

Rancang Bangun dan Uji Kinerja Mesin Pencacah Pelepah dan Daun Kelapa Sawit untuk Pra-Pengolahan Biomassa

Yang Fitri Arriyani^{1*}, Rodika², Muhammad Haritsah Amrullah³

¹Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur, Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat-Bangka, Indonesia

²Teknik Perawatan dan Perbaikan Mesin, Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat-Bangka, Indonesia

³Teknik Perancangan Mekanik, Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat-Bangka, Indonesia

Email: ¹arriyaniyangfitri@gmail.com, ²rodi.k1803@gmail.com, ³haritsah@polman-babel.ac.id

Abstract

Oil palm fronds and leaves are abundant plantation residues with potential for utilization as renewable biomass, including feedstock for bio-pellet production. The utilization of this biomass requires preprocessing, particularly size reduction using a chopping machine. This study aimed to design, fabricate, and evaluate the performance of a chopping machine for oil palm fronds and leaves as an initial stage of biomass preprocessing. The developed machine features a horizontal chopping chamber, 18 spiral-arranged rotating blade holders, removable cutting blades, 10 fixed cutting blades, and a screen for controlling material discharge. The machine has been granted Simple Patent No. IDS000006381. Performance testing was conducted in three trials using 5 kg of oil palm fronds in each trial. The results showed chopping times of 100–110 seconds, with capacities ranging from 163.64 to 180.00 kg/h and an average capacity of 172.24 kg/h. The chopping yield ranged from 50% to 80%, with an average yield of 64.67%. The chopped material has potential for further biomass processing as an initial feedstock for bio-pellet production.

Keywords: Chopping Machine, Oil Palm Fronds, Biomass, Preprocessing, Bio-Pellet.

Abstrak

Pelepah dan daun kelapa sawit merupakan limbah perkebunan yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber biomassa untuk energi terbarukan, termasuk sebagai bahan baku biopellet. Pemanfaatan biomassa tersebut memerlukan proses pra-pengolahan, salah satunya melalui pengecilan ukuran menggunakan mesin pencacah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji kinerja mesin pencacah pelepah dan daun kelapa sawit sebagai tahap awal pra-pengolahan biomassa. Mesin yang dikembangkan memiliki tabung pencacah horizontal, 18 kedudukan pisau berputar yang disusun secara spiral, pisau pemotong yang dapat dilepas-pasang, 10 pisau pemotong tetap, dan sistem saringan untuk mengontrol material yang keluar dari ruang pencacahan. Mesin telah memperoleh perlindungan Paten Sederhana Nomor IDS000006381. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali menggunakan 5 kg pelepah kelapa sawit pada setiap pengujian. Hasil pengujian menunjukkan waktu pencacahan 100–110 detik dengan kapasitas 163,64–180,00 kg/jam dan kapasitas rata-rata 172,24 kg/jam. Rendemen hasil cacahan berkisar 50–80%, dengan rata-rata 64,67%. Hasil pencacahan berpotensi digunakan sebagai bahan awal untuk proses pengolahan biomassa lebih lanjut menuju produksi biopellet.

Kata Kunci: Mesin Pencacah, Pelepah Kelapa Sawit, Biomassa, Pra-Pengolahan, Biopellet.

1. PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas perkebunan yang menghasilkan biomassa dalam jumlah besar dari kegiatan budidaya maupun pengolahan hasil perkebunan. Biomassa kelapa sawit meliputi berbagai jenis residu, antara lain batang,

pelepah, daun, tandan kosong, serat, dan cangkang. Berbagai jenis biomassa tersebut mengandung komponen lignoselulosa dan berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku energi terbarukan maupun produk bernilai tambah. Pemanfaatan biomassa kelapa sawit menjadi salah satu alternatif untuk meningkatkan nilai guna residu perkebunan sekaligus mendukung pengembangan sistem pemanfaatan sumber daya yang lebih berkelanjutan (Bachtiar & Rusirawan, 2025; Sulasminingsih et al., 2023)

Pelepah kelapa sawit merupakan salah satu residu yang dihasilkan secara rutin dari kegiatan pemeliharaan dan pemangkasan tanaman. Pelepah yang tidak dimanfaatkan secara optimal umumnya diletakkan di antara tanaman kelapa sawit dan membutuhkan waktu untuk mengalami dekomposisi. Di sisi lain, pelepah memiliki potensi untuk dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan pakan setelah melalui proses pengolahan, bahan baku biomassa, maupun bahan baku dalam proses konversi lebih lanjut (Kasmaniar et al., 2023; Parinduri et al., 2020). Karakteristik pelepah yang mengandung komponen lignoselulosa menyebabkan material ini memiliki struktur yang relatif kuat sehingga memerlukan proses pra-pengolahan sebelum dapat dimanfaatkan secara optimal (Noerrizki et al., 2019; Fauzia, 2024)

Salah satu tahapan penting dalam pemanfaatan biomassa lignoselulosa adalah proses pra-pengolahan. Tahapan ini dapat meliputi pengecilan ukuran, pengeringan, penggilingan, dan perlakuan lainnya yang disesuaikan dengan tujuan akhir pemanfaatan biomassa. Pengecilan ukuran menjadi salah satu proses awal yang penting karena dapat mempermudah penanganan material dan pengolahan pada tahap berikutnya. Pada proses konversi biomassa, ukuran partikel juga dapat mempengaruhi efektivitas tahapan pengolahan selanjutnya. Penelitian mengenai pra-pengolahan limbah kelapa sawit menunjukkan bahwa ukuran partikel merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap proses konversi material lignoselulosa (Alamsyah & Supriatna, 2018; Febriani et al., 2024).

Dalam pemanfaatannya sebagai bahan baku energi, biomassa kelapa sawit dapat mengalami berbagai tahapan pengolahan sebelum menghasilkan produk akhir. Pada proses pengolahan biomassa lignoselulosa, tahapan pra-pengolahan dapat membutuhkan energi dan sumber daya yang cukup besar sehingga efisiensi setiap tahapan proses menjadi aspek penting dalam pengembangan teknologi biomassa (Praevia & Widayat, 2022). Oleh karena itu, pengembangan mesin pra-pengolahan yang mampu melakukan pengecilan ukuran biomassa secara efektif diperlukan untuk mendukung pemanfaatan residu kelapa sawit.

Proses pencacahan merupakan salah satu metode mekanis yang dapat digunakan untuk melakukan pengecilan ukuran biomassa. Kinerja proses pencacahan dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain karakteristik material, geometri pisau, jumlah pisau, kecepatan putar, sudut pemotongan, serta mekanisme pemasukan dan pengeluaran bahan. Penelitian mengenai proses pencacahan residu pertanian menunjukkan bahwa gaya pemotongan dan konsumsi daya merupakan parameter penting dalam pengembangan dan optimasi mesin pencacah. Geometri dan kondisi pemotongan dapat mempengaruhi gaya yang dibutuhkan selama proses pencacahan serta konsumsi energi mesin (Meidina Kusnadi et al., 2023).

Karakteristik pelepah kelapa sawit menjadi salah satu tantangan dalam proses pencacahan. Struktur pelepah yang relatif keras dan berserat membutuhkan mekanisme pemotongan yang mampu menghasilkan gaya potong yang cukup untuk memecah material. Sementara itu, bagian daun memiliki struktur yang lebih tipis dan lebih lunak. Perbedaan karakteristik tersebut perlu dipertimbangkan dalam perancangan mesin agar sistem pencacahan dapat menangani material kelapa sawit secara efektif.

Penelitian mengenai pengembangan mesin pencacah pelepah dan daun kelapa sawit telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Bulan et al. mengembangkan mesin terintegrasi untuk mencacah daun sawit dan mengempa pelepah sawit, dengan perancangan yang mempertimbangkan karakteristik bahan dan kebutuhan pengolahan material (Bulan et al., 2018). Namun, mesin ini dirancang untuk memproses pencacahan daun dan pelepah secara terpisah, yaitu dengan memotong daun kelapa sawit dengan pelepahnya terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke mesin. Penelitian lain mengenai modifikasi mesin pencacah pelepah kelapa sawit juga menunjukkan bahwa modifikasi pada sistem pisau dapat dilakukan untuk meningkatkan kinerja mesin pencacah (Arriyani et al., 2021; Bulan et al., 2021). Mesin prototipe yang dibuat pada penelitian Bulan et al, 2021 menggunakan pisau potong yang dipasang secara permanen pada poros dudukan pisau. Hal ini akan menyulitkan dalam perawatan atau penggantian pisau potong jika pisau mengalami kerusakan atau tumpul. Sedangkan mesin prototipe pada penelitian Arriyani et al., 2021, pisau potong dipasang secara non permanen pada plat profil L yang disambung permanen dengan pengelasan pada poros pemutar. Hasil cacahan yang dihasilkan masing berukuran cukup panjang, hingga lebih dari 50 mm. Pengembangan prototipe mesin pencacah pelepah dan daun kelapa sawit menunjukkan bahwa teknologi pencacahan dapat digunakan untuk mengurangi ukuran limbah biomassa dan menghasilkan material yang lebih mudah ditangani (Susilo et al., 2023).

Berdasarkan perkembangan penelitian tersebut, pengembangan mesin pencacah pelepah dan daun kelapa sawit masih memiliki peluang, khususnya pada konfigurasi sistem pemotongan, kemudahan perawatan komponen pisau, dan pengendalian ukuran hasil cacahan. Mesin yang dikembangkan telah direalisasikan dalam bentuk prototipe dan memperoleh perlindungan kekayaan intelektual melalui Paten Sederhana Nomor IDS000006381 dengan judul Mesin Pencacah Pelepah dan Daun Kelapa Sawit (Arriyani et al., 2023). Kinerja mesin dievaluasi berdasarkan waktu pencacahan, kapasitas pencacahan, massa hasil cacahan yang keluar, massa material yang tertinggal, dan rendemen. Kontribusi penelitian ini adalah merealisasikan dan mengevaluasi kinerja mesin yang mengintegrasikan konfigurasi pisau berputar spiral, pisau tetap, sistem pisau yang dapat dilepas-pasang, dan saringan dalam satu sistem pencacahan. Penelitian ini berfokus pada konfigurasi sistem pemotongan, kemudahan perawatan komponen pisau, dan pengendalian ukuran hasil cacahan yang belum dilakukan pada penelitian sebelumnya. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji kinerja mesin pencacah pelepah dan daun kelapa sawit sebagai tahap awal pra-pengolahan biomassa yang berpotensi mendukung pemanfaatan pelepah kelapa sawit sebagai bahan baku biopellet melalui proses pengolahan lanjutan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode rekayasa (*engineering method*) dan eksperimen. Metode rekayasa digunakan dalam proses pengembangan mesin mulai dari identifikasi kebutuhan, perancangan, pembuatan, perakitan, hingga pengujian mesin. Metode eksperimen digunakan untuk mengetahui kinerja aktual mesin melalui pengujian langsung menggunakan pelepah kelapa sawit sebagai bahan uji. Tahapan penelitian meliputi identifikasi kebutuhan mesin, perancangan sistem pencacahan, pembuatan komponen, perakitan mesin, pengujian fungsional, dan pengujian kinerja mesin.

Tahap awal dilakukan dengan mengidentifikasi karakteristik pelepah dan daun kelapa sawit serta kebutuhan proses pengecilan ukuran sebagai tahap awal pra-pengolahan biomassa. Berdasarkan karakteristik bahan yang berserat dan relatif kuat,

dilakukan perancangan sistem pencacahan yang mempertimbangkan konfigurasi pisau, ruang pencacahan, sistem saringan, dan mekanisme pengeluaran hasil cacahan. Selanjutnya, dilakukan pembuatan dan perakitan komponen mesin sesuai dengan rancangan. Pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan seluruh komponen dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang direncanakan. Setelah mesin berfungsi dengan baik, dilakukan pengujian kinerja untuk mengetahui kapasitas pencacahan dan rendemen hasil cacahan.

2.2 Rancang Bangun Mesin

Mesin pencacah yang dikembangkan terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu rangka mesin, tabung pencacah horizontal, saluran pemasukan, poros penggerak,udukan pisau, pisau pemotong berputar, pisau pemotong tetap, saringan, saluran pengeluaran, sistem transmisi, dan motor penggerak. Komponen-komponen tersebut dirancang dan dirakit menjadi satu sistem untuk melakukan proses pengecilan ukuran pelepah dan daun kelapa sawit.

Penelitian ini mengembangkan mesin dengan tabung pencacah horizontal, poros penggerak yang dilengkapi 18 dudukan pisau yang disusun secara spiral, pisau pemotong berputar yang dapat dilepas-pasang, 10 pisau pemotong tetap, serta sistem saringan sebagai pengontrol material yang keluar dari tabung pencacah. Konfigurasi 18 dudukan pisau spiral dirancang untuk menghasilkan proses pemotongan secara bertahap sepanjang tabung pencacah. Sistem pisau yang dapat dilepas-pasang memberikan kemudahan dalam perawatan, pengasahan, dan penggantian pisau, sedangkan pisau tetap membantu proses pemotongan ketika material berinteraksi dengan pisau berputar. Saringan berfungsi mengontrol keluaran material dengan menahan material yang masih berukuran besar agar mengalami proses pencacahan kembali. Interaksi antara pisau berputar dan pisau tetap menghasilkan proses pemotongan dan pengecilan ukuran material. Pisau pencacah dibuat menggunakan material baja pegas AISI 5160 melalui proses pemotongan, pembentukan, pembuatan lubang untuk pengikatan dengan plat dudukan pisau, dan *grinding* pada sisi mata potong.

Clearance antara pisau berputar dan pisau tetap ditetapkan sebesar 4 mm. Pengukuran *clearance* pisau dilakukan untuk menentukan jarak bebas antara mata pisau berputar dan pisau tetap pada tabung pencacahan. Pengukuran dilakukan dalam kondisi mesin tidak beroperasi dengan memutar poros dudukan secara manual hingga mata pisau berada pada posisi terdekat dengan pisau tetap. *Clearance* diukur menggunakan *feeler gauge* pada tiga posisi pengukuran, yaitu sisi kiri, tengah, dan sisi kanan mata pisau. Pengukuran dilakukan pada beberapa posisi sepanjang mata pisau untuk memastikan keseragaman celah dan mencegah terjadinya kontak selama poros dudukan pisau berputar.

2.3 Prinsip Kerja Mesin

Prinsip kerja mesin diawali dengan memasukkan pelepah atau daun kelapa sawit melalui saluran pemasukan menuju tabung pencacah. Motor penggerak kemudian meneruskan putaran melalui sistem transmisi ke poros pencacah sehingga pisau berputar bergerak di dalam tabung pencacah. Material yang masuk mengalami kontak dengan pisau berputar dan pisau tetap sehingga terjadi proses pemotongan dan pengecilan ukuran. Material yang telah mengalami pengecilan ukuran bergerak menuju bagian bawah tabung pencacah dan berinteraksi dengan saringan. Material yang telah mencapai ukuran yang sesuai dapat melewati saringan dan keluar melalui saluran pengeluaran. Sebaliknya, material yang masih berukuran besar akan tertahan dan kembali mengalami proses pemotongan. Proses tersebut berlangsung selama mesin beroperasi hingga material dapat melewati saringan.

2.4 Pengujian Kinerja Mesin

Pengujian kinerja dilakukan untuk mengetahui kemampuan mesin berdasarkan kapasitas pencacahan dan rendemen hasil cacahan. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan menggunakan pelepah kelapa sawit dengan massa awal 5 kg pada setiap pengujian. Pada setiap pengujian, bahan ditimbang sebelum dimasukkan ke dalam mesin. Waktu pencacahan diukur selama proses berlangsung. Setelah pencacahan selesai, hasil cacahan yang keluar dari saluran pengeluaran dikumpulkan dan ditimbang. Material yang masih tertinggal di dalam ruang pencacahan dan sistem saringan juga dikumpulkan dan ditimbang secara terpisah.

Kapasitas pencacahan dihitung berdasarkan perbandingan massa bahan terhadap waktu pencacahan menggunakan Persamaan 1:

$$Q = \frac{m}{t} \times 3600 \quad (1)$$

dengan Q adalah kapasitas pencacahan (kg/jam), m adalah massa bahan yang dicacah (kg), dan t adalah waktu pencacahan (detik).

Rendemen digunakan untuk mengetahui persentase massa bahan awal yang berhasil keluar dari mesin sebagai hasil cacahan. Rendemen dihitung menggunakan Persamaan 2:

$$R = \frac{m_o}{m_i} \times 100\% \quad (2)$$

dengan R adalah rendemen hasil cacahan (%), m_o adalah massa hasil cacahan yang keluar (kg), dan m_i adalah massa awal bahan (kg).

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan kapasitas dan rendemen pada setiap pengujian serta menentukan nilai rata-ratanya. Analisis juga dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kapasitas pencacahan dan jumlah material yang berhasil keluar dari mesin. Hasil cacahan dalam penelitian ini diposisikan sebagai produk antara pada tahap pra-pengolahan biomassa. Material tersebut berpotensi digunakan untuk proses pengolahan lebih lanjut, seperti pengeringan, penggilingan, pengayakan, dan densifikasi sebagai bahan baku biopellet.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

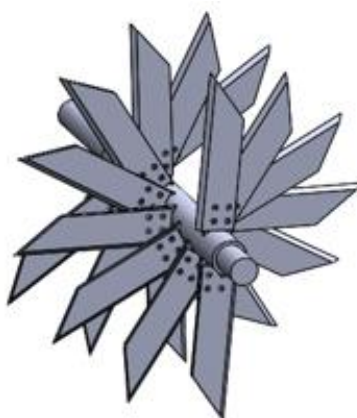
3.1 Hasil Rancang Bangun Mesin Pencacah Pelepah dan Daun Kelapa Sawit

Mesin pencacah pelepah dan daun kelapa sawit telah berhasil dirancang dan dibangun sebagai teknologi pra-pengolahan biomassa. Mesin dikembangkan untuk mengatasi kebutuhan pengecilan ukuran pelepah dan daun kelapa sawit yang memiliki karakteristik berserat, relatif kuat, dan berukuran panjang. Pengecilan ukuran merupakan salah satu tahapan penting dalam pemanfaatan biomassa karena dapat mempermudah proses penanganan bahan dan mempersiapkan material untuk proses pengolahan selanjutnya. Gambar prototipe mesin pencacah pelepah dan daun kelapa sawit ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Prototipe Mesin Pencacah Pelepah dan Daun Kelapa Sawit
Sumber gambar: Dokumen pribadi

Gambar 1 menunjukkan prototipe mesin pencacah pelepah dan daun kelapa sawit yang telah dibuat. Mesin yang dikembangkan memiliki beberapa komponen utama, yaitu rangka, tabung pencacah horizontal, saluran pemasukan, poros penggerak,udukan pisau, pisau pemotong berputar, pisau pemotong tetap, saringan, saluran pengeluaran, sistem transmisi, dan motor penggerak. Salah satu karakteristik utama rancangan mesin adalah penggunaan 18udukan pisau berputar yang disusun secara spiral pada poros penggerak. Konfigurasi tersebut memungkinkan proses pemotongan berlangsung secara bertahap sepanjang ruang pencacahan ketika material bergerak dan berinteraksi dengan pisau. Pisau pemotong berputar dipasang pada dudukannya menggunakan sambungan nonpermanen sehingga dapat dilepas dan dipasang kembali. Sistem tersebut memberikan keuntungan dalam proses perawatan mesin, khususnya pada saat dilakukan pengasahan atau penggantian pisau akibat keausan. Gambar susunan pisau potong pada poros penggerak ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Susunan Pisau Potong Pencacah
Sumber gambar: Paten Sederhana IDS000006381

Selain itu, pada bagian dalam tabung pencacah terdapat 10 pisau pemotong tetap yang berfungsi sebagai pasangan pemotongan terhadap pisau berputar. Interaksi antara pisau berputar dan pisau tetap menyebabkan material mengalami gaya pemotongan secara berulang sehingga ukuran material menjadi lebih kecil. Bagian bawah tabung pencacah dilengkapi dengan saringan yang berfungsi sebagai pengontrol keluaran material. Material yang telah mencapai ukuran yang sesuai dengan bukaan saringan dapat keluar dari tabung pencacah, sedangkan material yang masih berukuran lebih besar akan tertahan dan mengalami proses pencacahan kembali. Sistem tersebut merupakan salah satu bagian penting dalam rancangan mesin karena berhubungan dengan ukuran material yang dihasilkan dan jumlah material yang dapat keluar dari mesin.

Integrasi antara konfigurasi pisau berputar, pisau tetap, dan sistem saringan menjadi karakteristik utama mesin yang dikembangkan. Rancangan mesin tersebut telah memperoleh perlindungan kekayaan intelektual melalui Paten Sederhana Nomor IDS000006381. Dengan demikian, inovasi yang diterapkan pada mesin tidak hanya ditunjukkan melalui keberhasilan pembuatan prototipe, tetapi juga telah mendapatkan perlindungan hukum atas rancangan yang dikembangkan. Secara fungsional, mesin mampu melakukan proses pencacahan pelepah kelapa sawit dan menghasilkan material berukuran lebih kecil dibandingkan bahan awal. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi antara mekanisme pemotongan dan sistem saringan dapat digunakan untuk mendukung proses pengecilan ukuran biomassa. Hasil pencacahan selanjutnya dapat diarahkan untuk proses pra-pengolahan biomassa lebih lanjut, terutama apabila bahan tersebut akan dimanfaatkan sebagai bahan baku biopellet.

3.2 Hasil Pengujian Kapasitas Pencacahan

Pengujian kapasitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan aktual mesin dalam memproses pelepah kelapa sawit dalam satuan waktu. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali menggunakan massa awal bahan sebesar 5 kg pada setiap pengujian. Waktu yang dibutuhkan untuk mencacah bahan dicatat dan digunakan untuk menentukan kapasitas pencacahan mesin.

Tabel 1. Hasil pengujian kapasitas pencacahan pelepah kelapa sawit

Uji Coba	Berat Awal Pelepah (kg)	Waktu (detik)	Kapasitas (kg/jam)
1	5,0	104	173,08
2	5,0	110	163,64
3	5,0	100	180,00
Rata-rata	5,0	104,67	172,24

Berdasarkan Tabel 1, waktu pencacahan yang diperlukan untuk memproses 5 kg pelepah kelapa sawit berkisar antara 100–110 detik. Kapasitas pencacahan yang dihasilkan berada pada rentang 163,64–180,00 kg/jam, dengan kapasitas rata-rata sebesar 172,24 kg/jam. Kapasitas tertinggi sebesar 180,00 kg/jam diperoleh pada pengujian ke-3 dengan waktu pencacahan 100 detik. Sementara itu, kapasitas terendah sebesar 163,64 kg/jam diperoleh pada pengujian ke-2 dengan waktu pencacahan 110 detik. Perbedaan kapasitas pada ketiga pengujian terjadi meskipun massa awal bahan yang digunakan sama. Hal ini menunjukkan bahwa waktu proses pencacahan dapat dipengaruhi oleh karakteristik dan kondisi material selama proses berlangsung.

Pelepah kelapa sawit memiliki struktur yang berserat dan tidak seragam sehingga posisi dan orientasi material ketika masuk ke ruang pencacahan dapat memengaruhi interaksi material dengan pisau. Material yang lebih mudah terorientasi menuju zona pemotongan dapat mengalami proses pencacahan lebih cepat, sedangkan material yang tertahan atau tidak langsung terpotong dapat meningkatkan waktu proses. Pada pengujian ke-3, waktu pencacahan paling singkat menghasilkan kapasitas tertinggi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa mesin memiliki kemampuan untuk meningkatkan kapasitas ketika proses pencacahan berlangsung lebih cepat. Namun, kapasitas pencacahan tidak hanya dipengaruhi oleh kecepatan proses pemotongan, tetapi juga oleh proses perpindahan material di dalam ruang pencacahan dan mekanisme pengeluaran hasil cacahan.

Nilai kapasitas rata-rata sebesar 172,24 kg/jam menunjukkan bahwa mesin mampu memproses sekitar 172 kg pelepah kelapa sawit dalam satu jam berdasarkan kondisi pengujian. Nilai tersebut menunjukkan potensi mesin untuk digunakan pada tahap awal pengolahan biomassa. Namun, kapasitas aktual pada penggunaan di lapangan dapat berbeda karena dipengaruhi oleh kontinuitas pemasukan bahan, ukuran dan kadar air bahan, karakteristik pelepah, serta kondisi operasi mesin. Dalam konteks pemanfaatan biomassa untuk produksi biopellet, kapasitas pencacahan merupakan parameter penting karena menentukan jumlah bahan yang dapat diproses pada tahap awal. Kapasitas yang lebih tinggi dapat meningkatkan jumlah bahan yang tersedia untuk proses pengolahan berikutnya. Namun, kapasitas perlu dievaluasi bersama dengan rendemen karena kapasitas yang tinggi tidak secara otomatis menunjukkan bahwa seluruh bahan yang masuk berhasil keluar sebagai hasil cacahan.

3.3 Hasil Pengujian Rendemen Hasil Cacahan

Rendemen digunakan untuk mengetahui persentase bahan awal yang berhasil keluar dari mesin sebagai hasil cacahan. Selain massa hasil cacahan yang keluar, massa material yang tertinggal di dalam sistem juga diamati untuk mengetahui efektivitas proses pengeluaran material dari tabung pencacah. Gambar rendemen hasil uji coba mesin ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rendemen Cacahan Hasil Uji Coba Mesin
Sumber gambar: Dokumen pribadi

Data-data rendemen dari tiga kali pengujian mesin pencacah pelepah dan daun kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Rendemen Hasil Cacahan

Uji Coba	Berat Awal (kg)	Hasil Cacahan Keluar (kg)	Material Tertinggal (kg)	Rendemen (%)
1	5,0	4,0	1,0	80
2	5,0	3,2	1,8	64
3	5,0	2,5	2,5	50
Rata-rata	5,0	3,23	1,77	64,67

Berdasarkan Tabel 2, massa hasil cacahan yang berhasil keluar dari mesin berkisar antara 2,5–4,0 kg, sedangkan material yang tertinggal berkisar antara 1,0–2,5 kg. Rendemen hasil cacahan berada pada rentang 50–80%, dengan rata-rata sebesar 64,67%. Rendemen tertinggi sebesar 80% diperoleh pada pengujian pertama. Pada kondisi tersebut, dari 5 kg bahan awal, sebanyak 4 kg berhasil keluar sebagai hasil cacahan, sedangkan 1 kg masih tertinggal di dalam sistem. Rendemen terendah sebesar 50% diperoleh pada pengujian ketiga, ketika hanya 2,5 kg material berhasil keluar dan 2,5 kg lainnya masih tertinggal. Hal ini disebabkan karena material cacahan pelepah dan daun kelapa sawit yang memiliki kadar air yang cukup tinggi sulit melewati lubang saringan yang menutupi bagian bawah tabung pencacah menuju saluran pengeluaran. Sehingga material tersebut tertahan dan menumpuk di dalam tabung pencacah.

Jika ketiga pengujian digabungkan, total bahan awal yang diproses adalah 15 kg. Dari jumlah tersebut, sebanyak 9,7 kg berhasil keluar sebagai hasil cacahan, sedangkan 5,3 kg masih tertinggal di dalam sistem pencacahan. Dengan demikian, rendemen total mencapai 64,67%, sedangkan sekitar 35,33% material masih tertinggal. Persentase material tertinggal yang cukup besar menunjukkan bahwa proses pencacahan dan pengeluaran material masih menjadi aspek yang perlu diperhatikan. Material yang tertinggal dapat berasal dari bahan yang belum mencapai ukuran yang sesuai dengan bukaan saringan, material yang tersangkut di antara pisau dan saringan, atau material yang masih berada di tabung pencacahan ketika proses pengujian dihentikan.

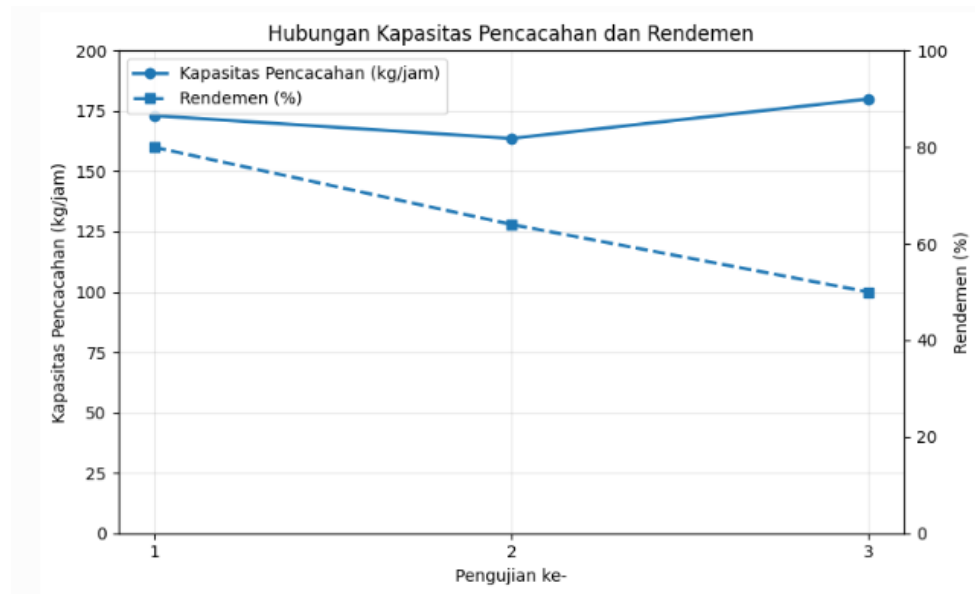
Karakteristik pelepah kelapa sawit yang berserat dan memiliki struktur memanjang juga berpotensi menyebabkan material lebih sulit bergerak menuju saluran pengeluaran. Serat yang panjang dapat berinteraksi dengan pisau atau komponen lain di dalam ruang pencacahan sehingga material tidak langsung keluar meskipun telah mengalami sebagian proses pemotongan. Sistem saringan juga memiliki peran penting terhadap nilai rendemen. Saringan berfungsi untuk menahan material yang belum mencapai ukuran

tertentu. Oleh karena itu, semakin banyak material yang berukuran lebih besar dari bukaan saringan, semakin banyak material yang berpotensi tertahan di dalam tabung pencacahan. Kondisi tersebut dapat menyebabkan perbedaan antara massa bahan awal dan massa hasil cacahan yang berhasil keluar.

3.4 Hubungan Kapasitas dan Rendemen

Hasil pengujian menunjukkan adanya variasi antara kapasitas pencacahan dan rendemen. Pengujian ke-3 menghasilkan kapasitas tertinggi sebesar 180,00 kg/jam, tetapi menghasilkan rendemen terendah sebesar 50%. Sebaliknya, pengujian ke-1 menghasilkan kapasitas sebesar 173,08 kg/jam dengan rendemen tertinggi sebesar 80%. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kapasitas pencacahan yang tinggi tidak selalu menghasilkan rendemen yang tinggi. Pada pengujian ke-3, waktu proses yang lebih singkat menghasilkan kapasitas tertinggi. Namun, kondisi tersebut juga disertai dengan jumlah material tertinggal terbesar, yaitu 2,5 kg atau 50% dari bahan awal. Fenomena tersebut menunjukkan adanya perbedaan antara kemampuan mesin dalam melakukan proses pencacahan dan kemampuan sistem dalam mengeluarkan material hasil pencacahan. Mesin dapat memiliki kemampuan pemotongan yang tinggi, tetapi apabila material tidak dapat bergerak keluar secara efektif, sebagian bahan akan tetap berada di dalam ruang pencacahan. Hubungan antara kapasitas dan rendemen dapat dilihat pada Gambar 2.

Secara umum, hasil pengujian menunjukkan kecenderungan bahwa peningkatan kapasitas tidak selalu diikuti dengan peningkatan rendemen. Namun, karena pengujian hanya dilakukan sebanyak tiga kali, hubungan tersebut belum dapat dinyatakan sebagai hubungan sebab-akibat yang bersifat mutlak. Hasil ini lebih tepat dipandang sebagai indikasi awal yang menunjukkan perlunya pengujian lebih lanjut dengan jumlah pengulangan dan variasi kondisi operasi yang lebih banyak.



Gambar 4. Hubungan Kapasitas Pencacahan Dan Rendemen

Dari sudut pandang kinerja mesin, pengujian pertama dapat dianggap memberikan kondisi yang relatif lebih seimbang antara kapasitas dan rendemen. Pada pengujian tersebut, mesin menghasilkan kapasitas 173,08 kg/jam dan rendemen 80%. Sementara itu, pengujian ketiga menghasilkan kapasitas tertinggi, tetapi rendemen paling rendah. Dengan demikian, pemilihan kondisi operasi mesin perlu mempertimbangkan tujuan utama penggunaan mesin.

3.5 Implikasi Hasil Pencacahan terhadap Pra-Pengolahan Biomassa untuk Biopelet

Pelepah kelapa sawit yang telah dicacah memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan awal dalam proses pengolahan biomassa menjadi biopelet. Produksi biopelet umumnya memerlukan beberapa tahapan pengolahan bahan, mulai dari pengecilan ukuran, pengeringan, penggilingan, pengayakan, hingga proses densifikasi. Dalam rangkaian tersebut, mesin pencacah berperan pada tahap awal untuk mengurangi ukuran bahan dan mempermudah proses penanganan biomassa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin mampu menghasilkan kapasitas pencacahan rata-rata sebesar 172,24 kg/jam. Kapasitas tersebut menunjukkan kemampuan mesin dalam memproses bahan dalam jumlah relatif besar pada tahap awal. Namun, nilai rendemen rata-rata sebesar 64,67% menunjukkan bahwa sebagian bahan masih tertinggal dalam sistem.

Kondisi ini perlu menjadi perhatian apabila mesin akan digunakan sebagai bagian dari sistem produksi biopelet secara berkelanjutan. Material hasil cacahan yang keluar dari mesin belum dapat langsung dikategorikan sebagai biopelet karena masih memerlukan tahapan pengolahan lanjutan. Hasil cacahan perlu dikeringkan hingga mencapai kadar air yang sesuai, kemudian dapat dilakukan penggilingan dan pengayakan untuk memperoleh ukuran partikel yang lebih seragam. Selanjutnya, bahan dapat diproses melalui densifikasi untuk menghasilkan biopelet. Dalam konteks ini, mesin pencacah yang dikembangkan dapat ditempatkan sebagai bagian awal dari rantai pengolahan biomassa pelepah kelapa sawit.

Keberadaan mesin memungkinkan bahan berukuran besar dan berserat diproses menjadi ukuran yang lebih kecil sebelum memasuki tahapan pengolahan berikutnya. Dengan demikian, mesin memiliki potensi untuk mendukung pemanfaatan limbah perkebunan kelapa sawit sebagai sumber energi terbarukan. Namun, untuk memastikan kesesuaian hasil cacahan sebagai bahan baku biopelet, penelitian lanjutan diperlukan untuk mengukur distribusi ukuran partikel, kadar air, konsumsi energi spesifik, dan karakteristik bahan hasil pencacahan. Selanjutnya, perlu dilakukan pengujian proses densifikasi untuk mengetahui karakteristik biopelet yang dihasilkan, seperti kadar air, kadar abu, nilai kalor, densitas, dan ketahanan mekanik.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan adanya peluang untuk melakukan pengembangan lebih lanjut terhadap sistem pengeluaran material. Tingginya persentase material yang tertinggal, khususnya pada pengujian ketiga, menunjukkan bahwa sistem saringan dan mekanisme perpindahan material masih dapat dioptimalkan. Perbaikan pada aspek tersebut diharapkan dapat meningkatkan rendemen tanpa mengurangi kapasitas pencacahan secara signifikan. Dengan demikian, keberhasilan pemanfaatan pelepah kelapa sawit sebagai bahan baku biopelet tidak hanya bergantung pada kapasitas mesin pencacah, tetapi juga pada kemampuan mesin menghasilkan keluaran material yang optimal dan sesuai untuk tahapan pengolahan berikutnya. Integrasi antara kapasitas, rendemen, ukuran hasil cacahan, dan konsumsi energi menjadi parameter penting dalam pengembangan sistem pengolahan biomassa yang efektif.

4. KESIMPULAN

Mesin pencacah pelepah dan daun kelapa sawit telah berhasil dirancang, dibuat, dan diuji sebagai teknologi pra-pengolahan biomassa untuk mendukung pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai bahan baku energi terbarukan. Mesin memiliki karakteristik rancangan berupa 18 kedudukan pisau berputar yang disusun secara spiral, pisau pemotong berputar yang dapat dilepas-pasang, 10 pisau pemotong tetap, serta sistem saringan sebagai pengontrol keluaran material. Hasil pengujian menggunakan 5 kg pelepah kelapa sawit pada tiga kali pengujian menunjukkan bahwa waktu pencacahan berkisar antara

100–110 detik. Kapasitas pencacahan yang diperoleh berada pada rentang 163,64–180,00 kg/jam, dengan kapasitas rata-rata sebesar 172,24 kg/jam. Rendemen hasil cacahan berada pada rentang 50–80%, dengan rata-rata sebesar 64,67%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kapasitas pencacahan yang tinggi tidak selalu menghasilkan rendemen yang tinggi. Pengujian ke-3 menghasilkan kapasitas tertinggi sebesar 180,00 kg/jam, tetapi rendemen terendah sebesar 50%. Mesin berpotensi digunakan sebagai teknologi awal pra-pengolahan biomassa dalam rangkaian pemanfaatan pelepah kelapa sawit untuk produksi biopellet. Meskipun demikian, optimalisasi sistem saringan dan pengeluaran material masih diperlukan untuk meningkatkan rendemen. Sehingga hasil penelitian ini juga menjadi dasar untuk pengembangan penelitian berikutnya, untuk mengembangkan sistem anti *clogging* serta yang mengintegrasikan proses pencacahan dengan pengeringan, penggilingan, dan densifikasi sehingga dapat diperoleh sistem pengolahan pelepah kelapa sawit yang lebih terintegrasi menuju produksi biopellet sebagai sumber energi terbarukan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi atas Hibah Penelitian yang telah diberikan, dengan nomor kontrak 012/PL28C1/AL.04.03/PEN/2026 tanggal 27 April 2026.

REFERENCES

- Alamsyah, R., & Supriatna, D. (2018). Analisis Teknik dan Tekno Ekonomi Pengolahan Biomassa Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Menjadi Pelet sebagai Bahan Bakar Terbarukan Skala Produksi. *Warta IHP/Journal of Agro-Based Industry*, 35(1), 1–11.
- Arriyani, Y. F., Idiar, Subkhan, & Krishnaningsih, S. D. (2021). Kinerja Mesin Pencacah Pelepah Kelapa Sawit Dengan Sistem Rotary. *Jurnal Teknologi Manufaktur*, 13(02), 68–74. <https://doi.org/10.33504/manutech.v13i02>
- Arriyani, Y. F., Rodika, Adia, D., & Ramahani, L. (2023). *Mesin Pencacah Pelepah dan Daun Kelapa Sawit* (Patent IDS000006381). Kementerian Hukum dan HAM.
- Bachtiar, G., & Rusirawan, D. (2025). Biomassa Sebagai Solusi Energi Terbarukan Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap: Kajian Penggunaan Dan Efisiensi. *Sinergi Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 06(02), 50–57. <https://doi.org/https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v6i2.2188>
- Bulan, R., Mandang, T., Hermawan, W., Desrial, D., & Agussabti, A. (2018). Design and Performance of an Integrated Machine for Chopping Oil Palm Leaves and Compressing Fronds. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 6(1), 1–8. <https://doi.org/10.19028/jtep.06.1.83-90>
- Bulan, R., Yunus, Y., Mustaqimah, & Sitorus, A. (2021). Modification and performance improvement of chopper palm frond (AE03-Type). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 644(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/644/1/012043>
- Fauzia, A. (2024). *Biomass energy from agricultural waste: A green solution to achieve energy security and national economic development*. 1(2). <https://doi.org/10.61511/dynames.v1i2.998>
- Febriani, A. V., Hanum, F. F., Rahayu, A., Kimia, M. T., Industri, T., Dahlan, A., & Selatan, J. R. (2024). *Review: Analisis Potensi dan Tantangan Biomassa Sebagai Bahan Bakar pada PLTU dan PLTBm*.
- Kasmaniar, Syaifuddin Yana, Nelly, Fitriliana, Susanti, Filia Hanum, & Aidil Rahmatullah. (2023). Pengembangan Energi Terbarukan Biomassa dari Sumber Pertanian, Perkebunan dan Hasil Hutan Kajian Pengembangan dan Kendalanya. *Jurnal Serambi Engineering*, VIII(01), 4957–4964.

- Mahmud, N., & Rosentrater, K. A. (2019). Life-cycle assessment (LCA) of different pretreatment and product separation technologies for butanol bioprocessing from oil palm frond. *Energies*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/en13010155>
- Meidina Kusnadi, D., Dimasromanda Hidayatullah, M., & Lukman Hakim, M. (2023). Calculation and Design of Transmission System in the Design of Empty Palm Oil Fruit Bunches Chopper Machine with a Capacity of 100 Kg/Hour. In *The Journal of Engineering* (Vol. 9, Number 3).
- Noerrizki, A. M., Putri, T. K., & Ernah, E. (2019). Utilization of palm oil waste as bioenergy. *Sustinere: Journal of Environment and Sustainability*, 3(1), 48–66. <https://doi.org/10.22515/sustinere.jes.v3i1.77>
- Parinduri, L., Parinduri, T., Kunci, K., Fosil, E., Biomassa, E., & Energi, K. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. In *Journal of Electrical Technology* (Vol. 5, Number 2). <https://www.dosenpendidikan>.
- Praevia, M. F., & Widayat, W. (2022). Analisis Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Cofiring pada PLTU Batubara. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(1), 28–37. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13367>
- Sulasminingsih, S., Hafiz, F., Sari, K., & Yuninda, S. (2023). Penggunaan Biomassa sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik di Wilayah Pedesaan. *Journal of Optimization System and Ergonomy Implementation (JOSEON)*, 01(01), 42–51. <https://doi.org/10.30988/xxxx.xxxx.xxxx>
- Susilo, B., Nurrohkayati, A. S., Pranoto, S. H., & Nugroho, A. (2023). Prototype of the chopping machine for the fronds and leaves of oil palms. *Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering*, 7(2), 69–74. <https://doi.org/10.22219/jemmme.v7i2.25512>