

## Perancangan Mesin Pencacah Pakan Ternak dengan Pengaturan Ukuran Cacahan 2–15 mm Menggunakan SolidWorks dan Analisis FEA pada Poros

Tri Mulyanto<sup>1\*</sup>, Sodikun<sup>2</sup>, Abdul Muchlis<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Teknik Mesin, Universitas Gunadarma, Indonesia

<sup>2</sup>Teknik Industri, Universitas Pancasila, Indonesia

<sup>3</sup>Teknik Mesin, Universitas Gunadarma, Indonesia

Alamat: Jl. Margonda Raya No. 100, Pondok Cina, Depok, Jawa Barat

Email Korespondensi: [tri\\_mulyanto@staff.gunadarma.ac.id](mailto:tri_mulyanto@staff.gunadarma.ac.id)

**Abstract.** *This study is motivated by the need of small-to-medium livestock farmers for a feed chopper that can accelerate feed processing while producing a more uniform and adjustable cut size. Objective: This study aims to design and verify a livestock feed chopper equipped with a cut-size adjustment mechanism and to evaluate the static strength of the main shaft as the primary transmission element. Method: An engineering design approach was applied, including field-based requirement identification through observation, 3D modeling using SolidWorks 2024, quantitative machine-element calculations, and shaft strength evaluation using Finite Element Analysis (FEA) via the Static Structural module in SolidWorks Simulation. Findings: The proposed design targets 200 kg/h capacity with a 1,120 W ( $\approx 1.5$  HP) electric motor, a V-belt transmission system, and an adjustable cut-size range of 2–15 mm. The static shaft verification yielded a maximum Von Mises stress of 14.86 MPa, a maximum displacement of 0.02 mm, and a factor of safety of 3.36, indicating adequate shaft strength and stiffness under the modeled static loading condition. Implications: These results provide a measurable design basis to improve chopping efficiency, reduce manual labor, and support practical adoption for small-to-medium livestock operations. Originality: The novelty lies in integrating an adjustable cut-size mechanism as a primary functional target while presenting explicit quantitative shaft verification (stress–displacement–safety factor) using FEA within a transparent and reproducible design workflow.*

**Keywords:** *livestock feed chopper; adjustable cut size; shaft; finite element analysis; SolidWorks*

**Abstrak.** Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan peternak skala kecil–menengah akan mesin pencacah yang mampu mempercepat pengolahan pakan sekaligus menghasilkan ukuran cacahan yang lebih seragam dan dapat diatur. Tujuan penelitian ini merancang dan memverifikasi mesin pencacah pakan ternak dengan mekanisme pengaturan ukuran cacahan serta mengevaluasi kekuatan statis poros sebagai elemen transmisi utama. Metode yang digunakan adalah pendekatan perancangan rekayasa (engineering design) melalui identifikasi kebutuhan pengguna berbasis observasi lapangan, pemodelan 3D menggunakan SolidWorks 2024, perhitungan elemen mesin secara kuantitatif, dan analisis kekuatan poros menggunakan Finite Element Analysis (FEA) pada modul Static Structural SolidWorks Simulation. Hasil rancangan menargetkan kapasitas 200 kg/jam dengan motor listrik 1.120 W ( $\approx 1,5$  HP), sistem transmisi sabuk-V, serta rentang pengaturan ukuran cacahan 2–15 mm. Verifikasi statis poros menunjukkan tegangan Von Mises maksimum 14,86 MPa, perpindahan maksimum 0,02 mm, dan faktor keamanan 3,36, yang mengindikasikan poros cukup kuat dan kaku pada skenario pembebanan statis yang dimodelkan. Implikasi penelitian ini adalah tersedianya dasar desain yang lebih terukur untuk meningkatkan efisiensi proses pencacahan, menekan beban kerja manual, dan mendukung penerapan mesin pencacah yang praktis pada sistem peternakan skala kecil–menengah. Keaslian penelitian terletak pada integrasi mekanisme pengaturan ukuran cacahan sebagai target fungsional utama dan penyajian verifikasi poros secara kuantitatif (tegangan–perpindahan–faktor keamanan) berbasis FEA dalam satu alur perancangan yang transparan dan mudah direplikasi.

**Kata kunci:** mesin pencacah pakan ternak; pengaturan ukuran cacahan; poros; analisis elemen hingga; SolidWorks.

Received: Desember 28, 2025; Revised: December 30, 2025; Accepted: December 31, 2025; Online

Available: : December 31, 2025; Published: : December 31, 2025;

\*Corresponding author, [tri\\_mulyanto@staff.gunadarma.ac.id](mailto:tri_mulyanto@staff.gunadarma.ac.id)

## LATAR BELAKANG

Indonesia masih bergantung pada subsektor pertanian dan peternakan dalam menopang pembangunan nasional. Kedua subsektor ini berperan dalam penyediaan pangan, penyerapan tenaga kerja, serta kontribusi terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional (BPS, 2024; Kementerian Keuangan RI, 2020). Seiring meningkatnya aktivitas pertanian, volume limbah pertanian seperti jerami padi, batang jagung, dan sisa tanaman pangan juga bertambah dan masih belum dimanfaatkan secara optimal sehingga berpotensi menimbulkan masalah lingkungan bila tidak dikelola dengan baik. Berbagai kajian menunjukkan limbah tersebut berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pakan ternak alternatif yang ekonomis dan berkelanjutan, sekaligus sejalan dengan konsep *circular economy* pada sektor peternakan (BPPPSDMP Pertanian, 2024; Harly & Mulyani, 2024; Telupere et al., 2021).

Karakter limbah pertanian yang umumnya berserat kasar menjadi kendala pemanfaatan langsung sebagai pakan karena dapat menurunkan pencernaan dan efisiensi pemanfaatan nutrisi, sehingga diperlukan perlakuan awal seperti pencacahan dan fermentasi untuk meningkatkan kualitas pakan (Devant et al., 2018; Haq et al., 2024; Izadbakhsh et al., 2024). Proses pencacahan memegang peran penting karena ukuran partikel memengaruhi luas permukaan kontak mikroba selama fermentasi dan efisiensi pencernaan; ukuran yang lebih kecil dan relatif seragam dapat meningkatkan kinerja fermentasi dan penyerapan nutrisi (Devant et al., 2018). Observasi pada peternakan skala kecil di Depok dan sekitarnya menunjukkan sebagian peternak masih mencacah secara manual atau menggunakan peralatan sederhana, yang cenderung membutuhkan tenaga dan waktu besar serta menghasilkan ukuran potongan tidak seragam sehingga menurunkan efisiensi pengolahan pakan (Sinha, 2021). Dari sisi rekayasa mesin, kondisi kerja pencacahan menempatkan poros sebagai komponen kritis karena mentransmisikan torsi dari penggerak ke pisau; kegagalan poros dapat menghentikan operasi dan menimbulkan kerugian, sehingga perancangan poros perlu mempertimbangkan kekuatan dan keandalan serta divalidasi melalui analisis numerik seperti Finite Element Analysis (FEA) sebelum tahap fabrikasi (Hou et al., 2022).

Berbagai penelitian pengembangan forage chopper umumnya menekankan optimasi desain dan parameter operasi untuk menyeimbangkan kapasitas, efisiensi energi, dan kualitas cacahan. Modifikasi *locally manufactured forage chopper* melalui

penurunan kecepatan putar dilaporkan dapat menekan konsumsi bahan bakar tanpa mengurangi kemampuan pencacahan (Pratiwi et al., 2023), sementara pada electric forage chopper terdapat trade-off antara kenaikan kecepatan silinder potong dan kebutuhan daya sehingga diperlukan titik operasi optimum (Jamshidpouya et al., 2018). Desain spesifik komoditas seperti cross-flow type sorghum chopper juga menunjukkan pentingnya kesesuaian rancangan dengan karakter bahan dan target keluaran (Unadi et al., 2023). Namun, banyak studi masih berfokus pada capaian kapasitas dan daya-putaran, sedangkan integrasi mekanisme pengaturan ukuran cacahan yang terukur dan konsisten sebagai fitur desain belum banyak diuraikan secara rinci.

Kajian terkait ukuran partikel (particle size) dan panjang potong (cut length) menegaskan bahwa pengendalian ukuran cacahan merupakan parameter kunci karena menentukan distribusi ukuran hasil dan kualitas pengolahan lanjutan. Pada precision cut forage harvester, pengaturan theoretical length of cut (TLOC) pada kisaran 7–16 mm dilaporkan menghasilkan distribusi partikel yang sesuai untuk ensiling rumput (Belov, 2019). Namun, survei pada whole-plant corn silage menunjukkan setelan TLOC yang disebut operator/petani tidak selalu berkorelasi dengan mean particle length (MPL), menandakan adanya pengaruh faktor lain seperti kondisi bahan dan mekanisme pemotongan (Salvati et al., 2017). Dari sisi evaluasi, ayakan mekanis dapat mengunderestimate panjang partikel, sementara image analysis dinilai lebih representatif untuk karakter partikel hasil cacahan (Savoie et al., 2013, 2014). Secara biologis, perubahan ukuran partikel memengaruhi respon ruminansia seperti perilaku mengunyah dan kondisi rumen (Teimouri Yansari et al., 2007; Yansari et al., 2020), dan strategi pengaturan TLOC juga dilaporkan berdampak pada kernel processing serta pencernaan pati pada silase jagung (Salvati et al., 2023). Celah yang masih tampak adalah keterbatasan penjelasan rinci mengenai mekanisme pengaturan ukuran cacahan (rentang setelan, metode penguncian, dan konsistensi/ulangannya) serta standar evaluasi distribusi ukuran yang praktis untuk mesin skala kecil.

Validasi kekuatan poros pada sistem berputar lazim dilakukan menggunakan finite element analysis (FEA) untuk memperoleh respons tegangan dan deformasi yang lebih realistis dibanding perhitungan sederhana. Model FEA pada transmisi gear drive menunjukkan pentingnya memasukkan defleksi poros dan deformasi torsi agar estimasi tegangan lebih akurat (Gonzalez-Perez et al., 2012), sementara pada poros bertumpu

jamak pendekatan FEA nonlinier yang mempertimbangkan kekakuan tumpuan diperlukan untuk memprediksi distribusi beban dan deformasi secara representatif (Tian et al., 2015). Aplikasi pada mesin berat juga memanfaatkan FEA untuk pemetaan tegangan-regangan poros pada kondisi putaran rendah dan beban besar (So et al., 2011), termasuk evaluasi pengaruh temperatur pada respons termal komponen berputar (Wang et al., 2012). Dalam praktik rekayasa, SolidWorks Simulation sering digunakan untuk analisis statik sebagai verifikasi awal perilaku struktur poros (Petrova, 2014; Rasheeth & Bharathi, 2023). Namun, pada mesin pencacah skala kecil masih diperlukan pemodelan beban yang merepresentasikan kondisi kerja aktual (torsi, lentur, dan tumpuan) serta pelaporan parameter simulasi yang transparan agar hasil dapat direplikasi dan dibandingkan lintas studi.

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan menganalisis mesin pencacah pakan ternak yang dilengkapi mekanisme pengaturan ukuran cacahan untuk menghasilkan potongan yang lebih terkendali dan konsisten, sekaligus menutup celah pada penelitian terdahulu yang umumnya masih menekankan capaian kapasitas atau optimasi parameter operasi tanpa integrasi fitur pengaturan ukuran yang terukur. Secara spesifik, penelitian ini (1) mengembangkan desain mekanik mesin beserta konsep pengaturan ukuran cacahan yang dapat disetel dalam rentang tertentu dan mudah dioperasikan, (2) melakukan perhitungan elemen mesin guna menentukan kebutuhan daya, transmisi, serta parameter kerja yang relevan dengan proses pencacahan, dan (3) memvalidasi keandalan poros sebagai komponen kritis melalui analisis kekuatan berbasis Finite Element Analysis (FEA) pada SolidWorks Simulation untuk memperoleh distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan pada skenario pembebanan yang merepresentasikan kondisi kerja. Dengan demikian, kontribusi utama penelitian ini adalah menghadirkan rancangan yang tidak hanya fungsional dari sisi pengaturan ukuran hasil cacahan, tetapi juga terverifikasi aman secara mekanis melalui analisis poros yang transparan sebagai dasar yang lebih kuat sebelum tahap fabrikasi dan pengujian eksperimental.

Integrasi mekanisme pengaturan ukuran cacahan diperkirakan mampu meningkatkan konsistensi hasil size reduction dengan menggeser distribusi panjang partikel menuju rentang yang lebih terkontrol dan seragam, karena ukuran partikel pada proses pencacahan sangat dipengaruhi oleh parameter pemotongan dan pengaturan panjang potong teoritis (Belov, 2019; Salvati et al., 2017). Pada saat yang sama,

perubahan setelan ukuran cacahan diprediksi memengaruhi tuntutan beban pemotongan sehingga berpotensi menaikkan torsi dan momen lentur yang bekerja pada poros, terutama ketika setelan diarahkan ke cacahan yang lebih kecil. Meskipun demikian, poros yang dirancang berdasarkan perhitungan elemen mesin dan divalidasi melalui finite element analysis diharapkan tetap berada pada kondisi aman, yang ditunjukkan oleh nilai tegangan Von Mises, deformasi, dan faktor keamanan yang memenuhi batas desain pada skenario pembebanan yang merepresentasikan kondisi operasi (Gonzalez-Perez et al., 2012; Tian et al., 2015; So et al., 2011). Dengan demikian, rancangan yang menggabungkan pengaturan ukuran cacahan dan validasi kekuatan poros secara numerik diproyeksikan menghasilkan mesin yang lebih fungsional dari sisi kualitas hasil cacahan sekaligus andal dari sisi keselamatan mekanik.

## METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian ini disusun untuk memastikan proses perancangan mesin pencacah pakan ternak berjalan sistematis dan terukur, mulai dari identifikasi kebutuhan pengguna hingga evaluasi teknis rancangan. Alur kerja dirumuskan dalam bentuk diagram alir agar setiap tahap observasi lapangan, perancangan fungsional, perancangan komponen, serta simulasi dan analisis memiliki keluaran yang jelas sebagai dasar penyempurnaan desain mesin. Diagram alir tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 1.** Diagram alir tahapan perancangan mesin pencacah pakan ternak.

Diagram alir pada Gambar 2 menunjukkan tahapan penelitian dimulai dari observasi lapangan hingga penetapan spesifikasi desain akhir mesin pencacah pakan ternak.

Penelitian ini menempatkan rancangan mesin pencacah pakan ternak sebagai objek kajian rekayasa, dengan fokus utama pada poros penggerak karena komponen ini mentransmisikan putaran motor menuju sistem pisau dan menjadi bagian paling kritis terhadap beban kerja selama proses pencacahan. Sistem utama yang dirancang mencakup rangka, pisau pencacah (pisau tetap dan pisau berputar), poros penggerak, serta motor listrik sebagai penggerak proses pencacahan.

Pendekatan yang digunakan adalah engineering design karena penelitian diarahkan untuk menghasilkan solusi desain yang dapat dirancang, dievaluasi, dan disiapkan menuju pembuatan prototipe secara sistematis. Alur kegiatan disusun mengikuti tahapan perancangan agar proses dari identifikasi kebutuhan hingga penetapan desain akhir tetap terukur, efisien, dan sesuai kebutuhan pengguna.

Landasan informasi diperoleh dari kombinasi data primer dan sekunder. Data primer dikumpulkan melalui observasi dan wawancara dengan 15 peternak untuk memetakan kendala penggunaan alat pencacah yang menghasilkan ukuran potongan tidak seragam serta kebutuhan fitur pengaturan ukuran potongan 2–5 cm.

Data sekunder berasal dari studi literatur untuk memperkuat aspek teoritis dan rujukan pengembangan sistem pemotong yang dapat diatur sesuai kebutuhan pengguna. Selain itu, data teknis desain dihimpun mencakup jenis bahan pakan yang diproses, ukuran cacahan yang diinginkan, kapasitas produksi, dan kondisi lingkungan operasi mesin.

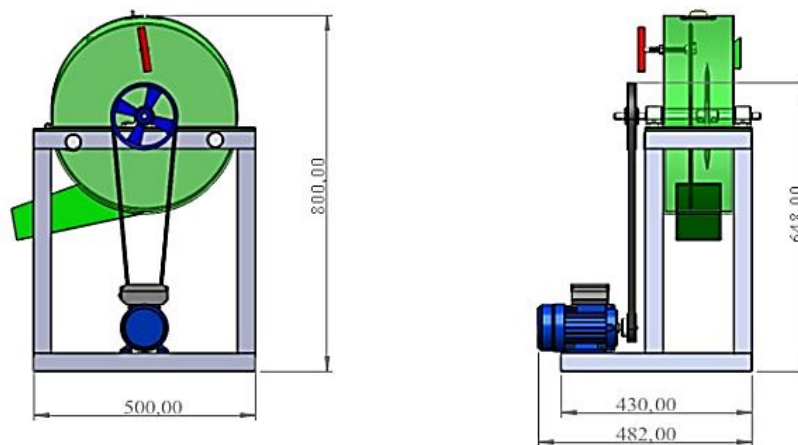
Informasi kebutuhan pengguna dikumpulkan melalui observasi lapangan dan wawancara, kemudian diterjemahkan menjadi spesifikasi teknis dan rancangan fungsional untuk mendefinisikan fungsi tiap subsistem. Temuan lapangan tersebut dipakai sebagai dasar penyusunan konfigurasi komponen, dilanjutkan dengan pembuatan model/gambar rancangan agar integrasi sistem tidak membebani pengoperasian serta tetap sesuai target keluaran.

Analisis dilakukan melalui rangkaian perhitungan dan evaluasi rekayasa dengan penekanan pada poros. Proses dimulai dari perancangan poros (pemilihan material dan penentuan dimensi) yang diturunkan dari kebutuhan daya/putaran dan estimasi beban kerja pencacahan, kemudian dilanjutkan evaluasi kekuatan statis poros terhadap pembebanan ekuivalen (kombinasi torsi dan lentur) sebagai representasi kondisi operasi. Tahap perhitungan detail komponen mencakup penentuan ukuran poros, yang selanjutnya

menjadi dasar analisis teknik untuk menilai kinerja komponen dan menetapkan rancangan akhir yang siap diprototipekan serta diuji di lapangan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil penelitian yang menjawab tujuan analisis poros pada mesin pencacah, mulai dari penentuan parameter desain (beban, torsi, daya, dan dimensi poros) sampai evaluasi kekuatan statis berbasis simulasi (tegangan Von Mises, perpindahan, dan faktor keamanan). Hasil disusun menjadi tiga bukti utama: (1) hasil perancangan dan perhitungan poros sebagai dasar input simulasi, (2) bukti tegangan maksimum yang terjadi pada poros, dan (3) bukti kekakuan serta margin keamanan desain melalui displacement dan *factor of safety*



**Gambar 2.** Model mesin pencacah pakan ternak hasil perancangan

### Parameter Desain Poros dan Pembebanan

Penentuan desain poros diawali dengan menghitung besaran beban dan kebutuhan daya sistem pencacah. Total massa komponen berputar (poros, piringan, dan pisau) dihitung sebesar 10,77 kg (ekuivalen  $\approx 105,65$  N) sehingga nilai ini dipakai sebagai dasar pembebanan utama pada poros.

Selain itu, gaya pencacah dihitung 26,1 N, menghasilkan torsi pencacah 5,48 Nm. Dengan putaran poros yang ditetapkan 1400 rpm, daya pencacah yang diperoleh adalah 804 W, dan setelah memperhitungkan efisiensi, daya motor yang dipilih menjadi 995 W ( $\approx 1,34$  HP).

Selanjutnya, untuk memastikan poros mampu mentransmisikan daya secara aman, daya rencana poros dihitung menjadi 1,194 kW (menggunakan faktor koreksi daya. Nilai ini digunakan untuk menghitung momen puntir rencana 830,68 kg·mm, kemudian dikombinasikan dengan momen lentur maksimum 1,089 Nm pada kondisi beban melintang.

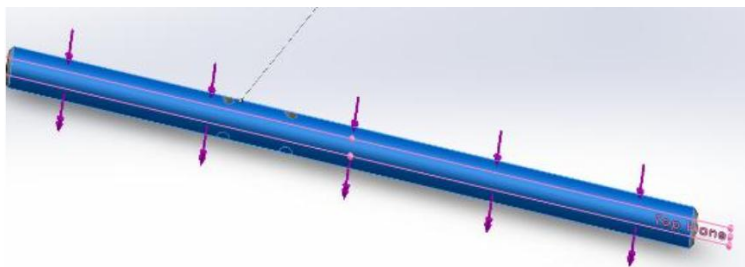
Dari perhitungan tegangan geser ijin ( $4,33 \text{ kg/mm}^2$ ) dan parameter koreksi, diameter poros hasil perhitungan adalah 14,24 mm, sehingga secara praktik dapat dibulatkan ke ukuran standar terdekat (misalnya 15 mm) untuk manufaktur dan pemasangan bantalan.

Sebagai pendukung keandalan operasi, bantalan yang digunakan (UC202) menghasilkan umur teoritis 181.233,54 jam atau sekitar 20 tahun, sehingga secara desain bantalan tidak menjadi titik lemah dominan pada kondisi operasi yang diasumsikan.

**Tabel 4.6.** Properties Material untuk Pengujian Statis

Property	Value	Units
Elastic Modulus	$2.049999984 \times 10^{11}$	N/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.29	N/A
Tensile Strength	585000002.9	N/m <sup>2</sup>
Yield Strength	282685049	N/m <sup>2</sup>
Tangent Modulus		N/m <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	$1.1 \times 10^{-5}$	/K
Mass Density	7849.999987	kg/m <sup>3</sup>
Hardening Factor	0.85	N/A

Kondisi pembebanan yang digunakan dalam simulasi ditunjukkan pada Gambar 2 untuk menggambarkan lokasi, arah, dan besar gaya yang bekerja pada poros.



**Gambar 3.** Pembebanan Poros

Dari rangkaian data tersebut terlihat pola bahwa beban desain poros terutama berasal dari massa komponen berputar (10,77 kg), sementara kebutuhan daya motor



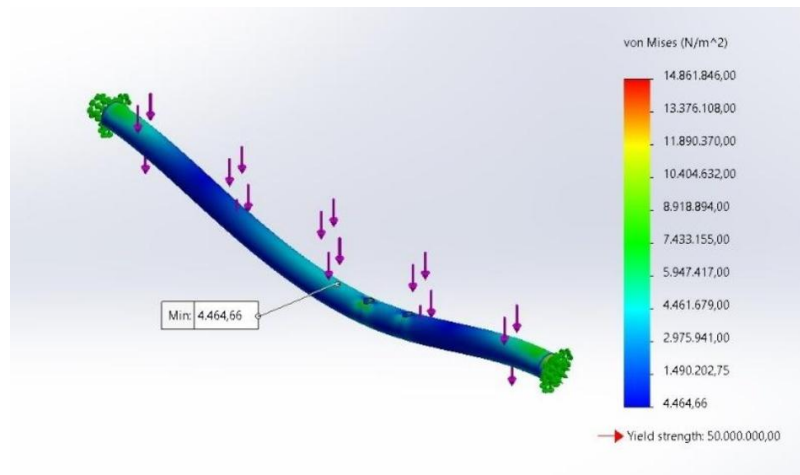
berada di bawah 1 kW namun tetap diberi margin melalui daya rencana 1,194 kW. Diameter hasil hitung yang mendekati 15 mm menunjukkan desain poros relatif ramping tetapi masih berada dalam batas aman untuk dilanjutkan ke tahap verifikasi statis.

Parameter daya, torsi, beban, serta dimensi poros yang diperoleh pada tahap perancangan digunakan sebagai dasar penetapan kondisi pembebanan dan input simulasi kekuatan statis pada bagian berikutnya.

### Tegangan Von Mises Poros

Setelah kondisi pembebanan ditetapkan, bukti kekuatan statis pertama ditunjukkan melalui hasil tegangan ekuivalen (Von Mises). Pada simulasi ini, tegangan maksimum pada poros tercatat sebesar  $14.861.846 \text{ N/m}^2$ , yang muncul akibat pembebanan total komponen sebesar 105,62 N.

Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan batas tegangan material yang digunakan dalam naskah, yaitu  $50.000.000 \text{ N/m}^2$ , sehingga secara kriteria statis poros dinyatakan aman karena tegangan kerja masih berada di bawah batas material. Kontur tegangan Von Mises pada poros yang diperoleh dari simulasi SolidWorks disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Von Mises Stress pada Poros

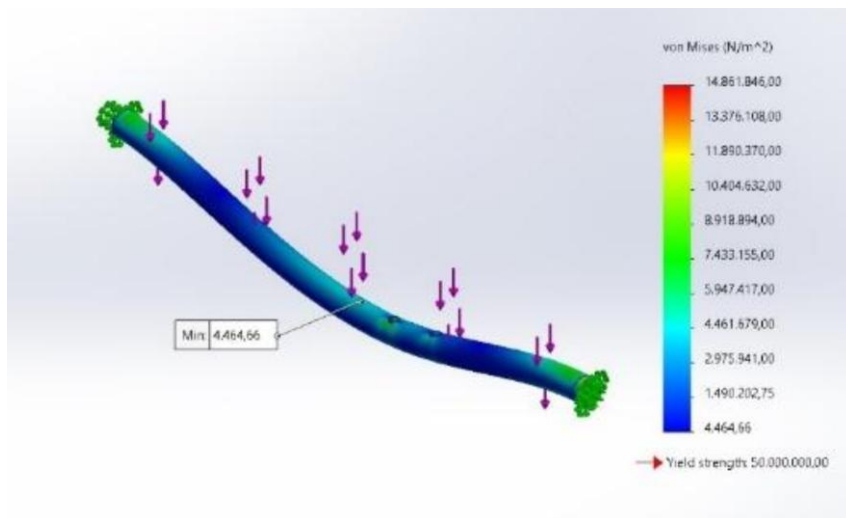
Hasil simulasi tegangan Von Mises pada poros menunjukkan bahwa tegangan terbesar terjadi pada segmen poros yang menerima kombinasi pembebanan (gaya dari komponen piringan/pisau dan reaksi tumpuan), dengan tegangan maksimum sebesar

14,86 MPa. Mengacu pada yield strength yang digunakan pada simulasi ( $\sigma_y = 50$  MPa), nilai tegangan tersebut setara dengan 29,72% dari batas luluh, sehingga masih tersedia margin sekitar 35,14 MPa sebelum mencapai kondisi luluh. Perbandingan kuantitatif ini memberikan faktor keamanan statis  $\approx 3,36$ , yang menandakan poros masih berada pada kondisi aman untuk skenario pembebanan statis yang dianalisis, sementara area dengan kontur tertinggi dapat diperlakukan sebagai lokasi kritis untuk evaluasi geometri (misalnya transisi diameter/fillet) pada pengembangan desain berikutnya.

Pola yang dapat ditegaskan dari bukti ini adalah adanya konsentrasi tegangan pada area yang menerima dan mentransfer beban, sementara bagian lain berada pada level tegangan lebih rendah sesuai karakteristik pembebanan terpusat. Implikasinya, tujuan evaluasi kekuatan statis poros terpenuhi karena bukti tegangan menunjukkan desain masih dalam margin aman untuk diteruskan ke evaluasi kekakuan dan faktor keamanan.

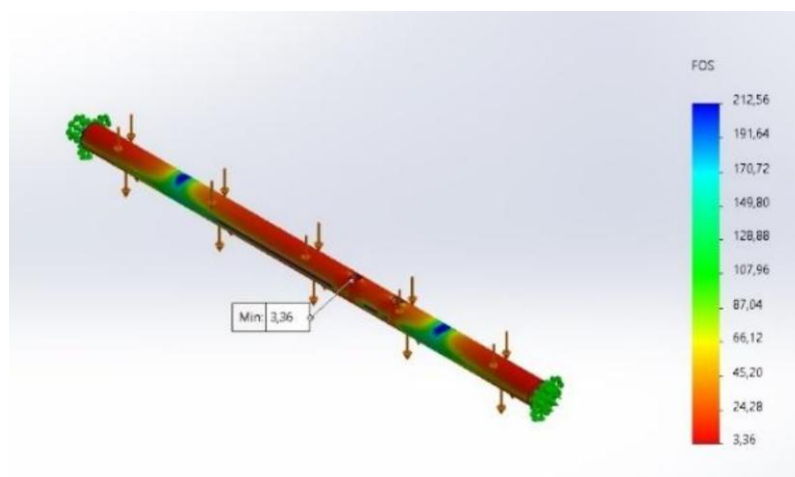
### ***Displacement dan Factor of Safety Poros***

Poros juga harus memiliki kekakuan yang memadai agar defleksi tidak mengubah celah kerja dan kestabilan elemen pemotong selama operasi. Hasil simulasi menunjukkan nilai perpindahan minimum berada pada 0,00 mm, sedangkan perpindahan maksimum mencapai 0,02 mm pada titik yang paling jauh dari pengekanan. Besaran perpindahan maksimum ini tergolong sangat kecil untuk skenario pembebanan statis yang diuji, sehingga secara kekakuan poros masih layak dan tidak mengindikasikan potensi gangguan terhadap kerja piringan/pisau. Gambar 5 memperlihatkan kontur perpindahan tersebut, di mana zona perpindahan terbesar terkonsentrasi pada bagian poros yang relatif paling bebas dan paling dekat terhadap pengaruh pembebanan, sementara zona di sekitar tumpuan menunjukkan perpindahan minimum.



Gambar 5. Displacement pada Poros

Evaluasi berikutnya dilakukan melalui factor of safety (FOS) sebagai ukuran margin aman terhadap luluh pada kondisi statis. Pada naskah ini, FOS didefinisikan sebagai perbandingan yield strength terhadap tegangan Von Mises maksimum, sehingga diperoleh  $FOS = 50.000.000 / 14.861.846 = 3,36$ . Nilai ini berarti tegangan kerja maksimum hanya sekitar 29,72% dari batas luluh, atau masih tersedia margin sekitar 70,28% sebelum mencapai kondisi luluh untuk beban desain yang digunakan. Visualisasi kontur FOS ditampilkan pada Gambar 6. untuk menunjukkan sebaran margin aman pada seluruh bagian poros, sekaligus mengidentifikasi lokasi dengan FOS terendah sebagai area kritis evaluasi geometrik.



Gambar 6. Factor of Safety pada Poros

Secara keseluruhan, kombinasi perpindahan maksimum yang sangat kecil (0,02 mm) dan FOS 3,36 menunjukkan bahwa poros tidak hanya mampu menahan beban statis tanpa mendekati luluh, tetapi juga cukup kaku untuk menjaga kestabilan elemen pemotong pada konfigurasi pembebanan yang dimodelkan. Dengan demikian, verifikasi kinerja statis poros melalui indikator tegangan, displacement, dan faktor keamanan mendukung tercapainya tujuan analisis statis pada penelitian ini.

### **Evaluasi Kinerja mesin**

Berdasarkan hasil perancangan dan analisis, mesin pencacah pakan ternak yang dikembangkan menunjukkan kinerja yang sesuai untuk aplikasi peternakan skala kecil hingga menengah. Dari sisi performa, rancangan ditargetkan memiliki kapasitas 200 kg/jam dengan penggerak motor listrik 1.120 W ( $\approx 1,5$  HP), serta dilengkapi mekanisme pengaturan ukuran cacahan 2–15 mm untuk menyesuaikan kebutuhan pengolahan berbagai bahan pakan. Dari sisi keandalan struktural, analisis statis poros memberikan tegangan Von Mises maksimum 14,86 MPa, perpindahan maksimum 0,02 mm, dan faktor keamanan 3,36, sehingga poros dinilai memiliki margin aman dan kekakuan yang memadai pada skenario pembebanan yang dimodelkan.

Dibandingkan penelitian terdahulu, rancangan pada penelitian ini menonjol pada integrasi fitur pengaturan ukuran cacahan yang terukur dan verifikasi numerik poros secara eksplisit. Hande et al. (2015) mengembangkan mesin pencacah limbah organik portabel dengan penekanan pada mobilitas dan kebutuhan komposting, tetapi belum membahas mekanisme pengaturan ukuran cacahan maupun kajian kekuatan poros secara mendalam. Warman et al. (2024) merancang mesin pencacah rumput pakan ternak berbasis motor listrik dengan peningkatan kapasitas, namun belum dilengkapi pengaturan ukuran potongan yang variabel serta pelaporan analisis numerik berbasis Finite Element Analysis (FEA). Dengan demikian, penelitian ini melengkapi celah tersebut melalui rancangan mekanisme ukuran cacahan variabel dan evaluasi kekuatan poros menggunakan FEA, sehingga aspek operasional dan mekanis dapat dinilai secara lebih komprehensif.

### **PEMBAHASAN**

Penelitian ini menghasilkan rancangan mesin pencacah pakan ternak yang menekankan dua keluaran utama, yaitu capaian rancangan fungsional (kapasitas dan rentang ukuran cacahan) serta verifikasi kekuatan statis poros sebagai elemen transmisi kritis. Target rancangan ditetapkan pada kapasitas 200 kg/jam dengan penggerak motor listrik 1.120 W ( $\approx 1,5$  HP) dan mekanisme pengaturan ukuran cacahan 2–15 mm. Pada sisi mekanis, simulasi statis poros menunjukkan tegangan Von Mises maksimum 14,86 MPa, perpindahan maksimum 0,02 mm, dan faktor keamanan 3,36 (berdasarkan perbandingan yield strength 50 MPa terhadap tegangan maksimum), sehingga poros berada pada kondisi aman untuk skenario pembebanan yang dimodelkan.

Kecenderungan distribusi tegangan dan perpindahan tersebut selaras dengan karakter kerja poros pada sistem pencacah, yakni menerima kombinasi torsi pemotongan dan momen lentur akibat gaya pada piringan/pisau serta reaksi pada tumpuan bantalan. Konsentrasi tegangan pada area tertentu umumnya muncul pada lokasi yang paling dekat dengan aplikasi beban atau perubahan geometri poros (misalnya bahu poros dan titik pemasangan komponen), sehingga area ini menjadi titik kritis untuk pengendalian detail desain (radius fillet, keyway, atau perubahan diameter). Sementara itu, nilai perpindahan maksimum yang sangat kecil (0,02 mm) menunjukkan kekakuan poros memadai, sehingga defleksi tidak mengindikasikan potensi gangguan kestabilan elemen pemotong pada kondisi statis yang diuji.

Dari sisi komparasi, penelitian-penelitian pengembangan forage chopper banyak menempatkan optimasi daya–kecepatan putar–kapasitas sebagai fokus utama. Pratiwi et al. (2023) menekankan modifikasi desain untuk efisiensi energi melalui penyesuaian parameter operasi, sedangkan Jamshidpouya et al. (2018) menunjukkan trade-off antara kenaikan kecepatan silinder pemotong dan peningkatan kebutuhan daya sehingga penentuan titik operasi optimum menjadi kunci. Unadi et al. (2023) memperlihatkan bahwa rancangan spesifik komoditas dapat diarahkan untuk kapasitas tinggi pada rentang panjang potong tertentu. Dibandingkan studi-studi tersebut, kontribusi penelitian ini terletak pada integrasi mekanisme pengaturan ukuran cacahan (2–15 mm) sebagai target desain dan verifikasi numerik poros melalui indikator kuantitatif  $\sigma_{\max}$ ,  $\delta_{\max}$ , dan FOS, sehingga aspek operasional dan keamanan mekanis dievaluasi secara terukur dalam satu kerangka desain.

Makna temuan ini terutama terkait kelayakan penerapan pada peternak skala kecil–menengah, karena rancangan diarahkan untuk pengolahan pakan berbasis limbah pertanian dengan kebutuhan ukuran cacahan yang dapat diatur. Secara mekanis, nilai FOS 3,36 menunjukkan margin aman yang memadai terhadap luluh pada beban desain statis, sedangkan  $\delta_{\max}$  0,02 mm mengindikasikan kekakuan yang cukup untuk menjaga kestabilan kerja sistem pemotongan. Dengan demikian, verifikasi statis poros memberikan dasar teknis bahwa desain transmisi utama tidak bekerja mendekati batas material pada kondisi pembebanan yang dimodelkan.

Meskipun demikian, hasil ini masih dibatasi oleh asumsi analisis statis dan material homogen–elastis linier, sedangkan proses pencacahan aktual melibatkan fluktuasi torsi, variasi kekerasan bahan, dan potensi eksitasi dinamis. Konsekuensi positif dari margin aman yang besar adalah peningkatan reliabilitas awal, namun konsekuensi lainnya adalah peluang optimasi lanjutan (misalnya efisiensi material atau penataan geometri) dan kebutuhan verifikasi tambahan terhadap risiko fatigue. Berdasarkan temuan ini, langkah berikutnya yang disarankan adalah pengujian eksperimental kualitas ukuran cacahan pada beberapa jenis bahan pakan dan analisis lanjutan yang memasukkan beban dinamis/kelelahan agar kelayakan poros dan mekanisme pengaturan ukuran cacahan dapat divalidasi pada kondisi operasi yang lebih representatif.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan mesin pencacah pakan ternak dapat diarahkan pada dua capaian inti: kinerja fungsional pencacahan yang terukur dan verifikasi kekuatan poros sebagai elemen transmisi utama. Rancangan yang diusulkan menargetkan kapasitas 200 kg/jam dengan penggerak 1.120 W ( $\approx 1,5$  HP) serta mekanisme pengaturan ukuran cacahan 2–15 mm. Hasil verifikasi statis berbasis FEA pada poros memperlihatkan tegangan Von Mises maksimum 14,86 MPa, perpindahan maksimum 0,02 mm, dan faktor keamanan 3,36, sehingga poros dinilai memiliki margin aman dan kekakuan yang memadai pada skenario pembebanan yang dimodelkan.

Kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada integrasi pendekatan desain rekayasa dan evaluasi numerik yang secara eksplisit mengaitkan kebutuhan operasional (kapasitas dan rentang ukuran cacahan) dengan keamanan mekanis komponen kritis (poros). Berbeda dari banyak studi yang dominan menekankan optimasi parameter operasi,

penelitian ini menambahkan bukti kuantitatif berupa indikator tegangan–perpindahan–faktor keamanan untuk mendukung keputusan desain poros, sehingga rancangan dapat dinilai lebih transparan dan dapat dibandingkan pada penelitian sejenis.

Keterbatasan penelitian ini adalah analisis poros masih dibatasi pada kondisi statis dengan asumsi material homogen dan elastis linier, sehingga efek beban dinamis, ketidakseimbangan putaran, variasi kekerasan bahan, dan kelelahan (fatigue) belum dievaluasi. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan uji eksperimental performa pencacahan untuk memvalidasi konsistensi rentang 2–15 mm pada berbagai bahan pakan, serta memperluas analisis menjadi dinamis/fatigue dengan skenario beban yang lebih representatif terhadap kondisi kerja aktual.

## DAFTAR REFERENSI

- Abdul, M., & Achmad, R. H. (2024). Kekuatan statik rangka mesin alat penyortir barang menggunakan software SolidWorks. *Venus*, 2(4), 221–231.
- Badan Pusat Statistik. (2024). Statistik makro sektor pertanian tahun 2024. Sekretariat Jenderal. <https://data.goodstats.id/statistic/kontribusi-pertanian-pada-pdb-capai-lebih-dari-12-eskl7>
- BPPPSDMP Pertanian. (2024). Indikator pertanian 2024 (Agricultural Indicators) (Vol. 38). <https://pustaka.bppsdmp.pertanian.go.id/info-literasi/info-teknologi-potensi-limbah-padi-sebagai-pakan-ternak>
- Dassault Systèmes. (2024). SOLIDWORKS costing overview – 2024. [https://help.solidworks.com/2024/english/SolidWorks/sldworks/c\\_costing\\_overview.htm](https://help.solidworks.com/2024/english/SolidWorks/sldworks/c_costing_overview.htm)
- Devant, M., Solé, A., Quintana, B., Pérez, A., Ribó, J., & Bach, A. (2018). Effect of particle size of a mash concentrate on behavior, digestibility, and macroscopic and microscopic integrity of the digestive tract in Holstein bulls fed intensively. *Translational Animal Science*, 2(4), 1–10. <https://doi.org/10.1093/tas/txy116>
- Hande, A. S., & Padole, V. (2015). Design and fabrication of portable organic waste chopping machine to obtain compost. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology (IJIRST)*, 2(3), 1–8.

- Haq, M., Fitra, S., Madusari, S., & Yama, D. I. (2024). Potensi kandungan nutrisi pakan berbasis limbah pelepah kelapa sawit dengan teknik fermentasi. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2018* (pp. 1–8). Fakultas Teknik UMJ.
- Harly, R., & Mulyani, S. (2024). Pemanfaatan limbah pertanian (padi dan jagung) sebagai pakan ternak sapi di Kecamatan Harau Kabupaten Lima Puluh Kota. *Journal of Livestock and Animal Health*, 7(1), 7–12.
- Hou, N., Ding, N., Qu, S., Guo, W., Liu, L., Xu, N., Tian, L., Xu, H., Chen, X., Zaïri, F., & Wu, C.-M. L. (2022). Failure modes, mechanisms and causes of shafts in mechanical equipment. *Engineering Failure Analysis*, 141, 106216. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106216>
- Izadbakhsh, M.-H., Hashemzadeh, F., Alikhani, M., Ghorbani, G.-R., Khorvash, M., Heidari, M., Hosseini Ghaffari, M., & Ahmadi, F. (2023). Effects of dietary fiber level and forage particle size on growth, nutrient digestion, ruminal fermentation, and behavior of weaned Holstein calves under heat stress. *Animals*, 14(2), 275. <https://doi.org/10.3390/ani14020275>
- Khope, P. B., & Modak, J. P. (2013). Design of experimental set-up for establishing empirical relationship for chaff cutter energized by human powered flywheel motor. *International Journal of Agricultural Technology*, 9(4), 779–791.
- Mahmudi, H. (2021). Analisa perhitungan pulley dan V-belt pada sistem transmisi mesin pencacah. *Jurnal Mesin Nusantara*, 4(1), 40–46.
- Pavankumar, S. B., Sachin, K. R., Shankar, R., Thyagaraja, B., & Madhusudhan, T. (2018). Design and fabrication of organic waste shredding machine. *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, 7(6), 26–31.
- Shigley, J. E., Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2020). *Shigley's mechanical engineering design* (11th ed.). McGraw-Hill Education.
- Sinha, J., & Kumar, A. (2021). Ergonomically evaluating and modifying fodder cutter by increasing number of blades and varying throat geometry. *Biological Forum – An International Journal*, 13(2), 110–119.



- Sularso, & Suga, K. (2004). Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin (3rd ed.). Pradnya Paramita.
- Syamsuddin. (2025). Potensi limbah pasar sayur sebagai sumber pakan fermentasi untuk ternak kambing. *Jurnal Penelitian Multidisiplin*, 3(5), 151–159. <https://doi.org/10.55681/armada.v2i6.1621>
- Telupere, N. S. H., Salamena, J. F., & Puturuhi, F. (2021). Potensi hijauan dan limbah pertanian tanaman pangan sebagai pakan ruminansia di Kabupaten Seram Bagian Barat. *Jurnal Budidaya Pertanian*, 17(2), 99–108.
- Universitas Sumatera Utara. (2022). Alat pencacah dukung zero waste hasil pertanian komunitas. <https://www.usu.ac.id/id/kegiatan-universitas/alat-pencacah-dukung-zero-waste-hasil-pertanian-komunitas>
- Warman, A., Mijer, S., Sofian, E., & Budiman, S. (2024). Perancangan mesin pencacah rumput pakan ternak menggunakan sistem penggerak motor listrik. *Piston: Jurnal Teknologi*, 9(1), 15–23. <https://doi.org/10.55679/pistonjt.v9i1.55>
- Zullaikah, S., Jannah, A., Pramujati, B., Nugroho, E. N. P., & Haryanto. (2021). Teknologi pembuatan pakan ternak ruminansia murah dan mudah berbasis limbah pertanian yang ramah lingkungan. *Sewagati: Jurnal Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 112–118.