

ANALISIS KEKUATAN RANGKA MESIN PENGGILING PADI BERBAHAN ASTM A500 MENGGUNAKAN SIMULASI FEM

Dewi Izzatus Tsamroh^{1*)}, Agus Dwi Putra², Dewi Puspitasari³, Cepi Yazirin⁴, Muhammad Ilman Nur Sasongko⁵

^{1*)5}Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Malang, Indonesia

²Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

³Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

⁴Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang, Indonesia

^{*)}Corresponding author: dewi.tsamroh.fv@um.ac.id

ABSTRACT

The agricultural sector in Indonesia, particularly the post-harvest subsector, plays an important role in ensuring national food availability. One crucial tool in this process is the rice milling machine, which serves to convert paddy into ready-to-consume rice. The performance of this machine is greatly influenced by the strength and stability of the frame as the main supporting structure for all mechanical components. This study aims to evaluate the performance of a rice milling machine frame using ASTM A500 Grade B material through a simulation approach based on finite element analysis (FEA). The research method includes the stages of technical data collection, geometric modeling using CAD software, loading based on static load data of 50,825 N and dynamic load of 442 N, and finite element simulation using FEA software. ASTM A500 Grade B material is used with mechanical properties including an elastic modulus of 200 GPa, a yield strength of 345 MPa, and a density of 7.85 g/cm³. The analysis involves total deformation, shear stress, normal stress, and safety factor evaluation by setting fixed support conditions at the frame support points. The simulation results show that the maximum deformation of the frame is 4.3967×10^{-7} m, the maximum shear stress is 15.436 kPa, the maximum normal stress is 15.550 kPa, and the minimum safety factor reaches 15, which is far above the minimum required value. This study indicates that the frame has sufficient structural stiffness and resistance to withstand operating loads. This simulation provides safe and efficient design insights for rice milling machine applications in the agricultural sector, as well as being a reference in improving the reliability of frame structures in other industrial machines.

Keywords: Machine frame, Rice mill, ASTM A500 Grade B, Finite element analysis.

ABSTRAK

Sektor pertanian di Indonesia, khususnya subsektor pasca-panen, memegang peran penting dalam menjamin ketersediaan pangan nasional. Salah satu alat yang krusial dalam proses ini adalah mesin penggiling padi, yang berfungsi untuk mengubah gabah menjadi beras siap konsumsi. Kinerja mesin ini sangat dipengaruhi oleh kekuatan dan kestabilan rangka sebagai struktur penyangga utama seluruh komponen mekanis. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa rangka mesin penggiling padi menggunakan material ASTM A500 Grade B melalui pendekatan simulasi berbasis analisis elemen hingga (*Finite Element Analysis* - FEA). Metode penelitian mencakup tahapan pengumpulan data teknis, pemodelan geometri menggunakan perangkat lunak CAD, pembebanan berdasarkan data beban statis sebesar 50.825 N dan beban dinamis sebesar 442 N, serta simulasi elemen hingga menggunakan perangkat lunak FEA.

Material ASTM A500 Grade B digunakan dengan sifat mekanis meliputi modulus elastisitas sebesar 200 GPa, kekuatan tarik leleh 345 MPa, dan densitas $7,85 \text{ g/cm}^3$. Analisis melibatkan deformasi total, tegangan geser, tegangan normal, serta evaluasi faktor keamanan dengan menetapkan kondisi tumpuan tetap (*fixed support*) pada titik penopang rangka. Hasil simulasi menunjukkan deformasi maksimum pada rangka adalah $4.3967 \times 10^{-7} \text{ m}$, tegangan geser maksimum 15.436 kPa, tegangan normal maksimum 15.550 kPa, dan faktor keamanan minimum mencapai 15, yang jauh di atas nilai minimum yang disyaratkan. Studi ini mengindikasikan bahwa rangka memiliki kekakuan dan ketahanan struktural yang memadai untuk menahan beban operasi. Simulasi ini memberikan wawasan desain yang aman dan efisien untuk aplikasi mesin penggiling padi di sektor pertanian, sekaligus menjadi referensi dalam meningkatkan keandalan struktur rangka pada mesin industri lainnya.

Kata Kunci: Rangka mesin, Penggiling padi, ASTM A500 Grade B, Analisis elemen hingga

PENDAHULUAN

Sektor pertanian memegang peranan vital dalam pembangunan ekonomi nasional, khususnya dalam menjamin ketersediaan pangan [1]. Dalam konteks ini, modernisasi alat dan mesin pertanian menjadi salah satu langkah strategis untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses produksi, termasuk pada tahap pascapanen. Salah satu alat yang krusial adalah mesin penggiling padi, yang digunakan untuk memisahkan beras dari sekamnya secara efisien. Kinerja optimal mesin ini sangat ditentukan oleh struktur rangka yang menopang keseluruhan sistem mekanik, sekaligus menahan beban statis maupun dinamis selama proses penggilingan [2]. Namun, dalam praktiknya, banyak kerusakan struktural terjadi akibat desain rangka yang tidak mempertimbangkan faktor-faktor mekanis secara menyeluruh. Kegagalan yang umum terjadi mencakup deformasi permanen, keretakan akibat kelelahan material, hingga keruntuhan struktural total [3]. Masalah ini diperparah oleh penggunaan material yang tidak sesuai dengan karakteristik beban kerja atau oleh desain geometri rangka yang kurang optimal dalam menyebarkan tegangan. Oleh karena itu, pendekatan rekayasa berbasis analisis komputasi menjadi kebutuhan yang mendesak dalam proses desain struktur mesin penggiling padi [4].

Material ASTM A500 Grade B, yaitu baja karbon berbentuk *hollow* (pipa persegi), sering dijadikan pilihan utama dalam pembuatan rangka mesin karena memiliki kekuatan tarik yang tinggi, ketahanan terhadap getaran, serta efisiensi berat yang baik [5]. Meski demikian, material ini tetap memiliki tantangan tersendiri, seperti potensi degradasi akibat korosi lingkungan, serta konsentrasi tegangan pada titik-titik tertentu yang dapat mempercepat kelelahan material. Dalam studi ini, beban statis utama sebesar 50.824,65 N dijadikan dasar untuk simulasi pembebanan, ditambah dengan pertimbangan gaya inersia akibat rotasi mekanik mesin yang memunculkan beban dinamis tambahan. Untuk itu, digunakan pendekatan Finite Element Analysis (FEA) sebagai metode numerik dalam mengevaluasi performa struktur rangka mesin penggiling padi [6]. Melalui pemodelan tiga dimensi dan simulasi berbasis komputer, distribusi tegangan, deformasi total, serta faktor keamanan dapat diprediksi secara lebih akurat dibanding metode konvensional. Pendekatan ini tidak hanya mempercepat proses desain, tetapi juga mengurangi risiko kesalahan struktural pada saat manufaktur dan penggunaan mesin [7].

Ruang lingkup studi ini terbatas pada analisis struktural rangka mesin penggiling padi berbahan ASTM A500 Grade B, dengan memfokuskan pada pembebanan statis utama dan perkiraan gaya dinamis akibat rotasi. Aspek lain seperti proses manufaktur, biaya produksi, dan pengaruh lingkungan tidak dibahas secara mendalam [8]. Dalam upaya meningkatkan kekuatan dan efisiensi struktur, ASTM A500 Grade B dipilih sebagai bahan utama rangka. Material ini merupakan baja karbon rendah yang diformulasikan khusus untuk aplikasi struktural dengan bentuk penampang *hollow* (seperti pipa kotak atau bulat). ASTM A500 Grade B memiliki *yield strength* minimum sebesar 290 MPa dan *tensile strength* minimum sebesar 400 MPa,

menjadikannya lebih unggul dibandingkan baja komersial biasa [9]. Selain itu, material ini juga memiliki keunggulan dalam hal berat yang lebih ringan, ketahanan terhadap korosi, dan kemudahan proses fabrikasi seperti pengelasan dan pemotongan. Hal ini menjadikannya pilihan tepat untuk desain rangka mesin dengan tuntutan kekuatan tinggi dan efisiensi biaya produksi [10].

Namun, berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, masih terbatas kajian yang secara spesifik menganalisis performa struktural rangka mesin penggiling padi dengan material ASTM A500 Grade B menggunakan pendekatan numerik berbasis *Finite Element Method* (FEM) [11]. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada desain sistem penggilingan atau analisis kekuatan rangka menggunakan material konvensional tanpa optimalisasi struktur berbasis simulasi. Misalnya, penggunaan baja kanal konvensional tanpa memperhitungkan distribusi tegangan maksimum dan deformasi akibat beban dinamis secara komputasional. Padahal, penggunaan simulasi FEM memberikan keunggulan dalam prediksi perilaku struktur secara detail, termasuk identifikasi titik kritis yang rawan kegagalan [12].

Sehingga, penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut melalui analisis kekuatan rangka mesin penggiling padi berbahan ASTM A500 Grade B dengan simulasi FEM. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam bentuk rekomendasi desain struktural yang lebih aman, ringan, dan ekonomis, sekaligus menjadi rujukan bagi pengembangan desain mesin pertanian berbasis analisis numerik yang lebih presisi [13]. Dengan demikian, tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menyediakan dasar ilmiah dalam mendesain rangka mesin penggiling padi yang kokoh dan aman, melalui pendekatan simulasi komputasi [4], [14]. Diharapkan hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi teknis bagi para perancang mesin dan pelaku industri pertanian dalam mengembangkan desain rangka yang lebih efisien, tahan lama, dan sesuai standar kekuatan struktural.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan simulasi numerik berbasis perangkat lunak analisis elemen hingga (*Finite Element Analysis* – FEA) sebagai metode utama untuk mengevaluasi performa mekanis dari struktur rangka mesin penggiling padi [7], [15]. Melalui teknik ini, proses analisis dilakukan secara komprehensif dengan membagi struktur rangka menjadi elemen-elemen kecil yang saling terhubung, sehingga memungkinkan perhitungan distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan pada setiap bagian rangka secara lebih akurat. Pemanfaatan FEA dalam studi ini bertujuan untuk memperoleh gambaran perilaku struktural rangka di bawah pengaruh beban statis dan dinamis, tanpa harus melakukan uji coba fisik yang membutuhkan waktu dan biaya besar. Hasil simulasi diharapkan mampu mengidentifikasi titik-titik kritis yang rawan mengalami kegagalan serta memberikan landasan teknis dalam proses optimasi desain rangka mesin agar lebih kuat, efisien, dan andal dalam operasional jangka panjang [15], [16].

Berikut disajikan diagram alir yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Gambar 1 menyajikan diagram alir tahapan penelitian dalam desain dan analisis rangka mesin penggiling padi berbahan ASTM A500 Grade B menggunakan pendekatan *Finite Element Analysis* (FEA). Penelitian dilakukan secara sistematis dengan urutan kegiatan sebagai berikut.

1. **Studi Literatur**
Mengkaji karakteristik material, beban kerja mesin, serta metode simulasi yang digunakan.
2. **Pengumpulan Data**
Meliputi dimensi mesin, sifat mekanik material, beban statis dan dinamis, serta hasil uji tarik untuk input data simulasi.
3. **Pemodelan Geometri**
Membuat model 3D rangka mesin dengan software CAD berdasarkan dimensi dan material yang telah ditentukan.
4. **Pembebanan & Simulasi FEA**
Menerapkan beban statis dan dinamis pada model, lalu menganalisis deformasi, distribusi tegangan, dan faktor keamanan menggunakan ANSYS 18.1.
5. **Analisis Hasil**
Mengevaluasi hasil simulasi untuk melihat kinerja struktural rangka.
6. **Validasi Hasil**
Membandingkan hasil simulasi dengan standar desain atau data eksperimen sebagai bentuk validasi kinerja desain. Tingkat akurasi dan keandalan dalam hasil simulasi metode elemen hingga (FEM) hanya dapat dicapai melalui penerapan standar validasi dan verifikasi yang telah diakui secara global. Salah satu referensi utama dalam hal ini adalah ASTM F3601-23, yang menyediakan kerangka kerja sistematis untuk melakukan verifikasi dan validasi terhadap model struktural berbasis elemen hingga. Standar tersebut meliputi parameter krusial seperti estimasi beban internal, perpindahan, regangan, tegangan, kestabilan struktur, hingga respon terhadap kondisi beban setelah kegagalan, sehingga dapat

menjamin pemodelan numerik yang selaras dengan ketentuan teknis dan peraturan yang berlaku [17].

7. Pembuatan Prototipe

Menyusun dan menguji prototipe fisik berdasarkan desain yang telah divalidasi.

8. Evaluasi & Kesimpulan

Melakukan perbandingan antara hasil simulasi dan eksperimen serta mengevaluasi apakah desain memenuhi kriteria yang ditetapkan.

9. Modifikasi Desain (bila perlu)

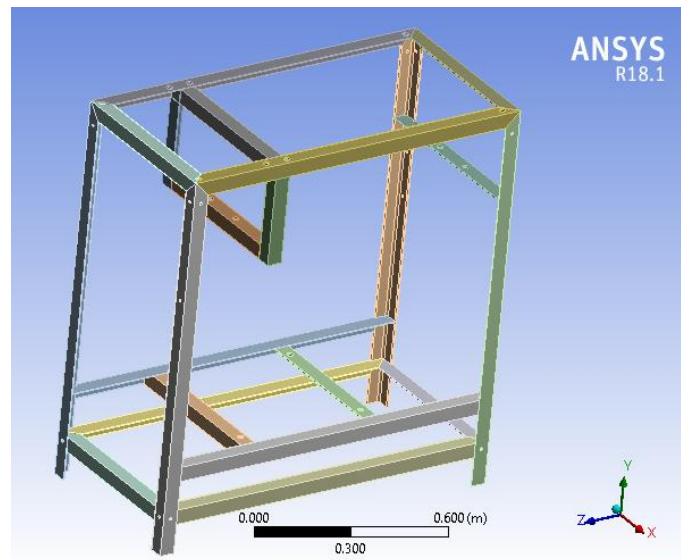
Jika desain belum optimal, dilakukan perbaikan, kemudian dilanjutkan ke tahap pembuatan prototipe ulang dan uji eksperimental lanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan analisis performa rangka mesin penggiling padi berbasis simulasi elemen hingga (FEA) dengan fokus pada total deformasi, faktor keamanan, tegangan ekuivalen, tegangan normal, dan tegangan geser [18], [19]. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak FEA dengan material besi *hollow* ASTM A500 Grade B, yang memiliki modulus elastisitas 200 GPa, densitas 7,85 g/cm³, dan kekuatan tarik leleh minimum 345 MPa. Hasil simulasi metode elemen hingga (FEM) pada rangka mesin penggiling padi menunjukkan deformasi maksimum sebesar 0,137 mm pada titik kritis akibat beban kerja statis. Nilai deformasi ini jauh berada di bawah ambang toleransi geometris yang umum diterapkan pada komponen mesin, yaitu berkisar antara 0,25 mm hingga 0,50 mm [4], [15]. Dengan demikian, deformasi yang dihasilkan masih dalam batas aman sehingga tidak mengganggu integritas geometris maupun fungsi operasional rangka mesin. Kondisi ini mengindikasikan bahwa material ASTM A500 Grade B dan desain struktur rangka memiliki kekakuan yang memadai untuk menahan beban kerja yang diterapkan tanpa mengalami deformasi berlebih [11].



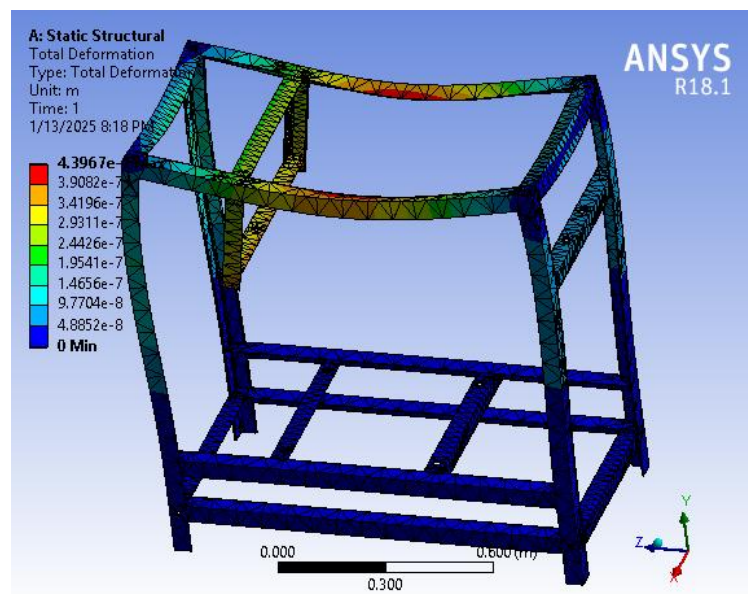
Gambar 2. Desain mesin penggiling padi



Gambar 3. Rangka mesin penggiling padi

1. Deformasi Total (*Total Deformation*)

Total deformasi maksimum yang terjadi pada rangka adalah 4.3967×10^{-7} m ($0.43967 \mu\text{m}$). Ini menunjukkan bahwa rangka memiliki deformasi yang sangat kecil akibat beban statis dan dinamis yang diterapkan, sehingga desainnya cukup kaku.



Gambar 4. Hasil simulasi: deformasi total rangka mesin penggiling padi

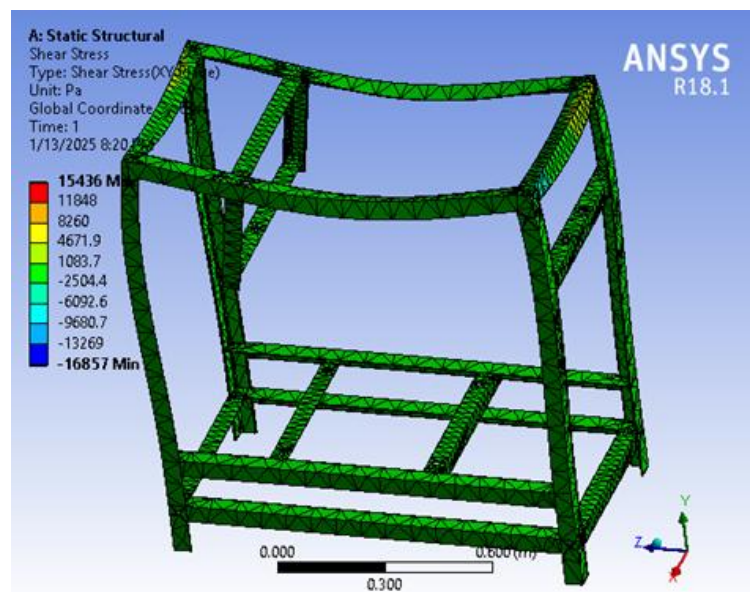
Deformasi kecil pada struktur rangka merupakan indikator utama bahwa sistem memiliki kekakuan yang baik serta kemampuan struktural untuk menahan beban kerja tanpa mengalami deformasi plastis yang permanen. Dalam konteks penelitian ini, hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai deformasi total berada dalam rentang yang sangat kecil, yang mengindikasikan bahwa desain rangka sudah cukup optimal dalam menahan beban statis sebesar 50.825 N serta beban dinamis akibat rotasi komponen mesin penggiling padi. Kontribusi kekakuan ini secara langsung ditentukan oleh sifat mekanik dari material yang digunakan, yaitu ASTM A500 Grade B, yang memiliki modulus elastisitas sebesar 200 GPa. Modulus elastisitas merupakan parameter yang menggambarkan kemampuan material untuk mengalami regangan elastis terhadap tegangan yang diberikan. Nilai modulus yang tinggi menunjukkan bahwa material tersebut resisten terhadap

deformasi elastis, sehingga struktur tidak mudah melengkung atau berubah bentuk saat diberi beban [4].

Lebih lanjut, sifat-sifat mekanik lain dari ASTM A500 Grade B seperti kekuatan tarik leleh sebesar 345 MPa dan kekuatan tarik maksimum 400–500 MPa turut mendukung stabilitas struktural, terutama saat struktur mengalami tegangan tinggi pada titik-titik konsentrasi beban. Material ini juga memiliki nilai rasio Poisson 0,30 dan kekerasan Brinell antara 110–150, yang menjadikannya ideal untuk aplikasi rangka mesin karena mampu menjaga integritas dimensi dan kekakuan dalam jangka panjang, bahkan di bawah kondisi operasional yang berulang. Dengan demikian, hasil simulasi yang menunjukkan deformasi minimum pada struktur rangka secara empiris telah sesuai dengan teori kekakuan elastis, mengenai kontrol seismik pada struktur rangka tiga lantai dengan sambungan struktural variabel menemukan bahwa peningkatan kekakuan struktural dapat secara signifikan mengurangi respons dinamis struktur, termasuk percepatan dan gaya geser dasar. Meskipun konteksnya adalah kontrol seismik, temuan ini mendukung pentingnya kekakuan dalam desain struktur yang menghadapi beban dinamis. Hal ini mengonfirmasi bahwa pemilihan material dan konfigurasi geometris rangka sudah tepat. Dari perspektif desain teknik, struktur tersebut mampu mendistribusikan beban secara merata dan menghindari kerusakan struktural dini, sehingga meningkatkan umur pakai dan keandalan mesin secara keseluruhan [20].

2. Tegangan Geser (*Shear Stress*)

Tegangan geser maksimum yang terjadi pada elemen rangka adalah 15.436 kPa, sementara tegangan geser minimum adalah -16.857 kPa.



Gambar 5. Hasil simulasi: tegangan geser rangka mesin penggiling padi

Tegangan geser yang dihasilkan dalam aplikasi ini berada jauh di bawah kekuatan geser maksimum material ASTM A500 Grade B, yang berkisar antara 115–125 MPa ($\text{Shear Strength} = 0.58 \times \text{Tensile Strength}$). Kondisi ini sangat penting dalam konteks desain struktural karena menjaga tegangan kerja material agar tetap berada di bawah batas kekuatan geser material merupakan prinsip utama dalam menghindari kegagalan mekanis. Dalam literatur teknik terbaru, banyak penelitian yang menggarisbawahi pentingnya desain yang mengutamakan keamanan dengan memastikan bahwa tegangan yang diterima material jauh di bawah batas kekuatan material tersebut [14].

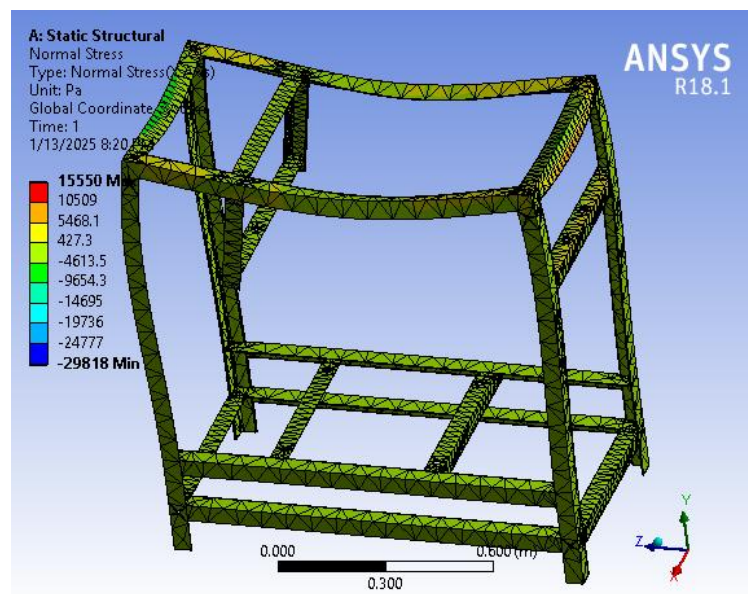
Penggunaan material dalam rentang tegangan yang lebih rendah dari batasnya secara signifikan dapat memperpanjang umur komponen struktural dan mengurangi risiko kegagalan

akibat kelelahan [21], [22]. Peningkatan durabilitas dan kinerja material pada desain struktural sangat bergantung pada pengendalian tegangan geser dan tegangan tarik untuk mencegah terjadinya kelelahan material yang dapat mengurangi integritas jangka panjang. Desain optimal harus memastikan bahwa tegangan kerja tetap jauh di bawah tegangan batas material untuk mencegah terjadinya kelelahan material yang berpotensi menyebabkan kerusakan secara bertahap, bahkan ketika tegangan geser tidak mencapai nilai maksimum. Dengan demikian, desain yang bijaksana dan konservatif, di mana tegangan geser material tidak mendekati batas kekuatan material, sangat penting untuk memastikan kinerja dan keamanan jangka panjang dari komponen struktural [12].

Selain itu, dalam kondisi penggunaan yang ekstrem, seperti beban dinamis atau siklik, tegangan geser yang mendekati batas material dapat mempercepat fenomena kelelahan, yang dapat mengakibatkan cacat atau retak yang sulit dideteksi. Oleh karena itu, pengendalian tegangan geser dan menjaga agar tegangan tetap jauh di bawah kekuatan geser maksimum menjadi sangat penting untuk meningkatkan umur komponen dan menghindari kerusakan yang tidak terduga. Secara keseluruhan, desain yang memperhatikan faktor keselamatan dengan menjaga tegangan geser pada tingkat yang jauh lebih rendah daripada kekuatan geser maksimum material adalah langkah yang efektif untuk menghindari kegagalan mekanis dan memperpanjang umur material, sesuai dengan prinsip yang telah lama diakui dalam desain teknik [23].

3. Tegangan Normal (*Normal Stress*)

Tegangan normal maksimum adalah 15.550 kPa, sedangkan tegangan normal minimum adalah -29.818 kPa.



Gambar 6. Hasil simulasi: tegangan normal rangka mesin penggiling padi

Tegangan yang dihasilkan dalam analisis ini sangat kecil dibandingkan dengan kekuatan tarik leleh material (345 MPa), yang menunjukkan bahwa struktur rangka dirancang dengan mempertimbangkan margin keamanan yang besar. Hal ini menegaskan bahwa desain rangka tersebut sangat efektif dalam menahan gaya aksial dan mendistribusikan beban secara optimal. Penggunaan material ASTM A500, yang dikenal ringan namun kuat, telah terbukti sangat efisien dalam aplikasi struktur rangka, baik dari segi kekuatan mekanik maupun berat total, sehingga sangat cocok untuk aplikasi struktural yang memerlukan keseimbangan antara kekuatan dan efisiensi [24]. Penelitian terkini juga mendukung penggunaan material seperti ASTM A500 dalam desain struktural. Material ASTM A500 memiliki sifat mekanik yang sangat baik, termasuk

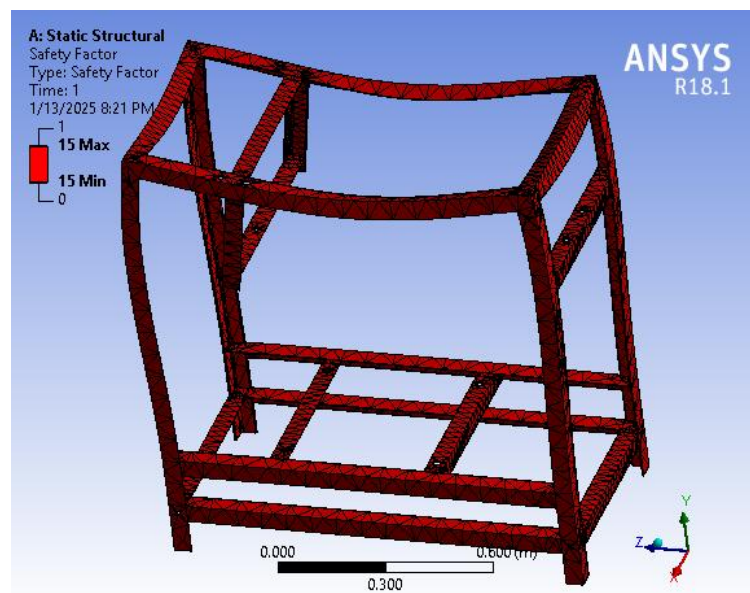
kemampuan untuk menahan tegangan tarik dan geser yang signifikan tanpa mengalami deformasi permanen [25]. Penelitian ini menunjukkan bahwa material ini, dengan komposisi kimia dan sifat mekaniknya yang unggul, sangat efektif dalam aplikasi struktural yang memerlukan kekuatan tinggi namun dengan bobot yang relatif ringan.

Pemilihan material yang tepat dalam desain rangka untuk memaksimalkan efisiensi struktural, sekaligus mengurangi berat total dan biaya konstruksi. Mereka mengidentifikasi ASTM A500 sebagai pilihan material yang ideal untuk aplikasi struktural ringan namun kuat, di mana beban aksial dan distribusi beban harus dipertimbangkan secara cermat untuk memastikan kestabilan dan keandalan struktur [26]. Pemilihan material yang memiliki kombinasi kekuatan tarik yang tinggi dan berat yang ringan sangat penting dalam desain rangka untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja struktural. Lebih lanjut, desain rangka yang baik harus mempertimbangkan distribusi tegangan yang merata untuk menghindari konsentrasi tegangan yang dapat menyebabkan kegagalan struktural. Mereka menemukan bahwa penggunaan material seperti ASTM A500, yang memiliki ketahanan terhadap deformasi elastik yang tinggi, sangat membantu dalam memastikan distribusi tegangan yang lebih merata pada struktur rangka, mengurangi risiko kegagalan karena beban berlebih [10].

Dengan mempertimbangkan bukti-bukti dari literatur terkini, dapat disimpulkan bahwa material ASTM A500 tidak hanya menawarkan kekuatan tarik yang tinggi, tetapi juga ketahanan terhadap kelelahan material dalam aplikasi struktural. Oleh karena itu, penggunaan material ini dalam desain rangka yang mempertimbangkan gaya aksial dan distribusi beban adalah pilihan yang tepat, sesuai dengan prinsip-prinsip desain struktural yang efisien dan aman. Desain seperti ini memberikan keyakinan bahwa struktur dapat menahan beban dengan baik tanpa melebihi batas kekuatan material, sekaligus memastikan kestabilan dan ketahanan jangka panjang [10].

4. Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Faktor keamanan minimum pada rangka adalah 15. Nilai ini menunjukkan bahwa rangka memiliki kapasitas menahan beban hingga 15 kali lipat dari beban maksimum yang diterapkan.



Gambar 7. Hasil simulasi: faktor keamanan rangka mesin penggiling padi

Nilai faktor keamanan (*safety factor*) yang tinggi, yaitu lebih dari 10, merupakan indikasi kuat bahwa struktur dirancang dengan tingkat keandalan yang sangat tinggi terhadap berbagai kondisi beban, baik statis maupun dinamis. Angka ini jauh melebihi standar minimum yang direkomendasikan, di mana struktur yang mengalami beban dinamis dan getaran disarankan

memiliki faktor keamanan antara 2 hingga 4 [4]. Dengan demikian, hasil simulasi ini menegaskan bahwa struktur rangka tersebut beroperasi jauh di bawah batas kegagalan materialnya, sehingga memiliki toleransi besar terhadap variasi beban, ketidaksempurnaan manufaktur, dan potensi keausan seiring waktu. Penelitian terkini turut mendukung pentingnya penerapan faktor keamanan tinggi dalam desain struktur yang terpapar beban siklik atau dinamis. Struktur yang dirancang dengan faktor keamanan tinggi terbukti memiliki umur pakai yang lebih panjang dan ketahanan yang lebih baik terhadap kelelahan material, terutama ketika digunakan dalam lingkungan dengan beban fluktuatif dan kondisi operasi ekstrem. Mereka juga menyebutkan bahwa penerapan nilai faktor keamanan konservatif merupakan pendekatan yang tepat dalam struktur rekayasa yang memprioritaskan keselamatan pengguna dan keandalan jangka panjang [5].

Aplikasi struktur logam seperti rangka baja ringan, penggunaan faktor keamanan tinggi bukan hanya meningkatkan ketahanan terhadap beban sesaat, tetapi juga memberikan resistensi terhadap kerusakan kumulatif akibat vibrasi dan kelelahan termomekanik. Hal ini sangat relevan dalam konteks desain rangka yang berpotensi mengalami kombinasi beban aksial, lateral, dan getaran dari sistem dinamis. Desain struktur yang beroperasi di lingkungan tak terduga atau tidak dapat dipantau secara terus-menerus, seperti struktur rangka kendaraan atau peralatan industri berat, faktor keamanan tinggi menjadi parameter penting untuk menjamin keandalan jangka panjang. Mereka menekankan bahwa desain dengan faktor keamanan tinggi memperbolehkan toleransi terhadap deviasi material dan penyimpangan geometri akibat proses manufaktur, yang seringkali sulit dihindari [27].

Oleh karena itu, nilai faktor keamanan >10 yang diperoleh dalam simulasi ini tidak hanya menunjukkan bahwa struktur berada sangat jauh dari batas kegagalan, tetapi juga menandakan pendekatan desain yang sangat konservatif dan bijaksana. Pendekatan ini secara efektif menjamin stabilitas struktural, memperpanjang umur pakai komponen, dan meningkatkan keandalan operasional, terutama dalam aplikasi teknik yang mengharuskan ketahanan terhadap beban variatif dalam jangka panjang [10].

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengevaluasi performa rangka mesin penggiling padi berbahan ASTM A500 Grade B menggunakan pendekatan analisis elemen hingga (FEA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa rangka memiliki deformasi maksimum sebesar 4.3967×10^{-7} m, tegangan geser maksimum 15.436 kPa, tegangan normal maksimum 15.550 kPa, dan faktor keamanan minimum mencapai 15. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa desain rangka memiliki kekakuan dan ketahanan yang sangat memadai untuk menahan beban operasi, baik statis maupun dinamis. Simulasi ini membuktikan bahwa material ASTM A500 Grade B mampu memenuhi kebutuhan struktural dalam aplikasi mesin penggiling padi, dengan keunggulan efisiensi material, keamanan tinggi, dan keandalan jangka panjang. Penelitian ini memberikan panduan desain yang signifikan untuk pengembangan rangka mesin pertanian yang lebih aman dan efisien. Untuk meningkatkan efisiensi desain, disarankan agar material dikaji ulang guna mengurangi faktor keamanan yang terlalu tinggi, sambil tetap memenuhi standar keamanan minimal, sehingga dapat menekan biaya produksi. Selain itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengkaji pengaruh kelelahan material (fatigue) akibat beban siklik dan lingkungan kerja yang berpotensi mempercepat degradasi seperti korosi. Pengujian fisik atau eksperimental juga perlu dilakukan untuk memvalidasi hasil simulasi dan memastikan performa rangka sesuai dengan kondisi operasional nyata. Dengan langkah-langkah ini, desain rangka dapat lebih dioptimalkan untuk mendukung kebutuhan industri pertanian.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] A. Widyanugraha, A. Santosa, D. T. Santoso, T. Mesin, F. Teknik, and S. Karawang, "Perancangan Mesin Penggiling Padi dan Penepung Sekam Padi Skala Rumah Tangga," *J.*

- Tek. Mesin, vol. 13, no. 2, pp. 69–75, 2020, [Online]. Available: <http://ejournal2.pnp.ac.id/index.php/jtm>.
- [2] D. I. Tsamroh, F. Santi, P. E. Setyawan, and C. Yazirin, “Aplikasi Mesin Selep Padi 2 in 1 Sebagai Upaya Peningkatan Mutu Hasil Panen Poktan Desa Bunton Malang,” *JAST J. Apl. Sains dan Teknol.*, vol. 7, no. 2, pp. 114–123, 2023.
 - [3] J. Adrian, “Analisa Kerusakan Superheater Tube Boiler Tipe ASTM A213 Grade T11 pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
 - [4] F. Fardana and F. Rhozman, “Analisa Simulasi Kekuatan Rangka pada Mesin Brush Sander Menggunakan Aplikasi Solidword,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 24, no. 1, pp. 1–5, 2024.
 - [5] E. Prasetyo, R. Hermawan, M. N. I. Ridho, I. I. Hajar, H. Hariri, and E. A. Pane, “Analisis Kekuatan Rangka Pada Mesin Transverse Ducting Flange (TDF) Menggunakan Software Solidworks,” *Rekayasa*, vol. 13, no. 3, pp. 299–306, 2020, doi: 10.21107/rekayasa.v13i3.8872.
 - [6] X. Wu, Z. Zhang, and W. Zhang, “A study on anisotropic hardening of 7075 aluminum alloy based on non-associated flow rules,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 33, no. April, pp. 612–619, 2024, doi: 10.1016/j.jmrt.2024.09.084.
 - [7] C. Iandiorio, D. Milani, and P. Salvini, “Optimal Uniform Strength Design of Frame and Lattice Structures,” *Comput. Struct.*, vol. 301, no. December 2023, p. 107430, 2024, doi: 10.1016/j.compstruc.2024.107430.
 - [8] E. Kurniadi, “Desain dan Simulasi Kekuatan Rangka Mesin Pengaduk Adonan Kerupuk Sayur Berbasis Solidwork,” Universitas Tidar, 2022.
 - [9] I. TottenTubes, “ASTM A500 Specification,” *TottenTubes,inc.*, 2025. https://www.tottentubes.com/astm-a500-specification-information?utm_source=chatgpt.com.
 - [10] A. Pratama and D. Agusman, “Desain dan Analisis Kekuatan Rangka Mesin Pres Batako Menggunakan Finite Element Method,” *J. Asimetrik J. Ilm. Rekayasa Inov.*, vol. 5, pp. 221–230, 2023, doi: 10.35814/asiimetrik.v5i2.4658.
 - [11] A. K. Shrivastava, A. K. Sinha, A. Choubey, N. Choubey, M. Billore, and J. H. Qureshi, “Drop test finite element analysis of different grades of ASTM A500 for structural lifting frame,” in *Recent Advances in Material, Manufacturing, and Machine Learning*, 1st Editio., CRC Press, 2023.
 - [12] H. Shi, T. Lei, and T. Chen, “Experimental and finite element analysis on pullout behavior of steel fibers embedded in cement grouting material,” *J. Build. Eng.*, vol. 98, no. October, p. 111115, 2024, doi: 10.1016/j.job.2024.111115.
 - [13] P. C.A. and I. T.K, “Development and Evaluation of a Low-cost Rice Milling Machine,” *Eng. World*, vol. 6, no. April, pp. 35–43, 2024, doi: 10.37394/232025.2024.6.6.
 - [14] M. R. Arsyad, “Simulasi Kekuatan Material Rangka Mesin Pengurai Sabut Kelapa,” *J. Ilm. Mhs. Tek. [JIMT]*, vol. 2, pp. 525–535, 2022, [Online]. Available: <http://jurnalmahasiswa.umsu.ac.id/index.php/jimt/article/view/1973>.
 - [15] A. Sofyan, J. Glusevic, A. J. Zulfikar, and B. Umroh, “Analisis Kekuatan Struktur Rangka Mesin Pengereng Bawang Menggunakan Perangkat Lunak Ansys Apdl 15.0,” *J. Mech. Eng. Manuf. Mater. Energy*, vol. 3, no. 1, p. 20, 2019, doi: 10.31289/jmemme.v3i1.2417.
 - [16] D. I. Tsamroh, “Comparison finite element analysis on duralium strength against multistage artificial aging process,” *Arch. Mater. Sci. Eng.*, vol. 109, no. 1, pp. 29–34, 2021, doi: 10.5604/01.3001.0015.0512.
 - [17] A. International, “Standard Practice for Structural Finite Element Model Verification and Validation,” *ASTM International*, 2023. <https://store.astm.org/f3601-23.html>.
 - [18] O. Sandin *et al.*, “Numerical modelling of shear cutting in complex phase high strength steel sheets: A comprehensive study using the Particle Finite Element Method,” *Finite Elem. Anal. Des.*, vol. 246, p. 104331, 2025, doi: 10.1016/j.finel.2025.104331.

- [19] A. Kešner, R. Chotěborský, M. Linda, M. Hromasová, E. Katinas, and H. Sutanto, “Stress distribution on a soil tillage machine frame segment with a chisel shank simulated using discrete element and finite element methods and validate by experiment,” *Biosyst. Eng.*, vol. 209, pp. 125–138, 2021, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2021.06.012.
- [20] Andoko and P. Puspitasari, “Characteristics of leaf spring strength of material 65si7 and material C17000 using finite element method,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 1778, no. October, 2016, doi: 10.1063/1.4965799.
- [21] D. I. Tsamroh, A. Suprpto, and P. Eka Setyawan, “Optimasi Parameter Anodizing pada Aluminium 6061 dengan Metode Taguchi,” in *Seminar Nasional Teknologi Fakultas Teknik Unmer Malang*, 2020, pp. 113–116.
- [22] B. N. Akash Deep *et al.*, “Ultrasonic assisted stir squeeze casting of AA5456/Al₂O₃–SiC–Gr–MoS₂ hybrid nanocomposites: Microstructure and strengthening analysis,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 34, no. July 2024, pp. 1611–1635, 2025, doi: 10.1016/j.jmrt.2024.12.172.
- [23] A. Suprpto and A. Mokhtar, “Analisis Kemampuan Bahan St 37 Dan Scm 440 Untuk Dikeraskan Pada Produk Gear,” *Semin. Keinsinyuran Progr. Stud. Progr. Profesi Ins.*, vol. 1, no. 1, pp. 8–13, 2021, doi: 10.22219/skpsppi.v1i0.4192.
- [24] F. Edwar, R. Raimon, E. Effendi, E. Syafri, S. Elfina, and Z. Azharman, “Rancang Bangun dan Uji Kinerja Prototipe Mesin Pengolahan Saus Tomat dengan Penambahan Tepung Labu sebagai Pengental Saus,” *Agroteknika*, vol. 7, no. 2, pp. 152–163, 2024, doi: 10.55043/agroteknika.v7i2.248.
- [25] W. M. Bintoro, B. Undiana, and Y. P. Duddy, “Penerapan Metode Sentrifugal pada Proses Pengecoran Produk Komponen Otomotif Velg Sepeda Motor,” *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 6, no. 2, pp. 135–142, 2014.
- [26] A. Haslinah, D. Juma, M. S. Hidayat, and R. A., “Rancang Bangun Mesin Penyangrai Kopi Berbasis Mekanis,” *ILTEK J. Teknol.*, vol. 18, no. 02, pp. 92–96, 2023, doi: 10.47398/iltek.v18i02.131.
- [27] J. Yan *et al.*, “Effect and mechanism of nano-materials on plant resistance to cadmium toxicity: A review,” *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 266, no. 61, p. 115576, 2023, doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.115576.