

Analisis Struktural Rangka Mesin Pembelah Kayu Untuk Peningkatan Efisiensi Produksi UMKM

^{1*}Syahril Ghufon Akhsani, ²Kuni Nadliroh

^{1,2} Teknik Mesin, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ¹syahrilgrg@gmail.com, ²kuninadliroh@unpkediri.ac.id

Penulis Korespondens : Syahril Ghufon Akhsani

Abstrak—Penelitian ini membahas analisis struktural rangka mesin pembelah kayu untuk meningkatkan efisiensi produksi UMKM kayu bakar. Tujuan penelitian adalah mengevaluasi kekuatan dan keamanan rangka terhadap beban kerja motor bensin, gearbox, dan pisau pembelah menggunakan simulasi Autodesk Inventor. Metode yang digunakan meliputi pemodelan rangka, penentuan pembebanan statis, serta perbandingan dua material yaitu ASTM A36 dan AISI 1045. Hasil simulasi menunjukkan distribusi tegangan terkonsentrasi pada area sambungan dengan nilai maksimum sekitar 4,1 MPa, deformasi maksimum sebesar 0,017 mm, dan safety factor berada pada kondisi aman. Material AISI 1045 memberikan performa lebih baik dibandingkan ASTM A36 karena memiliki tegangan dan deformasi lebih rendah serta faktor keamanan lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh sifat mekanik AISI 1045 yang lebih kuat. Kesimpulannya, rangka mesin dinyatakan aman digunakan, dan AISI 1045 direkomendasikan untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, dan umur pakai mesin.

Kata Kunci— analisis struktural, rangka mesin pembelah kayu, autodesk inventor

Abstract— This study discusses the structural analysis of a wood splitting machine frame to improve the production efficiency of firewood SMEs. The purpose of this study is to evaluate the strength and safety of the frame against the working load of a gasoline engine, gearbox, and splitting knife using Autodesk Inventor simulation. The methods used include frame modeling, static loading determination, and a comparison of two materials, namely ASTM A36 and AISI 1045. The simulation results show a concentrated stress distribution in the joint area with a maximum value of around 4.1 MPa, a maximum deformation of 0.017 mm, and a safety factor in a safe condition. AISI 1045 material provides better performance than ASTM A36 because it has lower stress and deformation and a higher safety factor. This is due to the stronger mechanical properties of AISI 1045. In conclusion, the machine frame is declared safe to use, and AISI 1045 is recommended to improve the efficiency, safety, and service life of the machine.

Keywords— structural analysis, wood splitting machine frame, autodesk inventor

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) memiliki peran strategis dalam mendukung perekonomian masyarakat, terutama pada sektor pengolahan sumber daya alam seperti kayu bakar [1]. Kayu bakar masih menjadi salah satu sumber energi yang banyak digunakan di berbagai daerah, baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun usaha kecil seperti industri makanan tradisional, pengolahan hasil pertanian, hingga usaha kecil lainnya yang masih mengandalkan energi biomassa [2][3]. Tingginya permintaan terhadap kayu bakar menuntut adanya proses produksi yang lebih efisien, terukur, dan mampu memenuhi kebutuhan pasar secara berkelanjutan [4]. Dalam proses produksinya kayu gelondongan atau limbah kayu harus melalui tahap

pembelahan menjadi ukuran yang lebih kecil dan seragam agar mudah dikeringkan, disimpan, serta digunakan secara optimal sebagai bahan bakar [5].

Proses pembelahan kayu pada sebagian besar UMKM masih dilakukan secara manual menggunakan alat sederhana seperti kapak atau gergaji tangan [6]. Metode konvensional ini memiliki berbagai keterbatasan, di antaranya adalah rendahnya produktivitas kerja, tingginya ketergantungan pada tenaga manusia, serta waktu produksi yang relatif lama [7]. Selain itu, pekerjaan pembelahan kayu secara manual juga memiliki risiko keselamatan kerja yang cukup tinggi akibat penggunaan alat tajam dan beban kerja fisik yang berat. Tidak hanya itu, hasil pembelahan kayu yang tidak seragam dari segi ukuran dan bentuk dapat menyebabkan proses pengeringan menjadi kurang optimal, sehingga mempengaruhi kualitas kayu bakar yang dihasilkan serta menurunkan efisiensi pembakaran saat digunakan [8].

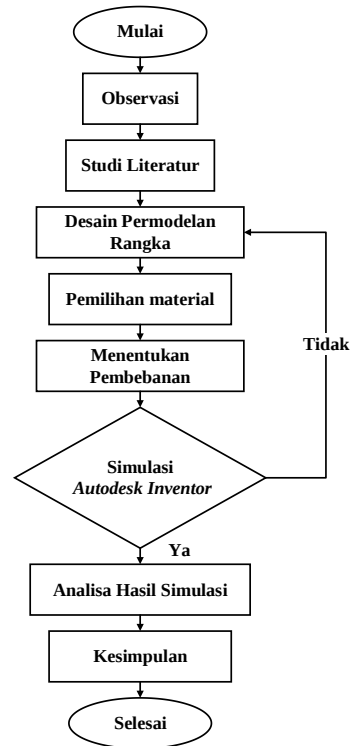
Seiring dengan perkembangan teknologi tepat guna, penggunaan mesin pembelah kayu menjadi salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi produksi UMKM kayu bakar [9]. Mesin ini dirancang untuk mempercepat proses pembelahan, mengurangi ketergantungan pada tenaga manual, serta menghasilkan ukuran kayu yang lebih seragam dan sesuai standar kebutuhan pasar. Dalam perancangan mesin pembelah kayu, salah satu komponen paling penting adalah rangka mesin yang berfungsi sebagai struktur utama penopang seluruh sistem kerja, termasuk motor penggerak. Rangka mesin harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan kestabilan yang memadai agar mampu menahan beban statis maupun dinamis tanpa mengalami deformasi berlebih atau kegagalan struktur yang dapat mengganggu kinerja mesin maupun membahayakan operator [10]. Analisis ini diperlukan untuk mengetahui bagaimana respon struktur rangka terhadap beban kerja yang diberikan, meliputi distribusi tegangan, regangan, deformasi maksimum, serta faktor keamanan (safety factor) dari desain yang digunakan [11].

Penelitian mengenai analisis struktural rangka mesin pembelah kayu untuk peningkatan efisiensi produksi UMKM kayu bakar menjadi sangat relevan untuk dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi tepat guna yang mampu meningkatkan produktivitas UMKM, menurunkan risiko kecelakaan kerja, serta mempercepat proses produksi kayu bakar secara keseluruhan. Dengan adanya desain rangka mesin yang telah dianalisis secara struktural dan terbukti aman serta efisien, maka diharapkan proses pengolahan kayu bakar dapat dilakukan secara lebih optimal, berkelanjutan, dan mampu meningkatkan daya saing UMKM di tengah kebutuhan energi alternatif yang terus meningkat.

II. METODE

A. Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan tahapan sistematis yang digunakan sebagai pedoman dalam proses perancangan dan pengembangan mesin agar tujuan penelitian dapat tercapai secara terarah. Berikut ini akan disajikan pada gambar 1. Tahap yang akan digunakan pada analisis struktural rangka mesin pembelah kayu untuk peningkatan efisiensi produksi UMKM.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Keterangan:

1. Observasi
Observasi dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan secara langsung berdasarkan kondisi nyata di lapangan. Tahap ini bertujuan memperoleh gambaran awal mengenai objek yang akan dirancang atau dianalisis.
2. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan mengkaji berbagai referensi yang relevan, seperti buku, jurnal, artikel ilmiah, standar perancangan, maupun penelitian terdahulu. Tahap ini bertujuan memperkuat dasar teori serta mendukung proses pengambilan keputusan dalam perancangan.
3. Desain Pemodelan Rangka
Pada tahap ini dilakukan proses perancangan model rangka sesuai dengan kebutuhan dan tujuan penelitian. Desain rangka dibuat dengan mempertimbangkan bentuk, dimensi, fungsi, serta aspek teknis agar model yang dihasilkan dapat dianalisis lebih lanjut.
4. Pemilihan Material
Pemilihan material dilakukan untuk menentukan jenis bahan yang sesuai dengan kebutuhan struktur rangka. Pertimbangan dalam tahap ini meliputi kekuatan material, berat, ketahanan, ketersediaan, serta kesesuaian material terhadap beban yang akan diterima.
5. Menentukan Pembebanan
Tahap ini bertujuan menetapkan besar dan arah beban yang bekerja pada rangka. Pembebanan perlu ditentukan secara tepat agar hasil simulasi dapat menggambarkan kondisi kerja struktur secara realistis.
6. Simulasi Menggunakan *Autodesk Inventor*

Setelah desain, material, dan pembebanan ditentukan, dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak *autodesk inventor*. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui respons struktur terhadap beban, seperti tegangan, deformasi, dan faktor keamanan.

7. Evaluasi Hasil Simulasi

Pada tahap ini dilakukan penilaian terhadap hasil simulasi. Apabila hasil simulasi belum memenuhi kriteria keamanan atau kelayakan, maka proses kembali ke tahap desain pemodelan rangka untuk dilakukan perbaikan. Namun, apabila hasil simulasi telah memenuhi kriteria yang ditetapkan, maka proses dilanjutkan ke tahap berikutnya.

8. Analisis Hasil Simulasi

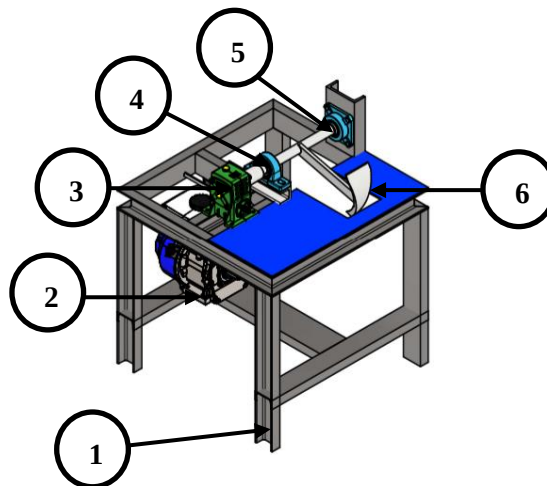
Hasil simulasi yang telah dinyatakan layak kemudian dianalisis secara mendalam. Analisis ini mencakup interpretasi data tegangan, perpindahan, distribusi beban, serta tingkat keamanan struktur berdasarkan hasil simulasi.

9. Kesimpulan

Pada tahap ini disusun kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan. Kesimpulan berisi jawaban terhadap tujuan penelitian serta penilaian akhir mengenai kelayakan desain rangka.

B. Desain Penelitian

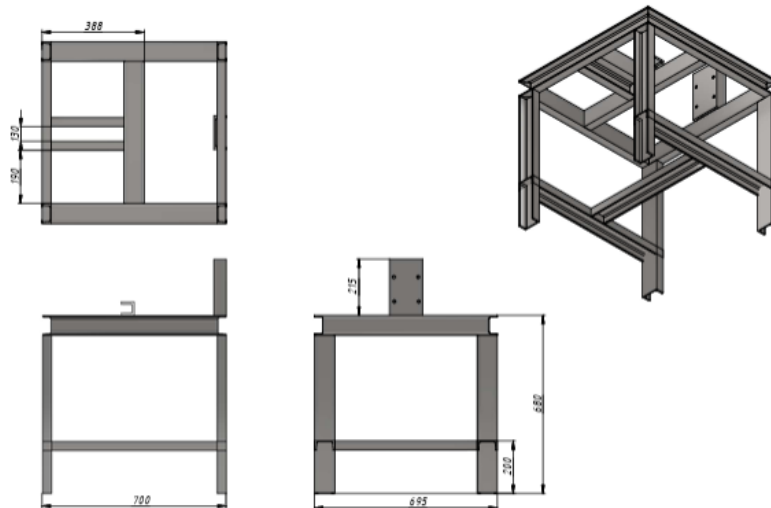
Berikut ini dapat dilihat pada gambar. 2 merupakan desain mesin pembelah kayu yang dilengkapi dengan keterangannya:



Gambar 2. Mesin Pembelah Kayu

Keterangan:

1. Rangka
2. Motor Bensin
3. Gearbox
4. Bantalan tipe UCP
5. Bantalan tipe UCF
6. Pisau Pembelah



Gambar 2. Dimensi Rangka Mesin Pembelah Kayu

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Simulasi rangka mesin pembelah kayu dilakukan bertujuan untuk mengetahui kemampuan struktur dalam menahan beban kerja yang berasal dari komponen utama mesin, yaitu motor bensin sebesar 147,150 N, *gearbox* sebesar 205,940 N, dan pisau pembelah. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak *autodesk inventor* dengan menerapkan kondisi pembebanan statis pada titik pemasangan masing-masing komponen sesuai dengan posisi aktual pada rangka. Material yang digunakan dalam simulasi adalah baja ST36 dan baja AISI 1045 untuk membandingkan karakteristik kekuatan serta tingkat keamanan struktur yang dihasilkan.

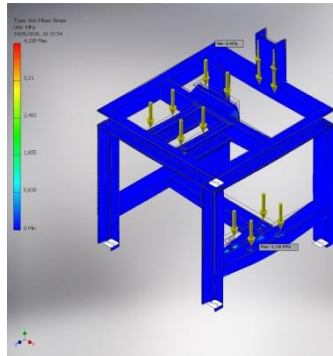
1. Simulasi Material ST36

Material yang digunakan pada perancangan rangka adalah baja ST36 karena memiliki sifat mekanik yang memadai untuk menahan beban statis, mudah dilakukan proses pengelasan, serta memiliki ketahanan yang baik terhadap deformasi pada penggunaan normal. Baja ST36 termasuk dalam kategori baja karbon rendah dengan struktur mikro dominan ferit-perlit yang memberikan kombinasi antara kekuatan, keuletan, dan kemudahan fabrikasi [12].

Tabel 1. Material Propertis ST36

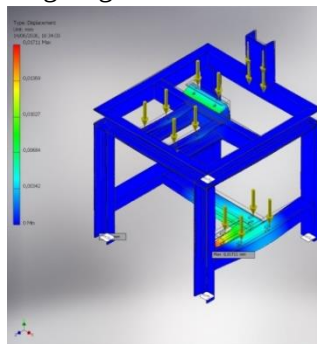
No	Material Propertis ST36	
	Material ST36	Keterangan
1	Mass Density	7,85 g/cm ³
2	Yield Strength	250,004 MPa
3	Ultimate Tensile Strength	420,029 MPa
4	Young's Modulus	200,017 GPa
5	Poisson's Ratio	0,26 ul
6	Shear Modulus	79,3718 GPa

a. Hasil Simulasi *Von misses* Material ST36



Gambar 3. Hasil Simulasi *Von misses* Material ST36

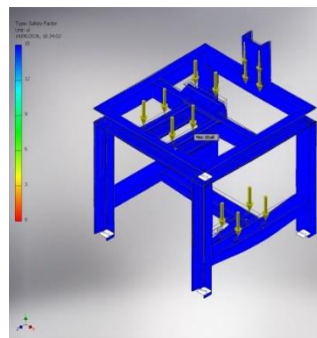
Gambar 3. tersebut menunjukkan hasil simulasi tegangan Von Mises pada rangka mesin pembelah kayu untuk melihat respon struktur terhadap beban kerja. Beban ditunjukkan oleh panah kuning pada beberapa titik rangka, terutama di bagian atas, dudukan pembelah, dan penopang bawah, sedangkan kaki rangka berfungsi sebagai tumpuan utama. Hasil kontur menunjukkan sebagian besar rangka berwarna biru yang menandakan tegangan rendah, dengan beberapa area seperti sambungan mengalami tegangan lebih tinggi hingga sekitar 4,138 MPa akibat pembebanan langsung. Hasil Simulasi *Displesment* Material ST36



Gambar 4. Hasil Simulasi *Displesmen* Material ST36

Gambar 4. tersebut menunjukkan hasil simulasi deformasi (displacement) pada rangka mesin pembelah kayu akibat pembebanan pada beberapa titik struktur yang ditandai dengan panah kuning. Sebagian besar rangka menunjukkan warna biru yang menandakan deformasi kecil, sedangkan area tertentu berwarna hijau hingga kuning menunjukkan deformasi lebih besar pada bagian menerima beban langsung. Nilai perpindahan maksimum tercatat sekitar 0,01711 mm, menunjukkan rangka memiliki kekakuan baik dan deformasi terjadi masih kecil, struktur tetap stabil dan berada dalam kondisi aman saat menerima beban kerja.

b. Hasil Simulasi *Safety Factor* Material ST36



Gambar 6. Hasil Simulasi *Safety Factor* Material ST36

Gambar 6. tersebut menunjukkan hasil simulasi *safety factor* diperoleh nilai 15 ul pada rangka mesin pembelah kayu di bawah pembebanan kerja. Warna biru mendominasi struktur yang menandakan nilai faktor keamanan tinggi, sedangkan beberapa area yang menerima beban langsung menunjukkan variasi warna sebagai indikasi perubahan tingkat keamanan struktur. Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa rangka memiliki nilai *safety factor* yang masih berada dalam batas aman, sehingga konstruksi dinilai cukup kuat dan layak digunakan untuk operasional mesin.

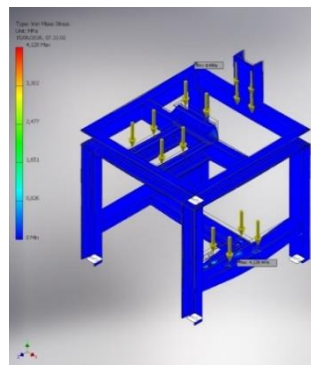
2. Simulasi Material AISI 1045

Material AISI 1045 merupakan baja karbon menengah yang banyak digunakan pada berbagai komponen mesin seperti poros, roda gigi, pisau pemotong, dan elemen transmisi karena memiliki sifat mekanik yang baik. Kekuatan tarik, kekerasan, ketangguhan, serta ketahanan aus yang memadai untuk menerima beban kerja dinamis maupun statis [13].

Tabel 2. Material Propertis AISI 1045

No	Material Propertis AISI 1045	
	Material AISI 1045	Keterangan
1	Mass Density	7,85 g/cm ³
2	Yield Strength	450,228 MPa
3	Ultimate Tensile Strength	584,675 MPa
4	Young's Modulus	199,948 GPa
5	Poisson's Ratio	0,29 ul
6	Shear Modulus	77,4992 GPa

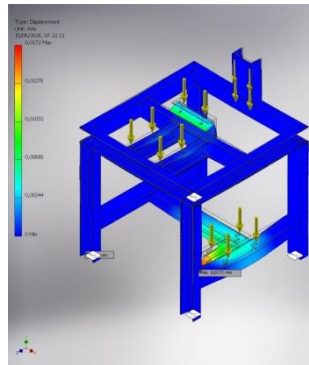
c. Hasil Simulasi Von misses Material AISI 1045



Gambar 7. Hasil Simulasi Von misses Material AISI 1045

Gambar 7. tersebut menunjukkan hasil simulasi tegangan *von mises* pada rangka mesin pembelah kayu di bawah pembebanan kerja. Distribusi beban ditunjukkan oleh panah kuning pada beberapa titik struktur, sedangkan warna biru mendominasi yang menandakan tegangan relatif rendah pada sebagian besar rangka. Namun terdapat beberapa area dengan peningkatan tegangan, khususnya pada titik tumpuan dan sambungan yang menerima beban langsung, dengan nilai maksimum sekitar 4,128 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa rangka memiliki kemampuan distribusi beban yang cukup baik dan masih berada dalam kondisi aman secara struktural.

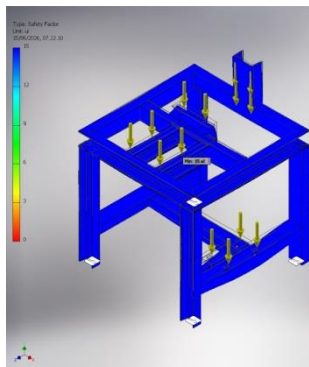
a. Hasil Simulasi *displacement* Material AISI 1045



Gambar 8. Hasil Simulasi *displacement* Material AISI 1045

Gambar 8 tersebut menunjukkan hasil simulasi deformasi (*displacement*) pada rangka mesin akibat pembebanan kerja. Perpindahan struktur ditunjukkan melalui gradasi warna, dengan dominasi warna biru yang menandakan deformasi kecil pada sebagian besar rangka, sedangkan area berwarna hijau hingga kuning menunjukkan deformasi yang lebih besar pada bagian yang menerima beban langsung. Nilai perpindahan maksimum sekitar 0,0172 mm menunjukkan bahwa rangka memiliki kekakuan yang baik dan secara umum masih berada dalam kondisi stabil serta aman dalam menerima beban operasional.

b. Hasil Simulasi *Safety Factor* Material AISI 1045



Gambar 9. Hasil Simulasi *Safety Factor* Material AISI 1045

Gambar tersebut menunjukkan hasil simulasi *safety factor* didapatkan nilai 15 ul pada rangka mesin di bawah pembebanan kerja. Sebagian besar struktur didominasi warna biru yang menunjukkan nilai faktor keamanan yang tinggi, sedangkan area tertentu yang menerima beban langsung menunjukkan variasi warna sebagai indikasi penurunan nilai *safety factor*. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa rangka masih berada dalam kondisi aman dan memiliki kekuatan struktur yang memadai untuk mendukung operasi mesin.

B. Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi pada dua material rangka mesin pembelah kayu, yaitu ASTM A36 dan AISI 1045, keduanya menunjukkan pola distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan yang serupa, dengan konsentrasi tegangan terjadi pada area sambungan dan titik pembebanan, sedangkan bagian lainnya relatif rendah dan merata. Namun, AISI 1045 menunjukkan performa yang lebih baik karena menghasilkan tegangan dan deformasi lebih kecil serta safety factor lebih tinggi dibandingkan ASTM A36, sehingga lebih stabil dalam menahan beban kerja. Hal ini disebabkan oleh kekuatan tarik dan tegangan luluh AISI 1045 yang lebih tinggi dibandingkan ASTM A36. Sebaliknya, ASTM A36 masih aman digunakan tetapi memiliki deformasi dan konsentrasi tegangan yang sedikit lebih besar. Dengan demikian, AISI 1045 lebih direkomendasikan karena memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih baik untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, dan umur pakai mesin.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi struktur rangka mesin pembelah kayu dengan pembebanan motor bensin sebesar 147,150 N, gearbox sebesar 205,940 N, serta komponen pisau pembelah, diperoleh bahwa kedua material yang digunakan, yaitu ASTM A36 dan AISI 1045, menunjukkan pola respons struktur yang serupa pada distribusi tegangan, deformasi, dan safety factor, dengan konsentrasi tegangan terjadi pada area sambungan dan titik pembebanan. Namun demikian, AISI 1045 memberikan performa yang lebih baik dibandingkan ASTM A36 karena menghasilkan tegangan dan deformasi yang lebih rendah serta nilai faktor keamanan yang lebih tinggi, sehingga lebih mampu menahan beban kerja secara stabil dan aman. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa seluruh nilai tegangan maksimum sekitar 4,1 MPa, deformasi 0,017 mm, dan safety factor masih berada dalam batas aman untuk kedua material. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa rangka mesin pembelah kayu dinyatakan aman digunakan, namun material AISI 1045 lebih direkomendasikan karena memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih optimal sehingga dapat meningkatkan efisiensi, keamanan, dan umur pakai mesin dalam mendukung produksi UMKM kayu bakar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Hardani, J. A. Fatiqa, and E. Nielwati, "PERAN UMKM DALAM PENGEMBANGAN EKONOMI LOKAL DI KELURAHAN PALAS, KECAMATAN RUMBAI," *J. Golden Gener. Multidiscip.*, vol. 2, no. 1, pp. 141–152, 2026, doi: <https://doi.org/10.65244/jggm.v2i1.316>.
- [2] P. Sidebang, S. Hamid, N. Dianita, and I. Nasrun, "Paparan Karbon Monoksida (CO) dari Pembakaran Biomassa Kayu Bakar di Rumah Tangga Pedesaan," *J. Promot. Prev.*, vol. 8, no. 6, pp. 1740–1750, 2025, doi: <https://doi.org/10.47650/jpp.v8i6.2225>.
- [3] A. Nayan, A. Setiawan, M. Farhan, J. T. Mesin, F. Teknik, and U. Malikussaleh, "PENERAPAN TEKNOLOGI TEPAT GUNA KOMPOR ROKET BIOMASSA SEBAGAI SOLUSI UNTUK PENGHEMATAN PENGGUNAAN KAYU BAKAR," *J. ABDI*, vol. 8, no. 1, pp. 22–28, 2022, doi: <https://doi.org/10.26740/abdi.v8i1.14182>.
- [4] B. Exsa and B. Putra, "RANCANG BANGUN MESIN PEMBELAH KAYU BAKAR DENGAN METODE VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) 2221," *J. Ilm. Nusantara*, vol. 1, no. 4, pp. 519–529, 2024, doi: <https://doi.org/10.61722/jinu.v1i4.1828>.
- [5] M. irvan izza Syahputra, "Studi Kelayakan dan Efektivitas Limbah Kayu sebagai Bahan

- Bakar Mesin Boiler di PT. Wonojati Wijoyo,” *J. Nusantara. Eng.*, vol. 9, no. 1, pp. 110–115, 2026, doi: : <https://doi.org/10.29407/noe.v9i01.26154>.
- [6] M. F. Rosid, K. Rahayu, and E. M. Indrawati, “RANCANG BANGUN MESIN PEMOTONG KAYU OTOMATIS BERBASIS ARDUINO,” *J. Nusantara. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 151–159, 2021, doi: <https://doi.org/10.29407/noe.v4i2.16763>.
- [7] N. Sigit, M. F. Rozib, L. P. Ardinda, and R. Afandi, “PENGUKURAN WAKTU STANDAR PROSES KERJA MESIN BANDSAW DAN CROSS CUT UNTUK PERENCANAAN DAN EVALUASI PEMENUHAN,” *J. Ekon. BISNIS DAN KEWIRAUSAHAAN*, vol. 2, no. 6, pp. 12–20, 2025, doi: DOI: <https://doi.org/10.69714/3shyd005>.
- [8] Y. Fadilla and Y. A. Putri, “Analisis Risiko Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Pada Proses Pembuatan Kusen Pintu Menggunakan Metode HIRARC (Studi Kasus : UD Berkah Jaya Kusen),” *J. Teknol. dan Manaj. Ind. Terap.*, vol. 5, no. 2, pp. 1122–1130, 2026, doi: <https://doi.org/10.55826/jtmit.v5i2.1864>.
- [9] E. D. Purba, A. A. Sinaga, D. J. Purba, R. Simamora, and W. F. Pasaribu, “PEMBERDAYAAN BENGKEL KAYU UMKM MELALUI IMPLEMENTASI MESIN PEMOTONG KAYU BERDAYA LISTRIK RENDAH,” *J. Pengabd. Masy. Sapangambe Manoktok Hitei*, vol. 5, no. 2, pp. 404–414, 2025, doi: <https://doi.org/10.36985/j597rq05>.
- [10] M. R. Darmawan and K. Nadliroh, “Rancang Bangun Rangka Pemisah Kulit Ari Kedelai Kapasitas 30 Kg,” *Pros. SEMNAS INOTEK (Seminar Nas. Inov. Teknol.)*, vol. 8, pp. 1447–1454, 2024, doi: <https://doi.org/10.29407/fzps0g18>.
- [11] K. Widodo, “Analisa Statik Struktur Rangka Turbin Angin Savonius Menggunakan Software Solidwork,” *Pros. Semin. Nas. Teknol. DAN SAINS TAHUN 2025*, vol. 4, pp. 395–402, 2025, doi: <https://doi.org/10.29407/jqx9m696>.
- [12] J. Riset, A. B. Prasetyo, and K. A. Sekarjati, “Desain dan Analisis Frekuensi Natural Rangka Mesin Penyanggul Menggunakan Metode Finite Element Analysis,” *J. Ris. Sains dan Teknol.*, vol. 6, no. 2, pp. 181–187, 2022, doi: <https://doi.org/10.30595/jrst.v6i2.14428>.
- [13] M. A. Fhaizal and S. Sunyoto, “Efek Perbedaan Media Quenching pada Sifat Mekanik Baja Karbon Aisi 1045,” *J. Techno Socio Ekon.*, vol. 18, no. 2, pp. 200–210, 2025, doi: [10.32897/techno.2025.18.2.4568](https://doi.org/10.32897/techno.2025.18.2.4568).