

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

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

Vol. 6, No. 1, April 2018



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 Riset 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, dan mulai tahun ini berisi 15 naskah untuk setiap nomornya. Peningkatan jumlah naskah pada setiap nomornya ini dimaksudkan untuk mengurangi masa tunggu dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota PERTETA tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain 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 Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)
Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)
Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makassar)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)
Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)
Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)
Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)
Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

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. 6 No. 1 April 2018. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Edward Saleh, MS (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Nurpilihan Bafdal, M.Sc (Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.eng (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Andri Prima Nugroho, STP., M.Sc (Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwantana (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Radite Praeko Agus Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Prof.Ir. I Made Anom Sutrisna Wijaya, M.App.Sc., Ph.D (Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Dr.Ir. Amin Rejo, M.P (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Daniel Saputra, MS (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Hasbi, MSi (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Dr. Siti Nikmatin, M.Si (Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor), Dr. Farkhan (PT. CNC Controller Indonesia), Dr. Alimuddin, ST., MM., MT (Universitas Sultan Ageng Tirtayasa) Dr. Dedy Wirawan Soedibyo, STP., M.Si (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Jember), Dr. Radi, STP., M.Eng (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Lenny Saulia, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Nursigit Bintoro, M.Sc (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Rokhani Hasbullah, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Andasuryani, STP., M.Si (Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Andalas), Dr.Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. Nora H. Pandjaitan, DEA (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Rusnam, MS (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Radi, STP., M.Eng (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr. Suhardi, STP., MP (Program Studi Keteknikan Pertanian, Universitas Hasanuddin) Dr. Ir. Yuli Suharnoto, M.Eng (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Desain dan Kinerja Mesin Terintegrasi untuk Mencacah Daun Sawit dan Mengempa Pelepah Sawit

Design and Performance of an Integrated Machine for Chopping Oil Palm Leaves and Compressing Fronds

Ramayanty Bulan, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala. Email: ramayantybulan@gmail.com
Tineke Mandang, Departemen Teknik Mesindan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: tineke_mandang_2003@yahoo.com

Wawan Hermawan, Departemen Teknik Mesindan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Corresponding Author; Email: w_hermawan@ipb.ac.id; wawanfateta@yahoo.co.id
Desrial, Departemen Teknik Mesindan Biosistem, Institut Pertanian Bogor. Email: desrial_ipb@yahoo.com
Agussabti, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala. Email: agus_sabti@yahoo.co.uk

Abstract

Oil Palm frond wastes that are stacked in the rows between oil palm plants take a long time to decompose. To accelerate the decomposition, oil palm leaves need to be chopped into small size and the palm frond need to be compressed into flat. This research aims to design and analyze the performance of an integrated machine for chopping oil palm leaves and compressing fronds. The design of the machine is performed using engineering characteristics of palm leaves and fronds. The machine consists of palm leaf cutting unit, palm compressing unit and palm leaf chopping unit. All units are integrated and powered by a diesel engine. The leaf cutter used circular blades, the frond compressor used two pairs of grid-rolls and the leaf chopper used a reel-bed knife. All units were tested in order to obtain the machine capacity, percentage of leaves cut, percentage of reduction and increase in frond dimension and chopping leaves size. Leaf cutting unit was tested at blade speeds of 480, 640, and 800 rpm. The compressing unit was tested at rollers speeds of 70, 90, and 110 rpm. The chopping unit was tested at blade speeds of 800, 1200, and 1600 rpm. The test results showed that the optimum machine capacity was 207 frond/h (equal to 1.97 ton/h), leaf cutting was 83.01%, frond height decrease was 18.18 %, fronds width increase was 41.20%, and chopping leaves length and width were 23.3 mm, 3.20 mm, respectively. The optimum operation condition was achieved at cutting blade speed of 640 rpm, 110 rpm compressing rolls speed, and 1600 rpm chopping blade speed.

Keywords: *chopping machine, compression machine, machine performance, oil palm fronds, oil palm leaves*

Abstrak

Limbah pelepah sawit yang ditumpuk pada alur di antara tanaman kelapa sawit membutuhkan waktu yang lama untuk terdekomposisi. Untuk mempercepat dekomposisi, daun sawit perlu dicacah menjadi ukuran kecil dan pelepah sawitnya perlu dikempa menjadi pipih. Penelitian ini bertujuan mendesain dan menganalisis kinerja mesin pencacah daun dan pengempa pelepah sawit. Desain mesin dilakukan menggunakan data karakteristik teknik dan mekanik dari pelepah sawit. Mesin terdiri dari unit pemotong daun sawit, unit pengempa pelepah sawit dan unit pencacah daun sawit. Unit unit mesin tersebut diintegrasikan dengan penggerak sebuah motor diesel. Pemotong daun menggunakan pisau tipe *circular*, pengempa pelepah menggunakan dua pasang *grid-rolls* dan pencacah daun menggunakan pisau *reel-bedknife*. Semua unit diuji kinerjanya untuk memperoleh kapasitas mesin, persentase daun terpotong, persentase pengurangan dan pertambahan dimensi pelepah dan ukuran cacahan daun. Unit pemotong daun diuji pada kecepatan putar pisau 480, 640, dan 800 rpm. Unit pengempa diuji pada kecepatan putar *rolls* 70, 90, dan 110 rpm. Unit pencacah diuji pada kecepatan putar pisau 800, 1200, dan 1600 rpm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kapasitas optimum mesin adalah 207 pelepah/jam (setara 1.97 ton/jam), persentase daun terpotong 83.01 %, persentase pengurangan tinggi pelepah 18.18%, persentase pertambahan lebar pelepah 41.20%, panjang cacahan daun 23.3 mm dan lebar cacahan daun 3.20 mm. Kondisi optimum dicapai pada kecepatan putar pisau pemotong daun 640 rpm, kecepatan *rolls* pengempa 110 rpm dan kecepatan pisau pencacah 1600 rpm.

Kata kunci: daun sawit, kinerja mesin, mesin pencacah, mesin pengempa, pelepah sawit.

Diterima: 25 April 2017; Disetujui: 20 Februari 2018

Pendahuluan

Sistem panen di perkebunan kelapa sawit menghasilkan tandan buah segar (TBS) dan limbah berupa pelepah sawit yang ditumpuk di antara tanaman kelapa sawit (gawangan mati). Pelepah sawit yang ditumpuk akan mengalami proses dekomposisi yang sangat lama. Hal ini menjadikan satu lajur di antara setiap tanaman kelapa sawit tidak dapat digunakan sebagai lajur sarana perawatan dan transportasi (Gambar 1). Proses dekomposisi pelepah akan berlangsung cepat jika struktur jaringan pelepah sawit dilakukan kerusakan. Hal ini disebabkan mikroorganisme akan lebih mudah untuk mengurai jaringan pelepah sawit (Bulan, 2016). Struktur jaringan pelepah sawit dapat dirusak dengan melakukan proses kompresi mekanis. Pelepah yang telah melalui proses kompresi dapat digunakan sebagai mulsa di perkebunan kelapa sawit. Begitu juga dengan daun sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku utama dalam pembuatan kompos dan pakan ternak. Hal ini yang dilakukan oleh Robiyansyah (2016), yang merancang mesin pencacah pelepah sawit yang hasil cacahannya diperuntukkan sebagai pakan ternak sapi.

Perancangan mesin penanganan limbah pelepah sawit perlu mengacu pada karakteristik fisik dan mekanik daun dan pelepah sawit. Menurut beberapa peneliti (Intara *et al.*, 2005; Bulan *et al.*, 2015; Bulan *et al.*, 2016), faktor penting dalam pengembangan teknologi penanganan limbah pelepah sawit adalah harus dikembangkan berdasarkan sifat fisik dan mekaniknya. Rancangan mesin perlu didesain dengan mengintegrasikan sistem kompresi untuk pelepah sawit (unit pengempa) dan sistem pencacahan untuk daun sawit (unit pencacah). Unit pemotong daun akan ditambahkan untuk memisahkan daun dari pelepah sawit. Karakteristik fisik dan mekanik pelepah sawit dan daun sawit diperoleh dari publikasi peneliti-peneliti sebelumnya (Intara *et al.*, 2005; Bulan *et al.*, 2015).

Daun sawit tercacah dapat digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan kompos di perkebunan sawit (Bulan *et al.*, 2016). Unit pencacah

daun sawit berfungsi untuk memperkecil ukuran daun sawit. Hal tersebut dilakukan supaya proses pengomposan dapat berlangsung dengan baik. Sifat fisik daun sawit digunakan untuk menentukan batasan perancangan dimensi unit mesin pencacah. Karakteristik fisik daun sawit berdasarkan hasil penelitian Bulan *et al.* (2016) diketahui berat daun dalam satu pelepah 3.0 kg, lebar 27.2 mm, tebal 0.2 mm dan diameter lidi 2.2 mm. Gaya potong maksimum daun sawit adalah 67.67 N.

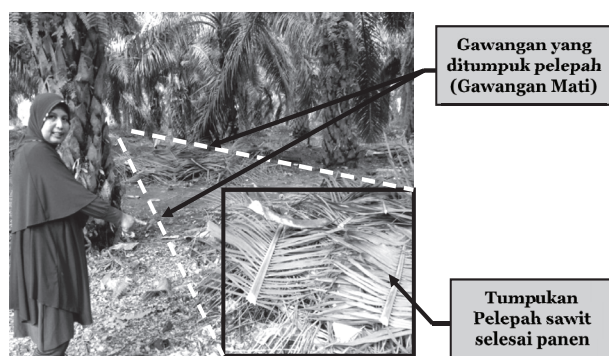
Pelepah sawit yang telah dikempa dapat dimanfaatkan sebagai mulsa di lahan perkebunan sawit. Unit pengempa berfungsi untuk memecahkan jaringan pelepah dengan cara memberi kompresi pada pelepah sawit. Mulsa berbahan pelepah sawit yang struktur jaringannya telah rusak akan mempercepat proses dekomposisi. Gaya maksimum yang dibutuhkan untuk melakukan pengempaan menurut Bulan *et al.* (2015) adalah sebesar 8.13 kN. Mengacu pada sifat fisik mekanik daun dan pelepah sawit tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mendesain dan menganalisis kinerja mesin pencacah daun dan pengempa pelepah sawit.

Bahan dan Metode

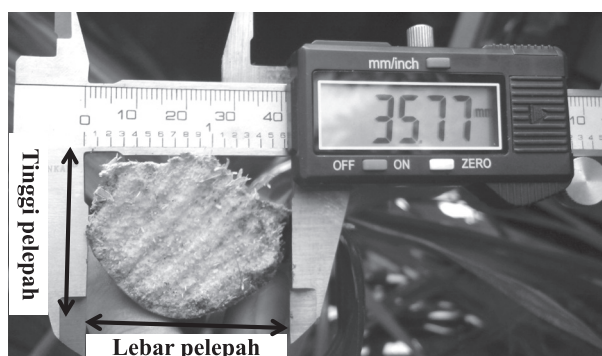
Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan untuk pembuatan mesin terdiri dari besi U (40 mm × 80 mm × 4 mm), besi siku (50 mm × 50 mm × 3 mm), plat besi (tebal 2 mm), poros S45C (Ø 50 mm; Ø 25 mm), *pillow block* (P205, T211, FBJ), *gearbox* (1:10; 1:30), motor 10 hp (diesel R180 NL), rantai, sproket, puli, *V-belt*, baut dan mur. Untuk pengujian kinerja mesin digunakan pelepah sawit dari kelapa sawit varietas tenera dengan umur tanaman 20 tahun.

Untuk merancang mesin digunakan perangkat lunak Solidworks 2016. Untuk pembuatan mesin digunakan peralatan dan mesin manufaktur yang lengkap sesuai kebutuhan. Untuk pengujian kinerja mesin digunakan peralatan yang terdiri dari: tachometer digital (DT-2234L), *stopwatch*, timbangan digital (DLE-200) dan jangka sorong digital (Nankai ±0.02).



Gambar 1. Tumpukan pelepah sawit di perkebunan kelapa sawit



Gambar 2. Dimensi penampang pelepah sawit bagian tengah

Rancangan Fungsional dan Struktural

Mesin dirancang dengan fungsi utama: mencacah daun sawit dan mengempa pelepah sawit. Untuk mendukung fungsi utama tersebut, diperlukan: 1) sub-fungsi memotong daun, 2) sub-fungsi mengempa pelepah, 3) sub-fungsi mencacah daun, dan 4) sub-fungsi memberikan tenaga putar pada setiap komponen kerja mesin. Pencacah daun ditargetkan dapat memperkecil ukuran daun menjadi 3-4 cm. Pengempa pelepah ditargetkan dapat memecah dan memipihkan pelepah setebal 2 cm.

Mesin yang dirancang terdiri dari: unit pemotong daun, unit pencacah daun dan unit pengempa pelepah. Keseluruhan unit digerakkan terintegrasi dengan sebuah motor diesel 10 hp (sesuai dengan hasil perhitungan kebutuhan daya). Komponen yang melakukan kerja sesuai dengan fungsi dan struktural dari mesin yang dirancang adalah sebagai berikut ini.

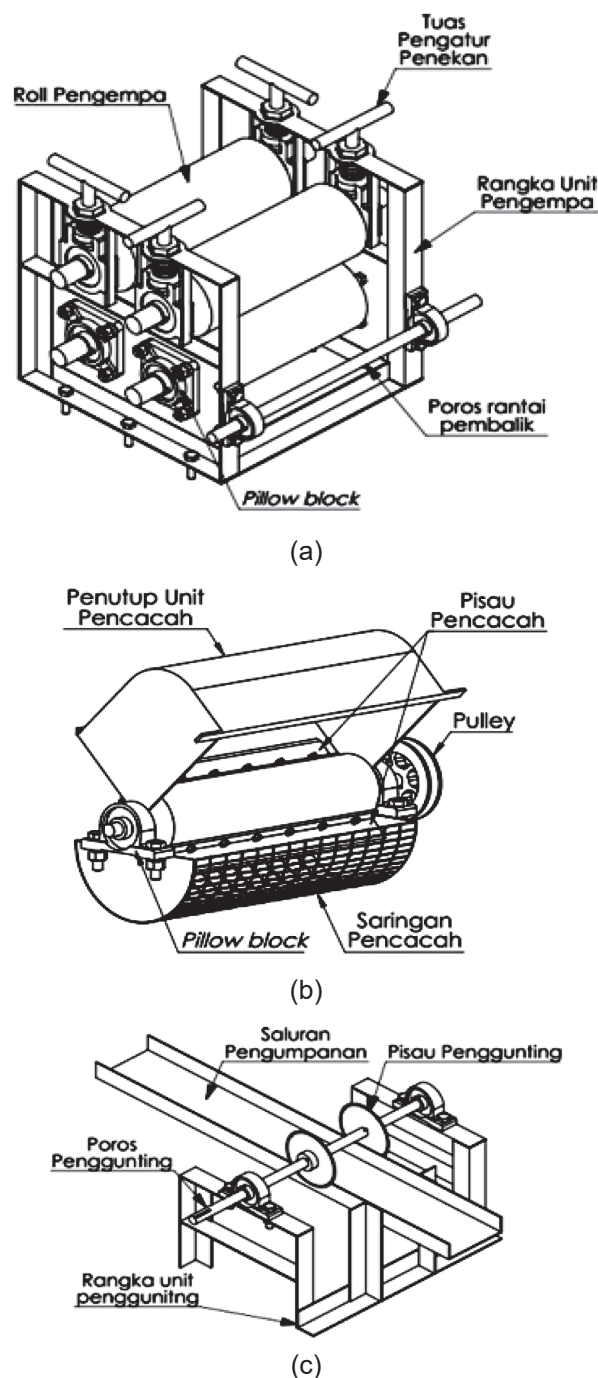
1. Rangka utama, merupakan bagian yang berfungsi sebagai tempat melekatnya unit pemotong daun, unit pencacah dan unit pengempa. Rangka utama mesin menggunakan bahan besi profil UNP. Dimensi rangka keseluruhan adalah panjang 1964 mm × lebar 1902 mm × tinggi 1567 mm.
2. Pisau pemotong daun (Gambar 3c), berfungsi untuk menggunting daun sawit dari pelepahnya. Pisau piringan ini berdiameter 167 mm dan terdiri dari dua buah. Pisau pemotong daun dipasang pada sisi kanan dan kiri dengan jarak antara 180 mm, dimana di antara pisau akan dilewati oleh pelepahnya.
3. *Roll* pengempa (Gambar 3a), berfungsi untuk melakukan pengempaan pada pelepah. *Roll* pengempa terdiri dari 2 pasang dengan diameter 200 mm dan panjang 495 mm. *Clearence* antar roll adalah 20 mm sesuai dengan hasil uji karakteristik pengepresan pelepah sawit (Bulan *et al.*, 2015).
4. Pisau pencacah (Gambar 3b), berfungsi untuk mencacah daun (dengan target potongan daun ≤ 30 mm) yang telah dipotong dari pelepahnya. Pisau pencacah menggunakan tipe *reel* dan *bed knife* dengan panjang 500 mm.
5. *Gearbox*, berfungsi untuk mereduksi kecepatan putaran dari motor diesel. *Gearbox* yang digunakan terdiri dari dua buah dengan rasio masing-masing 1:30 dan 1:10.
6. Motor diesel, berfungsi sebagai sumber tenaga penggerak untuk masing unit pengempa, unit pemotong daun dan unit pencacah.

Metode Pengujian dan Analisis Data

Uji kinerja dilakukan untuk memperoleh data kinerja mesin hasil perancangan. Pengujian juga dilakukan untuk menentukan kecepatan putar optimum dari pisau pemotong daun, rolls pengempa dan pisau pencacah daun, yang menghasilkan

target ukuran cacahan daun dan ketebalan pelepah hasil pengempaan. Untuk mendapatkan kecepatan putar optimum pemotong daun, dilakukan pengujian pemotongan daun pada tiga kecepatan putar yaitu: 480 rpm (G_1), 640 rpm (G_2), dan 800 rpm (G_3). Kinerja pisau pencacah diuji pada tiga kecepatan putar yaitu: 800 rpm (C_3), 1200 rpm (C_2), dan 1600 rpm (C_1). Unit pengempa diuji dengan kecepatan putar rolls: 70 rpm (K_1), 90 rpm (K_2), dan 110 rpm (K_3).

Data hasil pengujian yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan statistik dengan racangan



Gambar 3. Unit mesin pencacah daun sawit terintegrasi dengan pengempa pelepah sawit: (a) unit pengempa pelepah, (b) unit pencacah daun, (c) unit pemotong daun

acak lengkap dengan tiga faktor perlakuan dan masing-masing perlakuan di ulang tiga kali.

Parameter yang diamati selama uji kinerja mesin adalah sebagai berikut ini.

1. Kapasitas mesin, yang diperoleh dengan cara mengoperasikan mesin hasil rancangan dan mengumpankan pelepah sawit secara berkesinambungan, di mana ketiga unit bekerja secara terintegrasi. Pengujian dilakukan pada kecepatan putar pisau pemotong, rolls pengempa dan pisau pencacah optimum. Kapasitas mesin dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$K_M = \frac{J_p}{t} \quad (1)$$

2. Persentase daun yang terpotong, yang diperoleh dengan cara membandingkan jumlah daun yang berhasil dipotong dengan jumlah daun seluruhnya (dalam satu pelepah) sebelum dilakukan pemotongan dengan mesin. Persentase daun yang terpotong dihitung menggunakan Persamaan 2.

$$D_t = \frac{D_{ak}}{D_{aw}} \times 100\% \quad (2)$$

3. Persentase pengurangan atau penambahan dimensi pelepah, yang diperoleh dengan cara mengukur dimensi pelepah (tinggi dan lebar) sebelum dan sesudah pengempaan (Gambar 2), menggunakan jangka sorong. Persentase pengurangan atau penambahan dimensi pelepah dihitung menggunakan Persamaan 3-4.

$$L_t = \frac{L_{ak} - L_{aw}}{L_{aw}} \times 100\% \quad (3)$$

$$T_t = \frac{T_{ak} - T_{aw}}{T_{aw}} \times 100\% \quad (4)$$

4. Dimensi cacahan daun sawit, yang diperoleh dengan mengambil hasil cacahan daun sawit dari unit pencacah. Sampel yang digunakan untuk mengukur dimensi cacahan adalah sebanyak

20 sample tiap ulangan. Yang diukur adalah panjang dan lebar potongan, menggunakan jangka sorong. Dimensi cacahan daun sawit dihitung menggunakan Persamaan 5-6.

$$\overline{P}_{dc} = \frac{1}{20} (P_{dc(1)} + \dots + P_{dc(20)}) \quad (5)$$

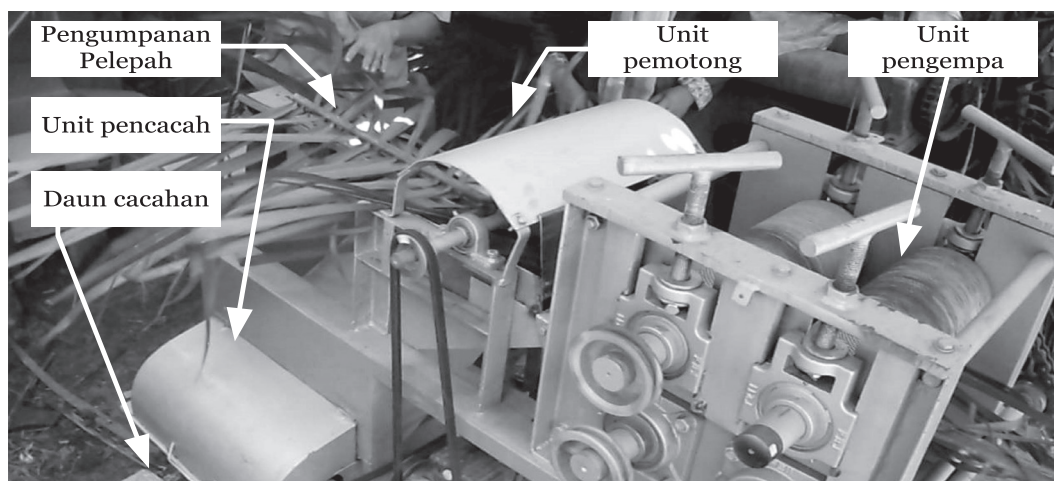
$$\overline{L}_{dc} = \frac{1}{20} (L_{dc(1)} + \dots + L_{dc(20)}) \quad (6)$$

Kriteria pemilihan perlakuan atau kombinasi kecepatan komponen mesin yang terbaik dilakukan dengan menggunakan metode yang disarankan oleh Dieter (1987). Kriteria yang akan dipilih adalah memiliki kapasitas mesin yang tinggi, jumlah daun terpotong yang tinggi, pengurangan tinggi pelepah yang besar, penambahan lebar pelepah yang besar, panjang daun cacahan yang terpendek dan lebar daun cacahan yang terpendek. Tahapan pemilihan kriteria metode indeks kinerja dengan pembobotan yang disarankan oleh Dieter (1987) adalah sebagai berikut ini.

1. Menentukan faktor yang berpengaruh dari kinerja mesin.
2. Melakukan perbandingan terhadap seluruh faktor yang berpengaruh dengan memberi nilai 1 untuk faktor yang lebih diutamakan dan nilai 0 untuk faktor yang kurang diutamakan. Tabel ini disebut dengan tabel *digital logic*.
3. Menjumlahkan masing-masing nilai faktor (F_a)
4. Menjumlahkan total nilai faktor (F_t)
5. Menghitung nilai faktor pembobot (F_p) dengan cara Persamaan 7.

$$F_p = \frac{F_a}{F_t} \quad (7)$$

6. Menentukan nilai optimum dari data perlakuan ($Fs_{(i-n)}$) untuk setiap faktor yang berpengaruh (O_v).
7. Menghitung persentase indeks pada dari data perlakuan ($Fs_{(i-n)}$) untuk setiap faktor yang berpengaruh (I_p) menggunakan Persamaan 8.



Gambar 4. Konstruksi mesin pencacah daun sawit terintegrasi dengan pengempa pelepah sawit.

$$I_p = \frac{Fs_{(i-n)}}{O_v} \times 100\% \quad (8)$$

8. Menghitung indeks terbobot (I_t) menggunakan persamaan untuk setiap kombinasi perlakuan menggunakan Persamaan 9.

$$I_t = \sum_{i=1}^n (I_{P(i)} \times F_{P(i)}) \quad (9)$$

9. Menentukan kombinasi perlakuan terbaik yaitu dengan nilai indeks terbobot (I_t) yang tertinggi.

Hasil dan Pembahasan

Konstruksi Mesin Hasil Rancangan

Konstruksi mesin pencacah daun yang terintegrasi dengan pengempa pelepah telah berhasil didesain (Gambar 4). Mesin tersebut terdiri dari tiga unit utama yaitu unit pemotong daun sawit, unit pengempa pelepah sawit dan unit pencacah daun sawit. Ketiga unit tersebut terintegrasi dan digerakkan oleh satu penggerak yaitu motor diesel 10 hp. Mesin dirancang menggunakan dua buah *gearbox* dengan rasio putaran masing-masing 1:10 dan 1:30, sebagai bagian transmisi daya untuk pisau pemotong daun, *rolls* pengempa, dan pisau pencacah dengan kecepatan putar masing masing yang sesuai kebutuhannya.

Dalam penggunaannya, pelepah sawit yang masih memiliki daun sawit diumpankan oleh operator di unit pemotong daun, yang dimulai dari ujung pelepah dan berakhir di pangkalnya. Unit pemotong daun akan memotong daun-daun sawit sehingga terlepas dari pelepahnya. Pelepah yang telah bersih dari daunnya akan tertarik oleh *rolls* pengempa untuk dilakukan proses pengempaan (*press*). Selanjutnya daun-daun yang telah terpotong akan jatuh menuju mulut unit pencacah. Daun yang terumpukan tersebut akan dicacah oleh pisau pencacah dengan ukuran cacahan ≤ 25 mm.

Unit pemotong daun merupakan bagian yang berfungsi untuk memotong daun sawit yang masih melekat pada pelepah sawit saat diumpankan. Dimensi unit pemotong daun yaitu 1200 mm $\times$ 823 mm $\times$ 387 mm. Pisau pemotong terdiri dari dua buah pisau yang berbentuk *circular* dan diberi empat celah pada sisi luarnya. Jarak antar pisau kiri dan kanan adalah 180 mm sesuai dengan lebar maksimal dari pangkal pelepah sawit. Transmisi dari motor penggerak menuju poros pisau pemotong menggunakan mekanisme sabuk-puli yang melalui sebuah *gearbox* berasio 1:10.

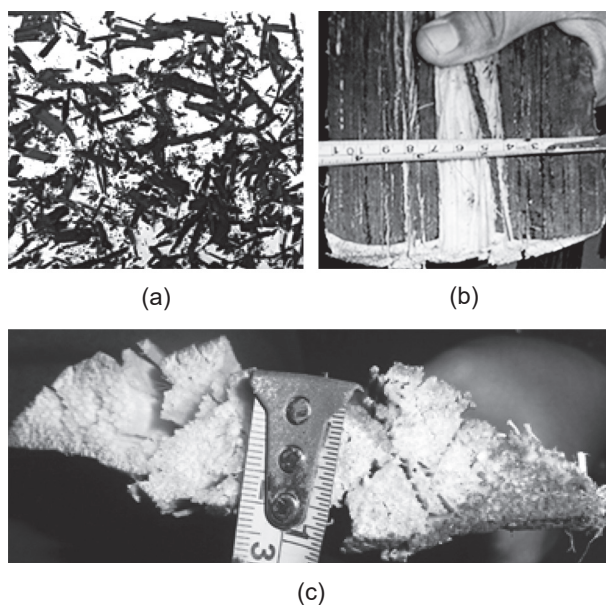
Unit pencacah daun sawit diposisikan di bagian bawah dari keseluruhan unit mesin. Posisi tersebut dipilih agar daun sawit yang telah dipotong dari pelepah dapat menuju unit pencacah dengan gaya gravitasi. Dimensi unit pencacah yaitu 760 mm $\times$ 270 mm $\times$ 335 mm. Pisau pencacah menggunakan tipe *reel* dan *bed knife*. Penutup unit pencacah daun

terbuat dari plat tebal 2 mm dan dibentuk sedemikian rupa untuk menutupi pisau pencacah. Bagian bawah unit pencacah terbuat dari saringan kawat satu mesh. Transmisi dari motor penggerak menuju poros pencacah menggunakan sistem sabuk-puli.

Unit pengempa pelepah ditempatkan sejajar dengan unit pemotong daun. Pelepah yang telah selesai dipotong daunnya akan masuk ke dalam celah *roll* pengempa. *Roll* pengempa terbuat dari silinder baja dengan diameter 200 mm dan panjang 495 mm. Permukaan *rolls* pengempa didesain dengan celah berjarak 5 mm dan kedalaman lekukan (alur) 5 mm. *Clearance* antar *rolls* pengempa dapat diatur dengan tersedianya tuas pengatur *clearance*. *Clearance* yang optimum untuk pengempaan pelepah sawit adalah 20 mm. Poros *rolls* pengempa berdiameter 50 mm dan menggunakan bantalan tipe FBJ211. Sebuah *gear box* berasio 1:30 digunakan sebagai perantara dari motor penggerak menuju *rolls* pengempa. Transmisi dari motor penggerak ke *gear box* menggunakan sabuk-puli dan transmisi dari *gear box* ke *rolls* pengempa menggunakan sproket-rantai.

Persentase Daun Terpotong

Hasil cacahan daun sawit dari unit mesin dapat dilihat pada Gambar 5a. Hasil analisis statistik Gambar 7 menunjukkan bahwa interaksi perlakuan kecepatan putar pada semua unit mesin tidak memberikan pengaruh yang nyata pada persentase daun sawit yang terpotong. Sedangkan pada perlakuan kecepatan putar unit pemotong daun sudah memberikan pengaruh yang nyata terhadap persentase daun terpotong. Hal ini disebabkan bahwa kecepatan putar unit pemotong daun dapat menurunkan persentase daun yang tidak terpotong. Hal ini didukung oleh Persson (1987)



Gambar 5. (a) Cacahan daun sawit dari unit pencacah, (b) Pelepah yang telah dikempa tampak atas, (c) Pelepah yang telah dikempa tampak depan.

yang menyatakan bahwa untuk melakukan proses pemotongan yang terbaik dengan metode *impact cutting* diperlukan kecepatan potong 20–40 m/s.

Peristiwa terjadinya pemotongan pada daun sawit dari pelepah adalah pemotongan dengan arah tegak lurus antara daun sawit dengan pisau pemotong (*perpendicular axis*). Fenomena pemotongan tersebut menurut Igathinathane *et al.* (2010) terjadi melalui tahapan penekanan awal pisau terhadap daun sawit, penetrasi pisau terhadap daun sawit, pemotongan daun sawit dan pisau meninggalkan daun sawit yang telah terpotong. Gaya pemotongan terbesar terjadi ketika tahap proses pemotongan daun sawit (daun sawit yang masih ada lidi). Hal ini terjadi karena daun sawit memiliki bagian yang keras di tengah daun. Igathinathane *et al.* (2010) juga menyebutkan bahwa semakin keras dari bahan yang akan dipotong menyebabkan tahanan potong dari bahan tersebut semakin besar.

Persentase Pengurangan Tinggi dan Pertambahan Lebar Pelepah

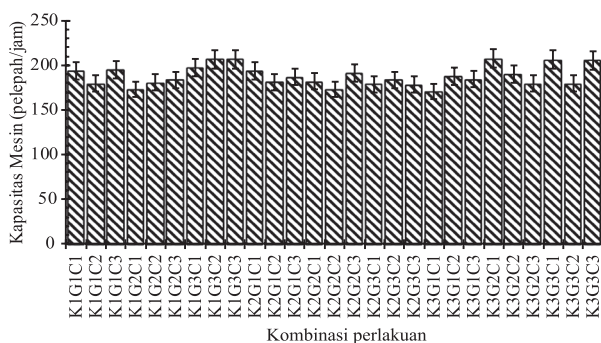
Hasil pengempaan pelepah sawit dari unit pengempa dapat dilihat pada Gambar 5b. Persentase pengurangan tinggi disajikan pada Gambar 8 dan persentase pertambahan lebar pelepah pada Gambar 9. Berdasarkan hasil uji statistik, perlakuan dan interaksi kecepatan putar pada semua unit mesin tidak memberikan pengaruh yang nyata pada persentase pengurangan tinggi pelepah sawit. Hal ini diduga karena sudah ditetapkankannya *clearance* antar *rolls* pengempa (20 mm) sehingga pemberian perlakuan kecepatan putar tidak berpengaruh

terhadap persentase pengurangan tinggi dan persentase pertambahan panjang pelepah sawit. Kecepatan putar rolls akan berpengaruh pada kecepatan proses pengempaannya. Dengan kecepatan putar tinggi, maka kecepatan linier dinding *rolls* yang menarik pelepah menjadi tinggi.

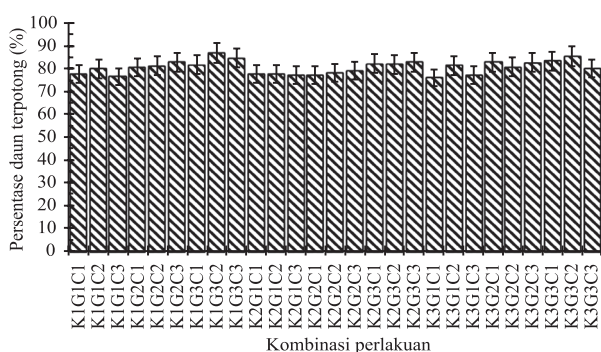
Panjang dan Lebar Cacahan Daun Sawit

Hasil pengempaan pelepah sawit dari unit pengempa dapat dilihat pada Gambar 5c. Hasil analisis statistik pada Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan bahwa perlakuan dan interaksi kecepatan putar pada semua unit mesin tidak memberikan perbedaan yang nyata pada panjang dan lebar hasil cacahan daun sawit. Hal ini disebabkan oleh kecepatan putar pada semua perlakuan telah mendekati kecepatan putar optimum. Kecepatan putar optimum pemotongan metode *impact cutting* adalah 20–40 m/s (Persson 1987).

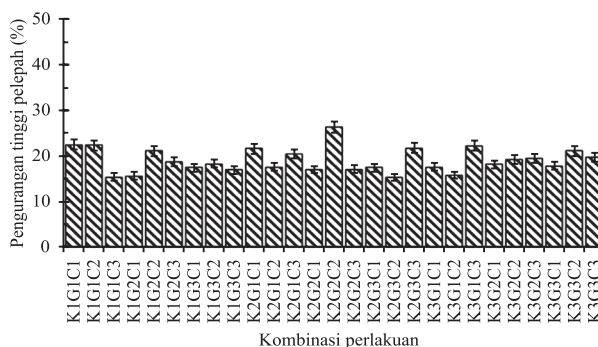
Panjang dan lebar daun sawit hasil cacahan mesin berturut-turut adalah 25.3 ± 1.3 mm dan 3.30 ± 0.13 mm. Dimensi cacahan daun sawit tersebut menurut Bulat *et al.* (2016) sudah memenuhi syarat sebagai bahan dasar pembuatan kompos bokhasi karena dimensi cacahan daun sudah berada pada kisaran dimensi ± 25 mm. Cacahan daun sawit juga dapat dijadikan sebagai pakan tambahan pada sapi potong dan sapi perah (Zahari *et al.* 2003; Izzudin 2008). Adanya mesin ini diharapkan dapat menyediakan bahan baku dalam pembuatan pupuk kompos dan dapat mensubsitisi kebutuhan pupuk anorganik. Manfaat lainnya adalah dapat menyediakan sumber



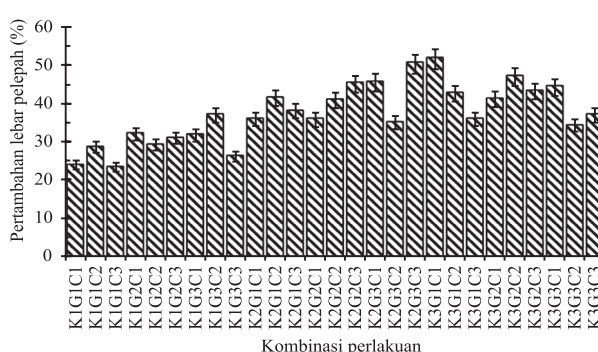
Gambar 6. Kapasitas mesin hasil rancangan.



Gambar 7. Persentase daun terpotong unit pemotong daun sawit.



Gambar 8. Persentase pengurangan tinggi pelepah akibat pengempaan.



Gambar 9. Persentase pertambahan lebar pelepah akibat pengempaan.

Tabel 1. Nilai indeks terbobot menggunakan metode Dieter (1987).

Kombinasi Perlakuan	Kapasitas mesin	Jumlah daun terpotong	Pengurangan tinggi	Pertambahan lebar	Panjang cacahan	Lebar cacahan	Indeks terbobot
	0.33	0.27	0.07	0.20	0.13	0.00	
K ₁ G ₁ C ₁	93.49	89.24	85.27	46.33	90.47	88.98	81.97
K ₁ G ₁ C ₂	86.51	91.80	84.87	55.31	90.49	95.51	82.10
K ₁ G ₁ C ₃	93.90	87.86	58.59	45.03	96.59	93.43	80.52
K ₁ G ₂ C ₁	83.57	92.46	59.51	61.91	91.21	91.68	81.02
K ₁ G ₂ C ₂	87.18	93.25	80.33	56.62	95.80	99.46	83.37
K ₁ G ₂ C ₃	88.40	95.26	71.25	59.99	90.28	90.02	83.65
K ₁ G ₃ C ₁	95.08	93.89	66.41	61.40	92.37	94.29	85.75
K ₁ G ₃ C ₂	99.53	100.00	69.70	71.51	98.72	90.29	91.95
K ₁ G ₃ C ₃	99.67	97.17	64.61	50.59	93.69	95.77	86.05
K ₂ G ₁ C ₁	93.54	89.06	81.92	69.38	94.35	94.45	86.84
K ₂ G ₁ C ₂	87.20	89.02	66.94	80.28	88.83	90.53	85.16
K ₂ G ₁ C ₃	89.95	88.87	77.45	73.75	92.54	96.05	85.93
K ₂ G ₂ C ₁	87.76	88.67	64.69	69.25	83.80	94.96	82.23
K ₂ G ₂ C ₂	83.19	89.67	100.00	79.21	86.76	86.99	85.71
K ₂ G ₂ C ₃	92.01	90.87	65.00	87.44	85.18	96.10	88.08
K ₂ G ₃ C ₁	86.05	94.41	66.26	88.27	86.71	89.16	87.49
K ₂ G ₃ C ₂	88.47	94.03	58.23	68.04	88.18	88.67	83.81
K ₂ G ₃ C ₃	85.86	95.19	82.67	97.58	94.12	96.34	91.58
K ₃ G ₁ C ₁	82.37	87.27	66.79	100.00	98.34	88.86	88.29
K ₃ G ₁ C ₂	90.54	93.54	59.88	82.60	93.42	89.88	88.08
K ₃ G ₁ C ₃	88.86	88.41	84.38	69.54	99.79	97.99	86.03
K ₃ G ₂ C ₁	100.00	95.30	69.13	79.94	100.00	96.07	92.67
K ₃ G ₂ C ₂	91.77	92.73	73.21	90.80	97.56	92.16	91.36
K ₃ G ₂ C ₃	86.49	94.86	73.65	83.70	87.68	100.00	87.46
K ₃ G ₃ C ₁	99.28	95.75	67.76	85.85	90.08	89.87	92.32
K ₃ G ₃ C ₂	86.43	98.26	80.29	66.40	96.43	94.28	86.50
K ₃ G ₃ C ₃	99.09	92.02	74.83	71.53	96.48	94.23	89.72

pakan yang telah terolah untuk sapi potong dan sapi perah.

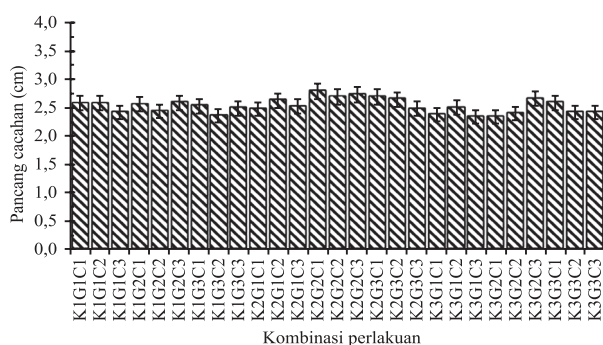
Kapasitas Mesin Pencacah

Hasil analisis statistik pada Gambar 6 menunjukkan bahwa perlakuan dan interaksi kecepatan putar pada semua unit mesin tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kapasitas mesin. Kapasitas mesin terbesar adalah 207 pelepah/jam pada kondisi kecepatan putar unit pengempa, unit pemotong daun dan unit pencacah masing-masing (K₃) 110 rpm, (G₂) 640 rpm, (C₁) 1600 rpm. Kapasitas mesin terkecil adalah 171 pelepah/jam pada kondisi kecepatan putar unit pengempa, unit pemotong daun dan unit pencacah masing-masing (K₃) 110 rpm, (G₁) 480 rpm, (C₁) 1600 rpm. Kapasitas mesin yang didesain ini telah lebih besar dari kapasitas mesin pencacah yang didesain oleh Adgidzi (2007). Mesin pencacah yang didesain oleh Adgidzi (2007) dapat mencacah limbah pertanian seperti batang jagung, batang gandum, batang millet, jerami padi, rumput gamba dan rumput gajah dan dijadikan sebagai pakan ternak. Mesin

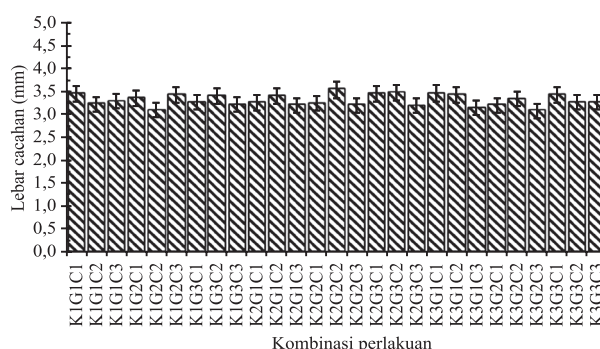
pencacah tersebut menggunakan motor penggerak motor bensin 11 hp dengan kapasitas mesin untuk mencacah limbah pertanian berkisar antara 17.66 kg/jam sampai 25.40 kg/jam.

Kondisi Operasi Mesin Optimum

Kondisi operasi mesin optimum ditentukan berdasarkan faktor kapasitas mesin yang tinggi, jumlah daun terpotong yang tinggi, pengurangan tinggi pelepah yang besar, pertambahan lebar pelepah yang besar, panjang daun cacahan yang terpendek dan lebar daun cacahan yang terpendek. Penentuan pembobotan faktor tersebut menggunakan tabel *digital logic* sesuai yang disarankan Dieter (1987) pada Tabel 1. Kapasitas mesin memiliki faktor pembobot lebih besar dari semua faktor (skor 0.33). Jumlah daun terpotong memiliki faktor pembobot kedua terbesar (skor 0.27). Persentase pertambahan lebar memiliki faktor pembobot ketiga terbesar (skor 0.2). Panjang cacahan memiliki faktor pembobot keempat terbesar (skor 0.13). Persentase pengurangan tinggi memiliki faktor pembobot kelima terbesar (0.07). Lebar cacahan daun memiliki faktor



Gambar 10. Panjang cacahan daun sawit.



Gambar 11. Lebar cacahan daun sawit.

pembobot terkecil (0.00).

Nilai indeks terbobot terbesar dari kombinasi perlakuan akan dijadikan sebagai kondisi operasi optimum dari mesin pengempa pelepah dan pencacah daun sawit. Nilai indeks terbobot terkecil bernilai 80.52 dengan kombinasi perlakuan kecepatan putar unit pengempa, unit pemotong daun dan unit pencacah adalah (K_1) 70 rpm, (G_1) 480 rpm, (C_3) 800 rpm. Nilai indeks terbobot terbesar bernilai 92.67 dengan kombinasi perlakuan kecepatan putar unit pengempa, unit pemotong daun dan unit pencacah adalah (K_3) 110 rpm, (G_2) 640 rpm, (C_1) 1600 rpm. Kombinasi perlakuan dengan nilai indeks terbobot paling besar disarankan menjadi kondisi operasi kecepatan putar mesin pencacah daun yang terintegrasi dengan pengempa pelepah sawit.

Berdasarkan pengamatan pada beberapa kondisi pelepah yang diproses, pelepah yang telah kering lebih sulit untuk dihancurkan, dibandingkan dengan waktu masih basah. Oleh karena itu direkomendasikan pelepah sawit yang akan diproses tidak dalam kondisi sangat kering. Proses pengumpanan sebaiknya satu persatu, untuk menghindari penumpukan pada bagian pengempa dan memacetkan gerakan rolls.

Simpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Mesin pencacah daun sawit yang terintegrasi dengan pelepah sawit telah berhasil didesain dengan tiga unit utama yaitu unit pemotong daun, pengempa pelepah dan pencacah daun.
2. Kapasitas mesin tertinggi dalam mencacah daun dan mengempa pelepah adalah adalah 207 pelepah/jam. Persentase daun terpotong 83.01%, persentase pengurangan tinggi pelepah 18.18%, persentase penambahan lebar pelepah 41.20%, dan ukuran cacahan daun sesuai kebutuhan pengomposan.
3. Pengoperasian mesin yang optimum dicapai pada kecepatan pisau pemotong daun 640 rpm, kecepatan rolls pengempa pelepah 110 rpm, dan kecepatan pisau pencacah daun 1600 rpm.

Daftar Pustaka

- Adgidzi, D. 2011. Development and performance evaluation of a forage chopper. *Journal of Agricultural Engineering and Technology*. Vol 15: 12-24.
- Bulan, R., M. Tineke., H. Wawan. Desrial. 2015. Physical and mechanical properties of palm frond for the development of palm oil waste chopper and pressing machine design. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Vol 6(2): 117-120.

Bulan, R., M. Tineke., H. Wawan., Desrial. 2016. Pertimbangan sifat mekanik pelepah sawit terhadap proses pengomposan sebagai acuan desain mesin pencacah. *Jurnal Keteknik Pertanian*. Vol 4(2):123-130.

Dieter, G.E. 1987. *Engineering Design: A material and processing approach*. McGraw. New York.

Igathinathane, C., A.R. Womac, S. Sokhansanj. 2010. Corn stalk orientation effect on mechanical cutting. *Biosystem Engineering Journal*. Vol 107: 97-106.

Intara, Y.I., I.N. Suastawa, R.P.A Setiawan. 2005. Physical and mechanical properties of parenchyma of leaf and fruits stem of oil palm. *Jurnal Keteknik Pertanian*. Vol 19(2): 117-126.

Izzuddin, M.Y. 2008. Oil palm frond (OPF) as an alternative source of pulp & paper production material. Undergraduate Thesis. Faculty of Chemical & Natural Resources Engineering. UMP. Malaysia.

Robiyansyah. 2016. Perancangan mesin pencacah pelepah sawit untuk pakan ternak sapi. *J Fakultas Teknik*. Vol 2(1): 1-10.

Persson, S. 1987. *Mechanics of Cutting Plant Material*. St. Joseph Michigan. ASAE Monograph.

Zahari, M.W., O.A. Hassan, H.K. Wong, J.B. Liang. 2003. Utilization of oil palm frond-based diets for beef and dairy production in Malaysia. *Asian-Aust J. Anim*. Vol 16(4): 625-634.

Nomenklatur

- K_M : kapasitas mesin (pelepah/jam)
 J_p : jumlah pelepah (pelepah)
 t : waktu pemotongan daun, pencacahan daun dan pengempaan pelepah (jam)
 D_t : persentase daun terpotong (%)
 D_{ak} : jumlah daun pada pelepah sesudah melalui mesin (satuan)
 D_{aw} : jumlah daun pada pelepah sebelum melalui mesin (satuan)
 L_t : persentase penambahan lebar pelepah (%)
 L_{ak} : lebar pelepah sesudah melalui mesin (mm)
 L_{aw} : lebar pelepah sebelum melalui mesin (mm)
 T_t : persentase pengurangan tinggi pelepah (%)
 T_{ak} : tinggi pelepah sesudah melalui mesin (mm)
 T_{aw} : tinggi pelepah sebelum melalui mesin (mm)
 $\overline{P}_{dc}$: panjang rata-rata daun cacahan (mm)
 P_{dc} : panjang daun cacahan (mm)
 $\overline{L}_{dc}$: lebar rata-rata daun cacahan (mm)
 L_{dc} : lebar daun cacahan (mm)
 F_a : komponen faktor yang berpengaruh
 F_t : total nilai faktor yang berpengaruh
 F_P : faktor pembobot
 $F_{S(i-n)}$: data perlakuan dari masing-masing faktor
 O_v : nilai optimum data perlakuan
 I_P : persentase indeks pada dari data perlakuan
 I_t : indeks terbobot