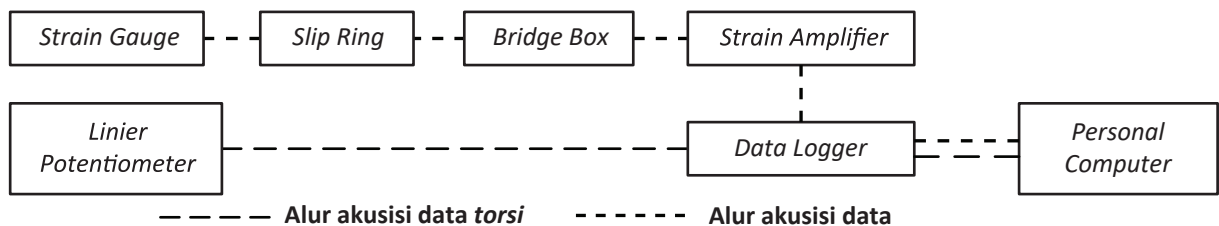
Akuisisi data pengukuran torsi dan *sinkage* ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 1. Skema rancangan pengukur ketenggelaman roda (*sinkage*).



Gambar 2. Skema kalibrasi pengukuran torsi.



Gambar 3. Skema akuisisi data pengukuran torsi dan data *sinkage*.

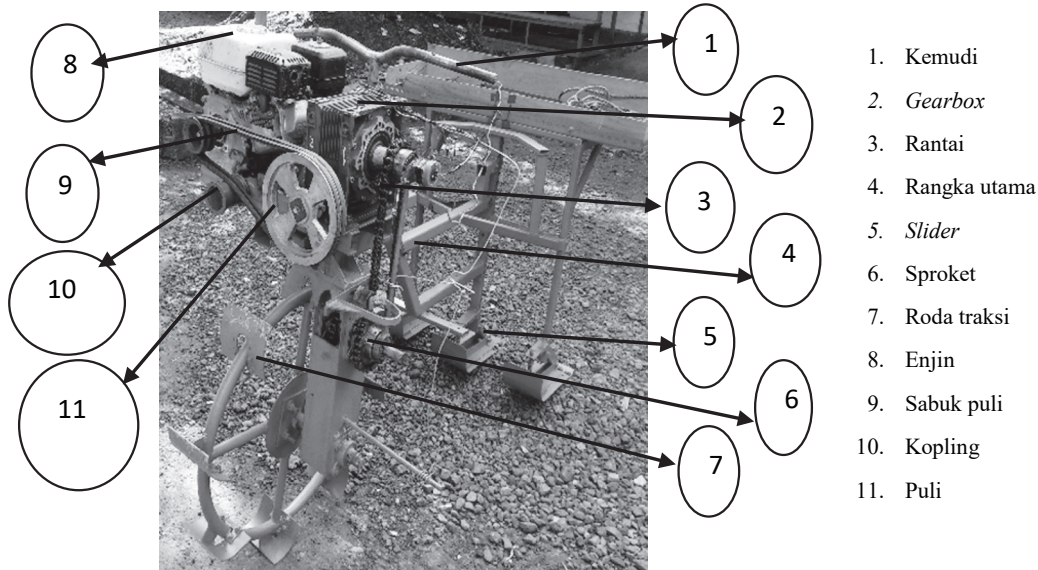
Hasil dan Pembahasan

Prototipe II Traktor Satu Roda

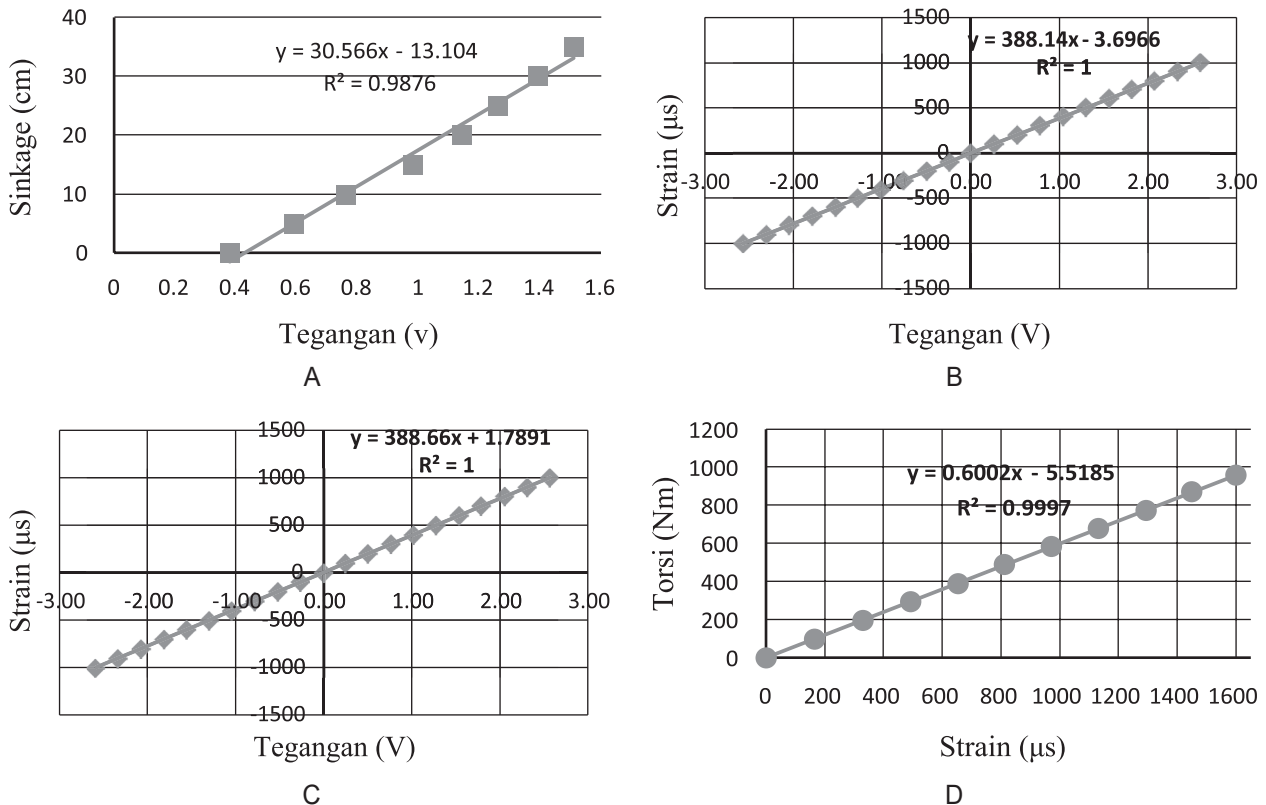
Beberapa bagian utama traktor roda satu yang telah berhasil dimodifikasi yaitu: posisi *gearbox*, rantai, puli, sabuk puli, sproket, kopling, *slider*, rangka utama, dudukan mesin dan *gearbox*, roda bersirip. Pengujian fungsional traktor roda satu pada lahan kering dan lahan sawah menunjukkan bahwa setiap komponen traktor yang dimodifikasi dapat bekerja dengan baik. Hasil modifikasi traktor roda satu ditunjukkan pada Gambar 4.

Hasil Kalibrasi Torsi dan Sinkage

Hasil kalibrasi pengukuran instrumentasi menunjukkan hubungan yang linier antara berbagai variable yang dikalibrasi yaitu hubungan antara *strain* – tegangan dan *strain* – torsi untuk mengukur nilai torsi serta *sinkage* – tegangan untuk mengukur ketenggelaman roda. Dengan demikian hasil pengukuran kalibrasi tersebut cukup akurat yang ditunjukkan dengan nilai koefisien determinasi yang baik, di mana nilai R^2 *strain*-tegangan, *strain*-torsi dan *sinkage* secara berurutan adalah 1, 0,999 dan 0,987. Pengukuran kalibrasi torsi dan *sinkage* dalam bentuk grafik ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 4. Bentuk traktor roda satu setelah modifikasi.



Gambar 5. Hasil kalibrasi pengukuran torsi dan *sinkage*.

Tabel 1. Hasil pengukuran kecepatan, slip dan *sinkage*.

Sirip	Kecepatan Traktor			Slip %	Sinkage (cm)
	v (km/jam)	n (rpm)	ω (rad/s)		
Lurus 30°					
L1	1.29	12.0	1.3	24.93	23.2
L2	0.92	12.5	1.3	50.00	28.8
L3	1.20	12.5	1.3	41.18	22.5
Kurva 80°					
L1	0.90	12.5	1.3	41.59	26.7
L2	1.13	12.5	1.3	11.41	24.4
L3	0.92	12.5	1.3	27.09	26.6

Keterangan : v = Kecepatan maju, n = Rotasi, ω = Kecepatan sudut, L=lintasan

Tabel 2. Hasil pengujian kinerja roda traksi sirip lurus dengan sudut 30°.

Sirip 30°	Torsi		Kec. Traktor		F (kg)	Z (cm)	Slip (%)	CT
	(Nm)	v(km/jam)	ω (rad/s)	n(rpm)				
L1	146.89	1.29	1.3	12.0	52.71	23.2	24.93	0.51
L2	81.61	0.92	1.3	12.5	40.79	28.8	50.00	0.39
L3	114.25	1.20	1.3	12.5	43.93	22.5	41.18	0.42

Keterangan: L= Lintasan, F= Traksi, Z= *Sinkage*, CT= Koefisien traksi

Pengendalian Traktor Satu Roda di Lahan Sawah

Sistem kemudi traktor menggunakan stang sepeda motor yang terhubung ke tungkai roda untuk mengendalikan arah gerakan traktor sesuai dengan keinginan operator. Untuk mengendalikan gerak maju dan berhenti traktor, maka traktor dilengkapi dengan kopling sabuk tipe tegangan *idler*, dioperasikan secara manual dan sekaligus berfungsi sebagai rem. Untuk menjaga keseimbangan traktor ketika beroperasi, maka traktor dilengkapi dengan tiga buah *slider* yang menopang bagian belakang traktor. Kelemahan dari sistem pengendalian traktor adalah pada saat traktor berbelok, operator harus memiliki tenaga yang prima untuk mengatasi gaya tolak dari roda ketika traktor berbelok arah dan juga beban pada roda yang berat.

Pengaruh Bentuk Sirip Roda Terhadap Kecepatan, Slip dan Sinkage Traktor Satu Roda

Kecepatan maju traktor untuk kegiatan pemeliharaan tanaman padi seperti pemupukan, penyiangan dan penyemprotan berkisar antara 1.8–2.5 km/jam (Sakai *et al.* 1998). Kecepatan maju untuk traktor satu roda diharapkan 1.8 km/jam dengan perkiraan slip antara 30-50% dan *sinkage* 20-30 cm (Setiawan *et al.* 2013). Hasil pengujian kecepatan, slip dan *sinkage* disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil uji kinerja traktor satu roda yang telah dilakukan, roda bersirip lurus dengan sudut 30° menghasilkan kecepatan maju tertinggi, slip dan *sinkage* terkecil pada L1, berikutnya L3 dan L2. Tren yang sama juga nampak pada roda sirip kurva sudut 80° dimana kecepatan maju tertinggi, slip dan *sinkage* terkecil secara berurutan yaitu L2, L3 dan L1.

Kecepatan maju traktor sangat dipengaruhi oleh faktor slip dan *sinkage*. Semakin kecil nilai slip dan *sinkage* maka nilai kecepatan maju traktor semakin baik, sebaliknya semakin besar nilai slip dan *sinkage* roda, semakin memperkecil nilai kecepatan maju traktor satu roda.

Bentuk roda sirip lurus dengan sudut 30° menghasilkan nilai rata-rata kecepatan maju sebesar 1.15 km/jam, lebih tinggi dibandingkan nilai rata-rata kecepatan maju roda sirip kurva dengan sudut 80° sebesar 0.97 km/jam. Nilai rata-rata slip dan *sinkage* roda sirip lurus dengan sudut 30° dan sirip kurva dengan sudut 80° berturut-turut sebesar 38.7%, 26.12% dan 24.8 cm, 25.9 cm.

Kinerja Traksi Traktor Satu Roda

Beberapa parameter yang umum digunakan untuk menilai kinerja traksi yakni: slip, rasio traksi bersih (koefisien traksi), efisiensi traksi, rasio traksi kotor dan rasio tahanan gerak. Namun demikian, penelitian ini hanya menggunakan parameter slip dan koefisien traksi dalam menilai kinerja roda traksi. Kinerja roda traksi disajikan dalam Tabel 2.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2 tampak bahwa kenaikan nilai torsi searah dengan kenaikan nilai beban traksi sedangkan nilai slip cenderung kecil seperti yang terlihat pada L1, sebaliknya pada saat nilai slip besar, maka nilai torsi dan traksi akan menurun sebagaimana ditunjukkan L2 dan L3. Nilai slip yang besar menyebabkan menurunnya nilai torsi, traksi dan koefisien traksi karena sebagian tenaga terpakai untuk mengatasi tahanan guling roda.

Tabel 3. Hasil pengujian kinerja roda traksi sirip kurva dengan sudut 80°

Sirip 30°	Torsi			Kec. Traktor n(rpm)	F (kg)	Z (cm)	Slip (%)	CT
	(Nm)	v(km/jam)	ω (rad/s)					
L1	65.28	0.90	1.3	12.5	33.47	26.7	41.59	0.32
L2	102.59	1.13	1.3	12.5	42.07	24.4	11.41	0.41
L3	97.93	0.92	1.3	12.5	48.95	26.6	27.09	0.47

Keterangan: L= Lintasan, F= Traksi, Z= Sinkage, CT= Koefisien traksi

Nilai koefisien traksi tertinggi diperoleh ketika persentase nilai slip kecil, sebaliknya nilai koefisien traksi cenderung menurun pada saat persentase nilai slip meningkat. Semakin besar nilai koefisien traksi menunjukkan kinerja roda traksi yang semakin baik. Kinerja roda traksi sirip kurva ditunjukkan pada Tabel 3.

Hasil uji kinerja roda traksi sirip kurva dengan sudut 80° menunjukkan performa yang lebih rendah dibandingkan dengan performa roda traksi sirip lurus dengan sudut 30°. Berbagai parameter yang digunakan sebagai ukuran kinerja seperti torsi, traksi, sinkage dan koefisien traksi rata-rata nilainya lebih kecil. Namun demikian, nilai rata-rata slip roda traksi sirip kurva dengan sudut 80° menunjukkan kinerja yang lebih baik dari roda traksi sirip lurus dengan sudut 30°. Roda dengan sirip lurus menghasilkan traksi yang lebih besar dibandingkan dengan roda dengan sirip kurva. Rataan nilai traksi kedua roda tersebut yakni 45.8 kg dan 41.5 kg. Triratanasirichai *et al.* (1990) mengatakan bahwa sudut sirip yang lebih kecil (45° dan 30°) menghasilkan tenaga tarik yang lebih besar jika dibandingkan dengan dengan sudut sirip yang lebih besar (60°). Penelitian lainnya Ubaidillah *et al.* (2017) yang melakukan pengujian roda ramping mengatakan bahwa roda dengan sudut sirip 30° merupakan roda dengan spesifikasi terbaik dibandingkan dengan roda sudut sirip berturut – turut 45° dan 60°

Simpulan

Hasil kalibrasi pengukuran torsi dan sinkage menunjukkan nilai R² yang cukup baik. Mekanisme pengendalian arah gerak maju traktor masih kaku. Kinerja roda sirip lurus dengan sudut 30° lebih baik dari kinerja sirip kurva dengan sudut 80°. Namun demikian, hasil pengujian kecepatan maju kedua roda traksi tersebut, yakni roda traksi sirip lurus dan roda traksi sirip kurva belum mencapai standar kecepatan maju traktor atau mesin pertanian untuk kegiatan pemeliharaan tanaman padi yakni antara 1.8 - 2.5 km/jam, di mana nilai rata-rata kecepatan maju tertinggi hasil pengujian traktor satu roda adalah 1.15 km/jam.

Daftar Pustaka

- Sakai, J., R.G. Sitompul, E.N. Sembiring, R.P.A. Setiawan, I.N. Suastawa, T. Mandang. 1998. *Traktor 2-Roda*. Bogor (ID): Laboratorium Alat dan Mesin Budidaya Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian.
- Setiawan, R.P.A., I.W. Astika, D.M. Subrata, A. Azis. Design of iron wheel of a light tractor for crop maintenance in unconsolidated paddy field. Di dalam: Sutiarmo L, *et al.*, editor. [Internet]. *The International Symposium on Agricultural and Biosystem Engineering (ISABE)*; August 28-29 2013; Yogyakarta, Indonesia: Departement of Agricultural Engineering Faculty of Agricultural Technology UGM.
- Taufiq, M., T. Mandang, W. Hermawan. 2017. Analisis Kinerja Traksi Roda Besi Bersirip di Lahan Sawah. *Jurnal Keteknik Pertanian* Vol.5(1): 23-32.
- Triratanasirichai, K., A. Oida, M. Honda. 1990. The performance of cage wheels for small power tillers in agricultural soil. *Journal of Terramechanics* 27(3):193-205.
- Ubaidillah. 2016. Analisis Empiris Kinerja Traksi Roda Ramping Bersirip Di Lahan Basah [Thesis]. Bogor (ID): Bogor Agricultral University (IPB).
- Ubaidillah., W. Hermawan, R.P.A. Setiawan. 2017. Kinerja Traksi Roda Ramping Bersirip pada Berbagai Kombinasi Jumlah dan Sudut Sirip di Tanah Sawah Berlumpur. *Jurnal Keteknik Pertanian* Vol.5(1): 15-22.

Technical Paper

Rancangan Kemasan dengan Indikator Warna untuk Deteksi Tingkat Kematangan Buah Alpukat

Packaging Design with Color Indicator to Detect Ripeness Levels of Avocado Fruit

Meika Wahyuni Azrita, Program Studi Teknologi Pascapanen, Institut Pertanian Bogor.

Email: meikaazrita@gmail.com

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

Email: uahmad2010@gmail.com

Emmy Darmawati, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Email: emi_handono@yahoo.com

Abstract

Determining the ripeness levels of avocados is still having difficulties because the fruit does not change color when ripe. Smart labels based on color indicators of ammonium molybdate with potassium permanganate can be used to detect the maturity of avocados by detecting ethylene gas (C₂H₄) produced during the ripening process. This study aims to examine the physiological and physicochemical changes that occur in avocados during the ripening process, design packaging of color indicator labels to determine the level of maturity of avocados and changes in color indicators to the maturity level of avocados. Parameters measured were respiration rate and ethylene production, hardness, total dissolved solids and color change. The data obtained were tested using ANOVA and Duncan's further test to obtain the best treatment. The best performance was obtained from label composed by 2 grams ammonium molybdate and 3 grams potassium permanganate with a good and even color gradation as responses to different level of ripeness by detecting the presence of ethylene in packaging.

Keywords: color indicator label, avocado, ammonium molybdate, potassium permanganate, ethylene

Abstrak

Penentuan kematangan buah alpukat masih mengalami kesulitan karena buah tidak mengalami perubahan warna saat matang. Label cerdas berbasis indikator warna amonium molibdat dengan kalium permanganat dapat digunakan untuk mendeteksi kematangan buah alpukat dengan mendeteksi gas etilen (C₂H₄) yang dihasilkan selama proses pematangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perubahan fisiologi dan fisiko kimia yang terjadi pada buah alpukat selama proses pematangan, perancangan kemasan label indikator warna untuk mengetahui tingkat kematangan buah alpukat dan perubahan indikator warna terhadap tingkat kematangan buah alpukat. Parameter yang diukur adalah laju respirasi dan pembentukan etilen, kekerasan, total padatan terlarut dan uji warna. Data yang diperoleh diuji dengan ANOVA dan dilakukan uji lanjut Duncan untuk mendapatkan perlakuan terbaik. Kinerja terbaik diperoleh dari label yang disusun oleh 2 gram amonium molibdat dan 3 gram kalium permanganat dengan respon gradasi warna yang baik dan merata terhadap tingkat kematangan yang berbeda dengan mendeteksi keberadaan etilen dalam kemasan.

Kata kunci: label indikator warna, buah alpukat, amonium molibdat, kalium permanganat, etilen

Diterima: 15 April 2019; Disetujui: 22 Juni 2019

Pendahuluan

Alpukat merupakan salah satu buah tropis yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat karena banyak mengandung lemak dan protein yang baik untuk tubuh. Buah alpukat termasuk satu komoditas utama mendapat prioritas dibidang penelitian dan perdagangan selain jeruk, pisang, nanas dan mangga. Pada tahun 2013 produksi alpukat yaitu 289,893 ton, tahun 2014 sebesar 307,318 ton, tahun 2015 sebesar 382,537 ton, tahun 2016 yaitu 304,932 ton dan pada tahun 2017 produksi alpukat mencapai 363,148 ton (BPS 2019).

Alpukat adalah buah klimakterik yang mengalami lonjakan respirasi dan produksi etilen setelah dipanen, yang mempengaruhi perubahan fisiologis dan biokimia yang terjadi selama pematangan (Giovannoni 2001). Dibandingkan dengan buah-buahan klimakterik lainnya, alpukat menghasilkan jumlah etilen yang tinggi ($80-100 \mu\text{Lkg}^{-1}\text{jam}^{-1}$ pada 20°C) saat pematangan (Seymour dan Tucker 1993). Tingkat kematangan alpukat mempengaruhi mutu dan kualitas buah. Mengetahui tingkat kematangan tidaklah mudah, terutama jika buah tidak mengalami perubahan warna kulit setelah proses kematangan. Namun demikian, seiring waktu, buah akan melunak karena penurunan tekanan turgor pada dinding sel. Dalam menduga tingkat kematangan, konsumen sering melakukannya dengan menekan buah untuk memastikan tingkat kekerasan buah. Praktik ini akan meninggalkan memar pada buah kemudian akan merusak kualitasnya.

Label indikator kematangan dapat memudahkan konsumen dalam menduga tingkat kematangan buah alpukat tanpa menekannya. Label ini bekerja berdasarkan pada perubahan warna sehingga dapat dengan mudah dilihat biasanya dikenal dengan istilah kemasan cerdas. Kemasan cerdas adalah sistem melekat sebagai label, yang dimasukkan ke dalam kemasan, atau dicetak ke bahan kemasan untuk memantau kualitas produk (Kerry dan Butler 2008). Syamsu *et al.* (2016) meneliti label indikator menggunakan nano zeolit sebagai penyerap etilen. Hasil penelitiannya, nano zeolit berpotensi dikembangkan untuk indikator kematangan. Nano zeolit dipilih sebagai matriks penyerap amonium molibdat sehingga akan dihasilkan label indikator kematangan yang dapat berubah warna yang dapat menginformasikan jika terjadi peningkatan etilen. Reaksi yang terjadi antara senyawa yang dihasilkan produk selama proses penyimpanan dengan label indikator akan menghasilkan perubahan warna pada label indikator yang merupakan prinsip kerja label indikator sebagai kemasan cerdas.

Penelitian ini bertujuan untuk 1) mengkaji perubahan fisiologi dan fisiko-kimia yang terjadi pada buah alpukat mentega selama proses pematangan, 2) perancangan kemasan dengan label indikator warna untuk mengetahui tingkat kematangan buah alpukat selama penyimpanan.

Bahan dan Metode

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah buah alpukat mentega dari petani Depok. Bahan kimia lain berupa gas etilen dan gas oksigen, bahan penyerap kalium permanganat (KMnO_4), ammonium molibdat [$(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24.4}\text{H}_2\text{O}$], hidrogen peroksida (H_2O_2), dan polivinil alkohol (PVA). Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah gas kromatografi, *chromameter*, wadah polypropylene (PP) dimensi $17 \times 9 \times 11.5$ cm, karet *stopper*, refraktometer dan *rheometer*.

Metode Penelitian

Penelitian ini terdiri atas tiga tahapan yaitu 1) formulasi bahan dan pembuatan indikator warna, 2) menentukan parameter kematangan buah alpukat berdasarkan karakteristik fisiologisnya, dan 3) perancangan kemasan dan pengujian buah alpukat dengan indikator warna untuk deteksi tingkat kematangan buah.

1. Formulasi Bahan dan Pembuatan Indikator Warna

Langkah awal dalam pembuatan label indikator kematangan adalah untuk menghasilkan formulasi bahan pewarna yang berfungsi sebagai indikator. Tujuannya adalah menghasilkan larutan pewarna yang sensitif terhadap senyawa etilen. Berdasarkan hasil dari pra penelitian didapatkan hasil yaitu larutan dibuat dari ammonium molibdat sebagai zat terlarut dan hidrogen peroksida sebagai pelarut. Ammonium molibdat sebanyak 1, 2 dan 3 gram dilarutkan dalam 10 ml hidrogen peroksida lalu ditambahkan larutan kalium permanganat sebanyak 1, 3 dan 5 ml. Pencampuran ammonium molibdat dengan pelarut hidrogen peroksida dilakukan dengan menuangkan ammonium molibdat kedalam hidrogen peroksida. Jika dilakukan sebaliknya akan menyebabkan kehilangan panas yang berlebihan dan bisa berbahaya. Pencampuran larutan kalium permanganat dilakukan setelah semua ammonium molibdat terlarut secara rata pada hidrogen peroksida ditandai dengan warna larutan berubah menjadi kuning. Ammonium molibdat adalah senyawa kristal berwarna kuning transparan dan akan mengalami perubahan warna setelah bereaksi.

2. Menentukan parameter kematangan buah alpukat berdasarkan karakteristik fisiologisnya

Karakteristik fisiologis buah alpukat termasuk laju respirasi dan produksi gas etilen diukur. Pengukuran perubahan fisiologis dilakukan dengan memasukkan buah alpukat ke dalam *chamber* lalu disimpan selama 0, 2, 4, 6, 8 dan 10 hari pada suhu ruang (26°C). Gas kromatografi digunakan untuk menganalisis laju respirasi dengan mengukur penyerapan oksigen. Gas kromatografi dihidupkan kurang lebih selama 45 menit sampai lampu petunjuk *ready* berkedip-kedip kemudian gas kromatografi siap digunakan. Pada saat

running selang penyaluran oksigen dari *chamber* etilen dan oksigen ke gas kromatografi dijepit oleh klip agar oksigen yang ada pada *chamber* tidak bocor (tidak ada sirkulasi udara). Pada saat pengukuran oksigen, klip ini dilepas sehingga oksigen yang ada pada ruang penyerapan terhubung dengan gas kromatografi untuk dilakukan pembacaan konsentrasi oksigen.

Analisis sampel etilen buah alpukat dilakukan dengan menggunakan gas kromatografi jenis FID (*Flame Ionization Detektor*). Pengukuran tersebut dilakukan di Laboratorium Lingkungan dan Bangunan Pertanian dengan menggunakan GC tipe D-263-50 Hitachi. Penginjeksian etilen dilakukan dengan cara mengambil sampel etilen dari ruang penyerapan dengan menggunakan *syringe* dan kemudian sampel diinjeksikan kedalam kolom yang terdapat pada gas kromatografi. Kolom yang digunakan untuk etilen analisis didorong dengan gas pendorong N_2 0.5 kgf/menit dan gas kromatografi dihubungkan dengan rekorder grafik yang diberi kertas (Maicardinal, 1999).

Kemudian tahap selanjutnya dilakukan pengamatan parameter pada tekstur kekerasan, total padatan terlarut buah alpukat dan warna label indikator selama 0, 2, 4, 6, 8 dan 10 hari.

3. Perancangan kemasan buah alpukat dengan indikator warna untuk deteksi tingkat kematangan buah.

Nilai dari hasil perbandingan perubahan fisiologis buah alpukat yaitu laju etilen dan laju respirasi dengan kekerasan dan TPT yang paling berpengaruh dijadikan dasar dalam merancang indikator kematangan.

Kegiatan utama pada perancangan kemasan adalah pengujian konsentrasi minimal gas etilen yang mampu mengubah indikator warna yang digunakan pada label. Percobaan dilakukan dengan menempatkan indikator warna pada salah satu sisi *chamber*. Suhu dan kelembaban ruangan disesuaikan pada 25°C dan kemudian gas etilen pada berbagai konsentrasi disuntikkan ke dalam *chamber* melalui karet *stopper* yang ditempel pada penutup wadah. Pengujian tahap ini menggunakan komposisi gas etilen yang berbeda untuk setiap *chamber*, seperti 30, 40 dan 50 ppm. *Chamber* yang digunakan dalam pengujian ini memiliki dimensi 17 x 9 x 11.5 cm.

Degradasi warna pada label indikator diamati untuk melihat seberapa sensitif label tersebut pada gas etilen berbagai konsentrasi. Jika warna yang dihasilkan oleh label indikator makin beragam maka daya serap label indikator terhadap etilen semakin banyak. Selanjutnya, untuk membaca perubahan warna secara tepat dapat menggunakan *chromameter*.

Aplikasi Indikator Kematangan Pada Buah Alpukat

Label indikator kematangan diujicobakan pada alpukat yang dikemas dengan desain kemasan seperti pada tahap sebelumnya. Buah alpukat mengeluarkan etilen selama proses kematangannya dimana jumlah C_2H_4 yang dihasilkan bergantung pada keadaan

kematangan buah. Jumlah etilen yang dihasilkan bisa di bawah $1\mu l\ kg^{-1}\ h^{-1}$. Perubahan warna indikator seiring dengan hari penyimpanan buah alpukat dilihat secara visual dan dikuantifikasi dengan *chromameter* untuk identifikasi warna yang tepat. Pengukuran warna setiap sampel dilakukan sebanyak 2 kali. Data yang diperoleh digunakan sebagai dasar penentuan umur simpan buah alpukat yang diamati. Hal ini terjadi karena intensitas perubahan warna akan sejalan dengan jumlah etilen yang diproduksi oleh buah alpukat selama penyimpanan. Pada awal masa penyimpanan, produksi etilen buah alpukat relatif sedikit sehingga tingkat oksidasi pun masih rendah, akibatnya warna label indikator belum banyak berubah. Seiring dengan berjalannya waktu penyimpanan hingga waktu klimakterik, dimana produksi etilen semakin tinggi maka reaksi oksidasi akan semakin tinggi pula sehingga warna label indikator akan semakin berubah.

Analisis Data

Analisis statistik menggunakan Rancangan Acak Lengkap 2 faktorial. Kemudian diukur dengan metode eksperimental duplo dimana pelipat gandaan percobaan menjadi dua kali percobaan. Metode ini dilakukan untuk membandingkan nilai hasil pengukuran yang pertama dan kedua agar tidak terjadi kesalahan yang signifikan atau mengurangi faktor kesalahan. Faktor pertama yang digunakan adalah pemberian amonium molibdat (A) sebanyak 1, 2 dan 3 gram selanjutnya faktor kedua adalah pemberian larutan $KMnO_4$ (K) dengan dosis 1, 3 dan 5 ml terhadap lama penyimpanan 0, 2, 4, 6, 8 dan 10 hari sehingga didapatkan 9 perlakuan yaitu A1K1, A1K3, A1K5, A2K1, A2K3, A2K5, A3K1, A3K3 dan A3K5. Data yang diperoleh akan diuji dengan ANOVA dengan tingkat kepercayaan 95% dan jika antar perlakuan berbeda nyata maka akan dilakuka Uji lanjut Duncan untuk mendapatkan perlakuan terbaik.




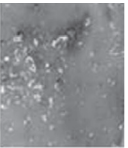

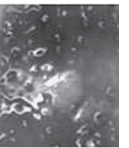
















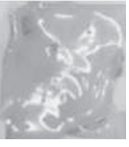



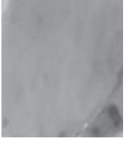
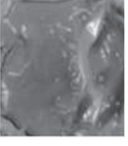
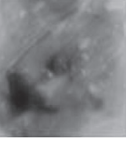




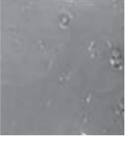
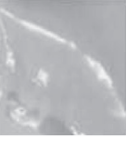




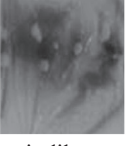
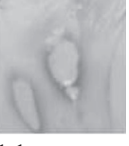
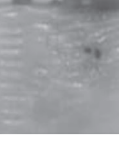


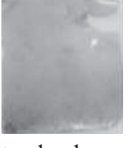




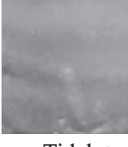


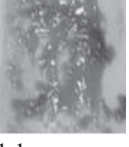

Hasil dan Pembahasan

Formulasi Bahan dan Pembuatan Indikator Warna

Indikator label menggunakan ammonium molibdat ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}$) sebagai indikator pewarna, hidrogen peroksida (H_2O_2) sebagai zat pelarut dan larutan $KMnO_4$ sebagai pendeteksi etilen. Amonium molibdat yang lebih tinggi konsentrasi membuat reaksi agresif karena mengandung kandungan logam. Tetapi jika rendah konsentrasi, maka sensitivitas label indikator akan berkurang. Hal ini berarti larutan warna yang kurang terkonsentrasi mengandung lebih sedikit ammonium molibdat. Jika mengandung sedikit ammonium molibdat, maka film ini akan mengalami penyerapan etilen yang buruk yang mana perubahan warna pada label tidak muncul dengan jelas.

Tabel 1 menunjukkan hasil perubahan indikator warna antara ammonium molibdat dan $KMnO_4$. Pada tahap ini dilakukan pemilihan konsentrasi antara ammonium molibdat dan $KMnO_4$. Hal ini dilakukan

Tabel 1. Pengaruh konsentrasi ammonium molibdat dan KMnO_4 terhadap perubahan warna label.

Perlakuan	Hari					
	0	2	4	6	8	10
A1K1 Penampakan						
	Terdapat gelembung-gelembung udara pada indikator					
A1K3 Penampakan						
	Terdapat gelembung-gelembung udara pada indikator					
A1K5 Penampakan						
	Terdapat gelembung-gelembung udara pada indikator					
A2K1 Penampakan						
	Terdapat sedikit gelembung pada indikator					
A2K3 Penampakan						
	Terdapat sedikit gelembung pada indikator					
A2K5 Penampakan						
	Terdapat sedikit gelembung pada indikator					
A3K1 Penampakan						
	Tidak terdapat gelembung namun indikator mudah hancur					
A3K3 Penampakan						
	Tidak terdapat gelembung namun indikator mudah hancur					
A3K5 Penampakan						
	Tidak terdapat gelembung namun indikator mudah hancur					

untuk mengetahui pengaruh konsentrasi antara ammonium molibdat dan $KMnO_4$ terhadap perubahan warna label. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi terbaik antara ammonium molibdat dan $KMnO_4$ yaitu A2K3. Perubahan indikator warna A2K3 dari kuning menjadi warna hijau dimulai dari hari ke 2 secara merata dan konsisten. Hasil tersebut sesuai dengan Harmaji (2017) yang menghasilkan warna label indikator yang tercampur gas etilen berubah menjadi hijau. Hal tersebut menunjukkan semakin rendahnya konsentrasi antara ammonium molibdat dan $KMnO_4$ tidak menghasilkan warna yang maksimal dan merata sedangkan konsentrasi antara ammonium molibdat dan $KMnO_4$ yang tinggi menghasilkan warna yang terlalu pekat.

Perubahan Fisiologi Buah Alpukat

Laju Respirasi Buah Alpukat

Setelah dilakukan pengukuran laju respirasi (Gambar 1), diketahui bahwa laju produksi CO_2 memiliki nilai tertinggi pada hari ke 6 sebesar 15.66 ml/kg.jam kemudian mengalami penurunan pada hari berikutnya dan nilai terendah pada hari ke 1 sebesar 4.72 ml/kg.jam. Selanjutnya, pada laju konsumsi O_2 nilai tertinggi sebesar 7.89 ml/kg.jam pada hari ke 3 dan nilai terendah pada hari ke 5 sebesar 3.26 ml/kg.jam. Menurut Winarno dan Aman (1979), rasio antara CO_2 yang dihasilkan buah dengan O_2 yang dikonsumsi buah disebut RQ (*Respiratory Quotient*). Apabila nilai RQ adalah 1.0 kemungkinan besar bahan yang dioksidasi seluruhnya adalah karbohidrat (gula), sedangkan jika nilai RQ sebesar 0.80 maka bahan yang dioksidasi adalah lemak, lalu untuk RQ sebesar 0.71 berarti respirasi dilangsungkan dengan hanya mengoksidasi protein saja, dan bila RQ berkisar

antara 0.71-1.0 maka bahan yang dioksidasi adalah campuran. Nilai RQ buah alpukat selama penyimpanan berkisar antara 0.71-1.0 maka bahan yang dioksidasi alpukat selama respirasi adalah campuran antara lemak, protein, dan karbohidrat.

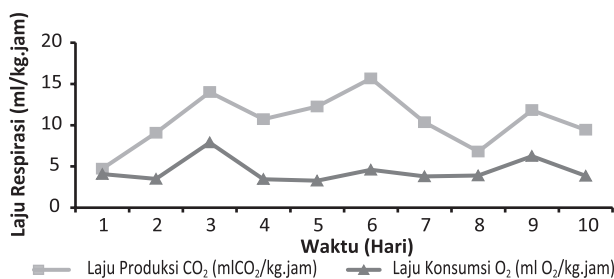
Laju dan Produksi Etilen Buah Alpukat

Dalam pengamatan ini, hasil penelitian laju dan produksi etilen (Gambar 2) diketahui bahwa laju dan produksi etilen mengalami puncak pada hari ke 6 masing-masing sebesar 16.28 ppm/kg.hari dan 44.37 ppm yang terus mengalami penurunan pada hari selanjutnya sampai buah mengalami kerusakan. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Nurjanah (2002), bahwa proses pematangan buah akan memperlihatkan terjadinya peningkatan produksi gas etilen hingga mencapai puncak tertentu, setelah itu jumlahnya akan mengalami penurunan seiring dengan berakhirnya proses kematangan buah alpukat.

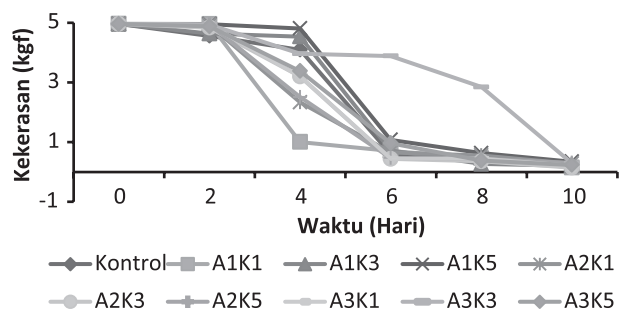
Pengamatan Parameter Buah Alpukat

Kekerasan Buah Alpukat

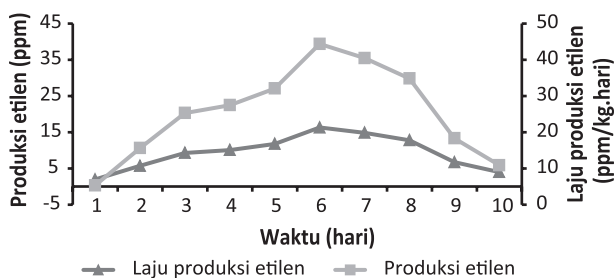
Terjadinya penurunan kekerasan merupakan akibat dari reaksi laju respirasi alpukat, terlihat dari Gambar 1 dan Gambar 3 yang menunjukkan saat laju respirasi meningkat maka besar penurunan nilai kekerasan alpukat juga meningkat, namun setelah mencapai puncak klimakterik meskipun laju respirasi menurun tetapi tidak diikuti dengan meningkatnya nilai kekerasan, hal ini disebabkan karena telah terjadi perombakan protopektin selama penurunan nilai kekerasan sebelumnya. Menurut Syafutri et al. (2006) menurunnya tingkat kekerasan dapat disebabkan oleh proses respirasi. Pada proses respirasi, terjadi pecahnya karbohidrat menjadi senyawa-senyawa



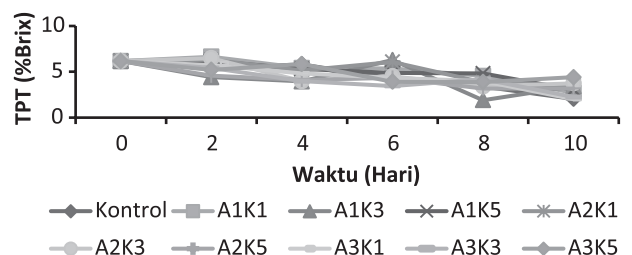
Gambar 1. Laju respirasi buah alpukat.



Gambar 3. Kekerasan Buah Alpukat.



Gambar 2. Laju produksi etilen dan produksi etilen buah alpukat.



Gambar 4. Total padatan terlarut buah alpukat.

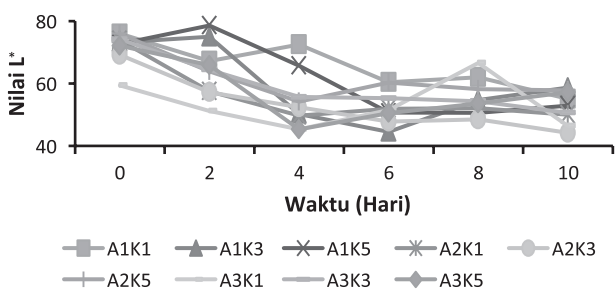
yang lebih sederhana sehingga jaringan pada komoditi menjadi lunak. Berdasarkan Gambar 11 terlihat grafik kekerasan buah alpukat mengalami penurunan di semua perlakuan dan kontrol.

Total Padatan Terlarut Buah Alpukat

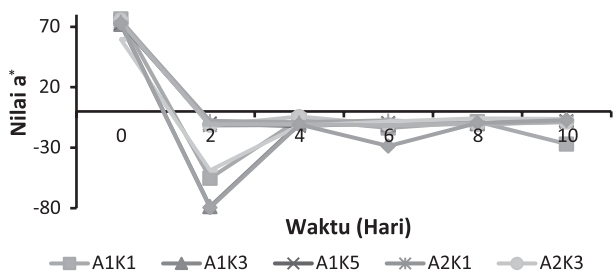
Bila merujuk pada laju respirasi maka terlihat ada keterkaitan dengan nilai total padatan terlarut, terlihat saat laju respirasi meningkat maka nilai total padatan terlarut juga meningkat, namun kondisi tersebut tidak pasti terjadi. Selama proses pematangan buah menghasilkan gas etilen yang terakumulasi selama proses pematangan dan mengakibatkan proses metabolisme yang berlangsung secara terus-menerus sehingga perombakan pati menjadi glukosa berlangsung dengan cepat. Menurut Pantastico (1989) menyatakan bahwa semakin banyak total padatan terlarut pada buah alpukat maka semakin banyak pula yang terlarut didalamnya, dan sebaliknya semakin sedikit total padatan terlarut maka semakin sedikit pula yang terlarut didalamnya. Hasil uji total padatan terlarut dapat dilihat pada Gambar 4.

Perubahan Warna Label Indikator

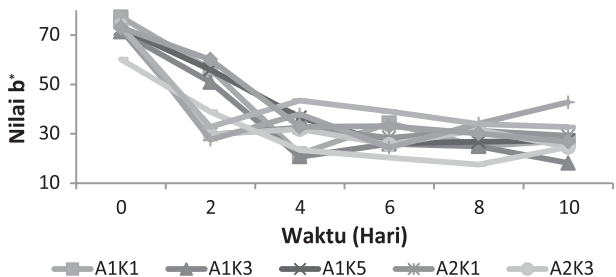
Ruang warna L*a*b* adalah teori yang menyatakan bahwa dua warna tidak bisa merah dan hijau pada



Gambar 5. Nilai L* label indikator warna.



Gambar 6. Nilai a* label indikator warna.



Gambar 7. Nilai b* label indikator warna

waktu yang sama atau kuning dan biru pada saat waktu yang sama. Nilai L* menunjukkan light/ terang, a* menunjukkan koordinat warna merah/ hijau dan b* adalah koordinat warna biru/ kuning.

Nilai L*

Nilai L* berdasarkan perlakuan A1K1 menunjukkan pengaruh berbeda nyata pada dengan semua perlakuan. Sementara perlakuan A1K5 menunjukkan pengaruh tidak berbeda nyata pada dengan perlakuan A2K5. Selanjutnya, berdasarkan lama penyimpanan pada hari ke 4 menunjukkan pengaruh tidak berbeda nyata pada hari ke 6, 8 dan 10 namun menunjukkan pengaruh berbeda nyata pada hari ke 0 dan 2. Hasil pengukuran perubahan warna nilai L* label indikator warna dapat dilihat pada Gambar 5.

Nilai a*

Nilai a* berdasarkan perlakuan A1K1 tidak menunjukkan pengaruh berbeda nyata pada dengan A1K3 dan A3K5. Sementara perlakuan A2K5 menunjukkan pengaruh berbeda nyata pada dengan perlakuan A3K3, A3K1 dan A1K1. Selanjutnya, berdasarkan lama penyimpanan pada hari ke 4 menunjukkan pengaruh tidak berbeda nyata pada hari ke 6, 8 dan 10 namun menunjukkan pengaruh berbeda nyata pada hari ke 0 dan 2. Pada Gambar 6 dijelaskan bahwa nilai a* pada label indikator warna mengalami penurunan selama masa penyimpanan. Hal itu menunjukkan warna pada label indikator cenderung berwarna hijau dari hari ke hari.

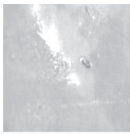
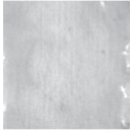
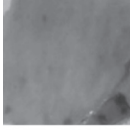
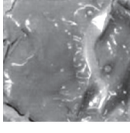
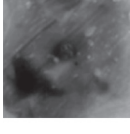
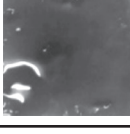
Nilai b*

Nilai b* berdasarkan perlakuan A3K1 menunjukkan pengaruh berbeda nyata pada dengan semua perlakuan. Sementara perlakuan A1K1 menunjukkan pengaruh tidak berbeda nyata pada dengan perlakuan A2K5. Selanjutnya, berdasarkan lama penyimpanan pada hari ke 4 menunjukkan pengaruh tidak berbeda nyata pada hari ke 6, 8 dan 10 namun menunjukkan pengaruh berbeda nyata pada hari ke 0 dan 2. Hasil pengukuran perubahan warna nilai b* label indikator warna dapat dilihat pada Gambar 7.

Hubungan Warna Label sebagai Parameter Kematangan Buah Alpukat

Hubungan respon perubahan warna label dengan nilai hasil pengujian parameter kematangan buah alpukat seperti kekerasan, total padatan terlarut dan indikator perubahan warna nilai L*, a* dan b* sangat penting dilakukan untuk mengetahui tingkat sensitivitas label dalam mendeteksi kesegaran buah alpukat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi terbaik dari A2K3. Hubungan kematangan buah alpukat dengan warna label dapat dilihat pada Tabel 2. Perubahan warna yang terjadi yaitu dari kuning terang menjadi hijau gelap. Semakin lama waktu penyimpanan buah alpukat maka mengalami penurunan nilai kekerasan dan TPT yang berarti mutu buah alpukat semakin menurun. Label indikator warna menunjukkan

Tabel 2. Hubungan kematangan buah alpukat dengan warna label indikator.

Lama penyimpanan (hari)	Parameter Kematangan buah alpukat					Warna Label Indikator
	Kekerasan (kgf)	TPT (%Brix)	Nilai L*	Nilai a*	Nilai b*	
0	4.95	6.17	69.12	75.60	73.82	
2	4.83	6.47	57.22	-11.50	29.72	
4	3.19	3.97	52.36	-4.25	31.84	
6	0.43	4.50	47.77	-10.93	25.60	
8	0.35	3.40	48.46	-10.64	31.65	
10	0.14	3.73	44.15	-8.76	24.60	

perubahan warna pada hari ke 0 sampai hari ke 10 menjadi hijau gelap dengan nilai L*, a* dan b* masing-masing sebesar 44.15, -8.76 dan 24.60 yang berarti buah alpukat sudah mengalami kerusakan atau tidak layak dikonsumsi (busuk). Perubahan warna ini sesuai dengan keadaan visual dari indikator label yang telah mengalami perubahan kematangan buah alpukat dengan buah yang telah lunak teksturnya dan juga mengeluarkan bau busuk.

Simpulan

Label indikator perubahan warna ammonium molibdat–kalium permanganat terbaik adalah perlakuan 2 gram ammonium molibdat and 3 gram kalium permanganate karena memiliki respon gradasi warna yang baik dan merata sehingga berpotensi sebagai pendeteksi keberadaan etilen dalam kemasan. Respon label indikator warna dalam mendeteksi etilen ditandai dengan perubahan warna dari kuning terang menjadi hijau gelap. Nilai L*, a* dan b* indikator tersebut menunjukkan perubahan yang signifikan selama penyimpanan.

Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik. 2019. Produksi Buah-Buahan. www.bps.go.id. Diakses tanggal 21 Juli 2019.
- Giovannoni, J. 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annu.Rev.Plant Physiol.* 52:725-749.
- Harmaji, D.D. 2017. Label cerdas pendeteksi kematangan buah klimaterik berbahan PVA (polivinil alkohol). (Skripsi). IPB. Bogor
- Kerry, J. and P. Butler. 2008. Smart packaging technologies for fast moving consumer goods. John wiley & sons, Ltd. England
- Maicardinal. 1999. Mempelajari Efektivitas Sistem Penyerap Etilen dengan Kalium Permanganat (KMnO₄) dan Pengaruhnya terhadap Konsentrasi CO₂ pada Penyimpanan Buah Segar. (Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor
- Nurjanah, S. 2002. Kajian laju respirasi dan produksi etilen sebagai dasar penentuan waktu simpan sayuran dan buah-buahan. *J Bionatura.* 4(3):148-156

- Pantastico, E.R.B. 1989. Fisiologi pascapanen, penanganan dan pemanfaatan buah-buahan dan sayur-sayuran tropika dan sub tropika. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Seymour, G. dan G. Tucker. 1993. Avocado, in: biochemistry of fruit ripening, Chapman and Hall, London, UK, Vol. 1: 53-81
- Syafutri, M.I., F. Pratama dan D. Saputra. 2006. Sifat fisik dan kimia buah mangga (*Mangifera indica* L.) selama penyimpanan dengan berbagai metode pengemasan. *J Teknol dan Indust Pangan*. 17(1)
- Winarno, F.G., dan M. Aman. 1979. Fisiologi Lepas Panen. Jakarta (ID). Sastra Hudaya.

PEDOMAN PENULISAN

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan media publikasi untuk tulisan asli yang belum pernah diterbitkan di dalam jurnal ilmiah nasional maupun internasional, dan berkaitan dengan teknik pertanian (*Agricultural Engineering*) secara luas.

1. Pedoman Umum

Naskah termasuk *Abstract* diketik menggunakan program *Microsoft Word* huruf *Times New Roman* 12 point (font 12), ukuran kertas A4 (21x29.5cm). Pias 3 cm, spasi 1.5, maksimum 15 halaman termasuk tabel dan gambar serta diberi nomor halaman pada sudut bawah sebelah kanan. Tabel dan gambar diletakkan pada akhir naskah atau pada lembar dan *file* terpisah. Tambahkan nomor baris dan nomor halaman pada naskah. Pengiriman naskah dilakukan melalui *Online Submission* pada *Open Journal System* (OJS) pada website <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Naskah diunggah dengan tanpa menyertakan nama penulis dan isintasinya. Apabila mengalami kesulitan dalam melakukan *online submission* dapat menghubungi redaksi JTEP pada alamat:

**Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem,
Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Dramaga, Bogor 16690.
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Telepon: 0251-8624503 HP: 0815 1044 0804**

2. Susunan Naskah

Naskah disusun dalam urutan Judul, Penulis dan alamat instansinya, *Abstract*, Pendahuluan, Bahan dan Metode, Hasil dan Pembahasan, Kesimpulan, Ucapan Terima Kasih, Daftar Pustaka, Tabel dan Gambar. Naskah undangan tidak harus mempunyai susunan seperti tersebut di atas.

3. Judul

Judul memberikan subyek penelitian dengan ringkas dan dicetak tebal (*bold*) dengan huruf kapital pada setiap awal kata, kecuali untuk kata depan dan kata sambung. Untuk naskah dalam Bahasa Indonesia harus disertai judul dalam Bahasa Inggris yang dicetak miring (*italic*). Judul dalam Bahasa Indonesia tidak lebih dari 14 kata dan dalam Bahasa Inggris tidak lebih dari 10 kata.

Nama lengkap, nama lembaga afiliasi serta alamat para penulis, ditulis secara berurutan di bawah Judul. Tambahkan alamat email pada nama penulis untuk korespondensi.

Contoh Penulisan Judul:

Pemodelan Sistem Filtrasi Terkendali pada Sistem Resikulasi Pembenuhan Ikan
Modeling Controlled Filtration System in Fish Hatchery Recirculation System

Alfin Najwan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor,
Email: najwan@yahoo.com
Ikhlusal Amal, Departemen Budidaya Perairan, Institut Pertanian Bogor.

4. Abstract dan Kata Kunci

Abstract menggambarkan esensi isi keseluruhan tulisan dan di dalamnya tidak terdapat kutipan pustaka. *Abstract* ditulis dalam bahasa Inggris dan bahasa Indonesia dalam satu paragraf tidak lebih dari **200** kata. Kata kunci ditulis setelah *Abstract* maksimum 5 kata, masing-masing dalam bahasa Inggris dan Indonesia. Kata kunci yang ditulis pertama merupakan kata kunci yang terpenting.

5. Naskah Utama

Penulisan sub judul utama (Pendahuluan, Bahan dan Metode, Hasil dan Pembahasan, Simpulan dan Ucapan Terima Kasih) menggunakan huruf kapital pada setiap awal kata, tanpa nomor, dicetak tebal dan posisi di tengah.

Pendahuluan menjelaskan alasan mengapa penelitian dilakukan, perumusan dan pemecahan masalah, status ilmiah (*state of the art*) penelitian-penelitian terdahulu serta tujuan dan hasil penelitian yang diharapkan.

Bahan dan Metode menjelaskan bagaimana penelitian dilakukan atau cara-cara untuk mencapai tujuan penelitian.

Hasil dan Pembahasan mencantumkan data yang diperoleh, analisis data, temuan-temuan yang spesifik serta perbandingannya dengan penelitian-penelitian terdahulu secara berurutan sesuai dengan urutan dalam tujuan. Hindari penyajian tabel dan gambar dari data yang sama.

Simpulan harus mengacu pada tujuan penelitian

dan berisi simpulan hasil penelitian secara umum bukan mengulang abstrak.

Sub-sub judul ditulis dengan huruf kapital pada setiap awal kata, tanpa nomor, dicetak tebal dan posisi di sebelah kiri. Kata/kalimat dalam bahasa asing ditulis miring. Nama organisme harus diikuti dengan nama ilmiahnya secara lengkap pada pengungkapan pertama. Singkatan pertama kali ditulis di dalam kurung setelah kata-kata yang disingkatnya. Penulisan angka menggunakan US System seperti: 1,000,000 menyatakan satu juta dan 2.5 menyatakan dua lima per sepuluh. Sistem satuan yang digunakan adalah SI Unit: cgs (centimeter, gram, second/detik). Simbol/notasi ditulis menggunakan huruf miring dan disertai keterangannya pada pengungkapan pertama. Persamaan diberi nomor urut yang dituliskan di belakang persamaan dan di dalam tanda kurung.

6. Tabel dan Gambar

Tabel ditulis dalam halaman terpisah setelah halaman terakhir dari naskah. Di dalam naskah cantumkan nomor dan judul tabel pada paragraf dimana tabel tersebut akan ditempatkan.

Contoh pada naskah:

.....Sifat fisik bahan pada masing-masing kadar air ditunjukkan pada Tabel 1.

[Tabel 1. Berat jenis lada berdasarkan kadar air]

Contoh pada halaman tabel:

Tabel 1. Berat jenis lada berdasarkan kadar air

Kadar Air (%)	Bulk density (g/cm ³)	Seed density (g/cm ³)
10.84	0.6423	11.492
17.80	0.6043	10.868

Gambar dibuat hitam putih (B/W) atau *greyscale* dalam lembaran terpisah pada halaman terakhir setelah halaman tabel. Apabila ukurannya besar, gambar dapat disimpan dalam file terpisah yang lain (*.jpg, *.gif, *.wmf atau *.emf). Di dalam naskah cantumkan nomor dan nama gambar pada paragraf dimana gambar tersebut akan diletakkan.

Contoh pada naskah:

.....(paragraf sebelumnya)

[Gambar 1. Perubahan suhu dengan waktu proses pengendalian]

.....(paragraf sesudahnya)

7. Daftar Pustaka

Daftar pustaka mencantumkan pustaka-pustaka bermutu (primer, mutakhir dan relevan) yang dirujuk saja. Pustaka diketik berdasarkan urutan alfabet dari nama akhir (nama keluarga) penulis pertama dan tahun. Apabila terdapat beberapa pustaka yang ditulis yang sama, tambahkan huruf 'a', 'b' dan seterusnya di belakang tahun. Pustaka dari internet hanya boleh di lakukan bila berasal dari lembaga yang resmi.

Berikut beberapa contoh penulisan pustaka :

Jurnal :

Suhardiyanto, H., M.M. Fuad dan Y. Widiningrum. 2007. Analisis pindah panas pada pendinginan dalam tanah untuk sistem hidroponik. Jurnal Keteknikan Pertanian Vol.21 (4):355-362.

Prosiding :

Fukuda, T., Y. Nakano, Kuroda, S. Takeuchi, B.I. Setiawan, A. Sapei and F. Nurrochmad. 2001. Water manajemen and water quality of paddyarea in Cidanau watershed at West Java. Proceedings of the 1st Seminar: Toward Harmonization between Development and Environmental Conservation in Biological Production, Tokyo, February 21-23, 2001. p 201-205.

Buku :

Morga, R.P.C. 1996. Soil Erosion and Conservation. 2ndEd. Longman. Harlow

Bab dalam buku :

Howell, T.A., F.K. Alijiburi, H.M. Gitlin, I. Pai Wu, A.W. Warrick dan P.A.C. Raats. 1980. Design and operation of trickle (drip) irrigation, in Jensen, M.E.(Ed.). Design and Operation of Farm Irrigation System. ASAE. Michigan. p 663-717.

Skripsi/Tesis/Disertasi :

Arifanto, T. 2002. Teknik perbaikan filter fisik dan filter kimia pada sistem resirkulasi pembenihan ikan patin. (Skripsi). Departemen Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.

DAFTAR ISI

Review

137

Energi Terbarukan dari Jerami Padi : Review Potensi dan Tantangan Bagi Indonesia

Renewable Energy from Rice Straw: Review on Potential and Challenges for Indonesia

Agus Haryanto, Siti Suharyatun, WindaRahmawati, Sugeng Triyono

Technical Paper

121

**Pendugaan Emisi CO₂ dariLahan Gambut dengan Menggunakan Mode
Artificial Neural Network (ANN)**

Prediction ofPeatland's CO₂ Emissions Using Artificial NeuralNetwork (ANN) Model

Satyanto KridoSaptomo, Anna Farida, Yudi Chadirin, Budi Indra Setiawan, Kazutoshi Osawa

129

**Desain dan Kinerja Mesin Ekstruder Twin Screw untuk
Pembuatan Pakan Ikan Terapung**

Design and Performance of Twin Screw Extruders for Producing Floating Fish Feed

Arif Rahman Hakim, Wahyu Tri Handoyo, Ahmat Fauzi, Widiarto Sarwono

147

**Pengembangan Prototipe dan Pengujian Traktor Satu Roda
untuk Pemeliharaan Tanaman Padi**

Prototyping and Performance Test of Single Wheel Tractor for Rice Plants Maintenance

Jusran, Radite Praeko Agus Setiawan, I Dewa Made Subrata

155

**Rancangan Kemasan dengan Indikator Warna untuk Deteksi Tingkat
Kematangan Buah Alpukat**

Packaging Design with Color Indicator to Detect Ripeness Levels of Avocado Fruit

Meika Wahyuni Azrita, Usman Ahmad, Emmy Darmawati

Penerbit:

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor
d/a Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem,
Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com. Website: <http://web.ipb.ac.id/~jtep>.

