

Analisis Struktur Rangka *Box* Fermentasi Biji Kakao Menggunakan Metode Elemen Hingga

Arfan Halim*, Ilmawan Suryapradana, Radear N.S., Gheitsa Z.S., Akbar P.

Perawatan Mesin, Politeknik Sinar Mas Berau Coal,
Jl. Raja Alam II, Rinding, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur 77315, Indonesia

*E-mail: arfan.halim@polteksimasberau.ac.id

Diajukan: 28-11-2024; Diterima: 28-04-2025; Diterbitkan: 30-04-2025

Abstrak

Proses fermentasi biji kakao di Kabupaten Berau oleh para petani masih dilakukan secara tradisional. Metode ini menggunakan kotak fermentasi berbahan kayu yang berpotensi menyebabkan kontaminasi akibat korosi dari paku atau material lainnya, sehingga berdampak pada keamanan dan kualitas biji kakao yang dihasilkan. Kebutuhan akan teknologi fermentasi yang lebih efisien mendorong pengembangan desain rangka fermentasi yang kuat dan aman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan desain rangka fermentasi berbahan ASTM A36 menggunakan metode elemen hingga (FEA) pada perangkat lunak Autodesk Inventor Professional 2024. Analisis mencakup distribusi tegangan (Von Mises), perpindahan (*Displacement*), dan faktor keamanan (*Safety factor*). Proses penelitian diawali dengan pembuatan desain rangka dan penentuan dimensinya, kemudian dilanjutkan dengan analisis elemen hingga menggunakan pembebanan sebesar 637 N. Simulasi dilakukan untuk menentukan distribusi tegangan maksimum, nilai perpindahan, dan faktor keamanan guna memastikan bahwa desain memenuhi standar keamanan. Hasil simulasi menunjukkan tegangan maksimum Von Mises sebesar 7,19443 MPa, perpindahan (*Displacement*) sebesar 0,0693914 mm, dan faktor keamanan (*Safety factor*) sebesar 15. Berdasarkan hasil tersebut, desain rangka yang telah dianalisis secara teknis dinyatakan aman untuk menahan beban statis maupun beban kejut. Penelitian ini memiliki kebaruan dalam penerapan material ASTM A36 dan analisis FEA untuk menghasilkan desain rangka *box* fermentasi yang lebih efisien secara struktur dan memiliki faktor keamanan lebih baik dibandingkan model konvensional menggunakan material kayu.

Kata kunci: Analisis elemen hingga; ASTM A36; Beban statis; Faktor keamanan; Fermentasi biji kakao

Abstract

Farmers in Berau Regency continue to conduct the cocoa bean fermentation process traditionally. This traditional method utilizes wooden fermentation boxes, which pose a risk of contamination due to corrosion from nails or other materials, thereby affecting the safety and quality of the cocoa beans produced. The need for more efficient fermentation technology drives the development of a robust and safe fermentation frame design. This study aims to analyze the strength of a cocoa bean fermentation frame designed using ASTM A36 material through the Finite Element Analysis (FEA) method in Autodesk Inventor Professional 2024 software. The analysis includes stress distribution (Von Mises), displacement, and safety factor evaluation. The research process began with the creation of the frame design and determining its dimensions, followed by finite element analysis using a load of 637 N. The simulation was conducted to determine maximum stress distribution, displacement values, and safety factors to ensure the design complies with safety standards. The simulation results showed a maximum Von Mises stress of 7.19443 MPa, a displacement of 0.0693914 mm, and a safety factor of 15. Based on these findings, the analyzed frame design is technically classified as safe to withstand both static and impact loads.

Keywords: Finite element analysis; ASTM A36; Static load; Safety factor; Cocoa bean fermentation

1. Pendahuluan

Kakao (*Theobroma cacao.L*) berasal dari Meksiko dan Amerika selatan kakao merupakan salah satu komoditi andalan di sektor perkebunan tercatat juga Indonesia yang merupakan salah satu produsen kakao terbesar dunia. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), Indonesia berada di posisi ketiga setelah Pantai Gading dan Ghana dalam hal produksi kakao. Peran kakao sangatlah penting bagi perekonomian nasional yaitu sebagai sumber pendapatan devisa negara serta sebagai penyedia lapangan pekerjaan bagi 1,6 juta petani. Kabupaten Berau adalah salah satu daerah yang paling ujung di provinsi Kalimantan Timur, yang memiliki komoditi perkebunan yang lumayan luas di sektor perkebunan, 5 komoditi perkebunan terbesar yang ada di Kabupaten Berau yaitu kelapa sawit, kelapa dalam, karet, kakao, dan lada. Tercatat

bahwa produksi biji kakao yang di Kabupaten Berau senilai 600.871 kg produksinya dengan seluas lahan sebesar 1.003,80 Ha, dan petani kakao yang tercatat menurut data pada tahun 2022 sebanyak 872 petani yang ada di kabupaten berau. Proses fermentasi biji kakao yang ada di kabupaten berau para petani masih menggunakan metode tradisional, Metode tradisional ini petani biji kakao menggunakan kotak yang terbuat dari bahan kayu yang dapat menyebabkan kontaminasi korosi akibat penggunaan paku. Hal ini dapat berdampak pada keamanan dan kualitas biji kakao yang dihasilkan. Inovasi teknologi *box* fermentasi kakao menjadi solusi penting dalam meningkatkan kualitas dan efisiensi proses fermentasi secara lebih aman. Dengan inovasi alat fermentasi berbahan *stainless steel*, diharapkan proses fermentasi yang sebelumnya dilakukan secara tradisional dapat dioptimalkan dan terjaga keamanannya.

Inovasi teknologi pada mesin fermentasi biji kakao menjadi solusi utama dalam meningkatkan mutu dan efisiensi proses fermentasi. Kehadiran mesin fermentasi biji kakao diharapkan mampu mengoptimalkan proses yang sebelumnya dilakukan secara tradisional. Meskipun demikian, pengembangan mesin ini menghadapi tantangan signifikan pada desain rangka, yang harus memiliki kekuatan cukup untuk menahan beban selama proses berlangsung. Kerusakan pada rangka mesin dapat menyebabkan kegagalan struktural, menurunkan tingkat efisiensi hasil fermentasi, serta meningkatkan biaya perawatan. Rangka mesin fermentasi biji kakao merupakan komponen utama yang menopang seluruh struktur mesin. Oleh karena itu, kekuatan rangka menjadi aspek sangat penting untuk memastikan mesin dapat beroperasi dengan optimal dan memiliki usia pakai yang panjang. Biasanya, rangka dirancang menggunakan material yang mampu menahan beban statis maupun dinamis selama pengoperasian, serta memiliki ketahanan terhadap korosi dan deformasi akibat beban berulang. Pengujian kekuatan rangka secara konvensional membutuhkan waktu dan biaya yang besar, sehingga metode yang lebih efisien, seperti simulasi berbasis komputer, sangat diperlukan untuk menganalisis kekuatan rangka tersebut [1]. Analisis dilakukan menggunakan sistem komputasi berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Analysis/FEA*). Metode ini mampu menyelesaikan berbagai permasalahan pada struktur kompleks dalam mekanika benda padat, menghasilkan data seperti tegangan, regangan, defleksi, hingga estimasi umur kelelahan material. Salah satu keunggulan FEA adalah efisiensi dalam penggunaan waktu dan biaya. Bahkan, metode ini memungkinkan evaluasi dilakukan sebelum prototipe fisik dibuat, dengan bantuan perangkat lunak seperti Autodesk Inventor [2].

Berdasarkan dari latar belakang diatas maka didapatkan rumusan masalah yang bias diambil oleh penulis yaitu bagaimana desain dan kekuatan rangka mesin fermentasi biji kakao yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain dan menganalisa kekuatan rangka yang optimal mesin fermentasi biji kakao menggunakan metode elemen hingga. Pada analisis pembebanan statis dapat diperoleh data distribusi tegangan pada Von Mises, *displacement* dan *factor of safety*. Beberapa alasan yang mendasari dilakukannya penelitian ini diantaranya yaitu untuk dapat meningkatkan produktivitas pengolahan fermentasi biji kakao di tingkat petani, meminimalkan tenaga kerja manual, menghasilkan biji kakao fermentasi yang aman dari kontaminasi, penggunaan energi yang efisien dan penyediaan teknologi sederhana bagi petani kakao.

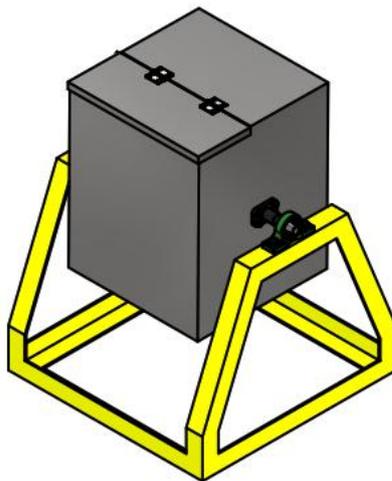
Pengujian kekuatan struktur mesin melalui pendekatan simulasi berbasis metode FEA telah menjadi metode yang banyak digunakan dalam berbagai bidang rancang bangun. Penelitian oleh alif et al menunjukkan bahwa FEA dapat digunakan untuk mengevaluasi tegangan maksimum dan distribusi beban pada rangka mesin *press bearing* dengan akurasi tinggi. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode FEA dapat mengurangi kebutuhan pengujian fisik yang memakan waktu dan biaya yang tinggi [3]. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh firmansah menunjukkan bahwa penerapan FEA pada rangka mesin penyayat bambu membantu mendeteksi potensi deformasi dan kerusakan sebelum tahap manufaktur. Dalam penelitian tersebut, model simulasi dapat memprediksi titik kritis yang memerlukan penguatan struktur, sehingga meningkatkan keandalan dan umur pakai komponen [4-5]. Penelitian lain oleh Elianto *et al.*,

membahas pentingnya pemilihan material yang tepat untuk rangka, seperti aluminium paduan 6061, yang memiliki kombinasi sifat mekanis yang baik dan biaya ekonomis. Dengan menggunakan FEA, mereka mampu menganalisis perilaku material terhadap beban statis serta memprediksi kelelahan material di bawah kondisi operasional berulang [1,6]. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya menerapkan FEA pada mesin industri seperti *press bearing* atau rangka alat pertanian lainnya [7-8]. Penelitian ini secara spesifik menerapkan simulasi elemen hingga pada desain rangka *box* fermentasi biji kakao untuk skala petani lokal. Penelitian oleh Fathur Rohman dkk., juga menggunakan FEA untuk menganalisis struktur rangka mesin pemisah limbah berkapasitas 1 ton/jam dengan Autodesk Inventor 2021, yang menunjukkan perpindahan lebih dari 13 mm, hasil penelitian membahas pentingnya desain rangka yang efisien dan aman sesuai standar keselamatan [9]. Desain yang diusulkan menawarkan keunggulan melalui penggunaan material ASTM A36, serta penerapan metode simulasi elemen hingga untuk menganalisis kekuatannya. Dengan pendekatan ini, desain rangka diharapkan mampu menjadi solusi yang lebih aman dan tahan lama dibandingkan rangka kayu konvensional yang mudah rusak karena beban atau kondisi lingkungan.

2. Material dan Metodologi

2.1 Material

Material yang dipilih untuk melakukan penelitian dan merancang struktur rangka mesin fermentasi biji kakao yaitu material ASTM A36. ASTM A36 merupakan plat baja struktural karbon yang memiliki kekuatan yang baik dan juga ditambah dengan sifat baja yang bisa dirubah bentuk menggunakan mesin dan juga dilakukan pengelasan. Desain dan gambar 3D mesin fermentasi kakao dapat dilihat pada Gambar 1.



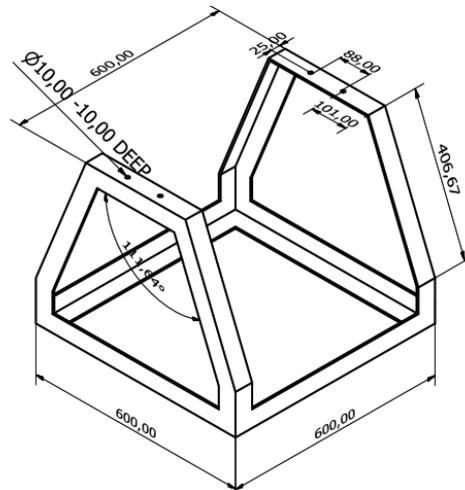
Gambar 1. Tampak isometrik desain 3D *box* fermentasi kakao

2.2 Metodologi

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah Autodesk Inventor Professional 2024. Autodesk Inventor Professional 2024 menyediakan fitur simulasi yang sangat mendukung analisis desain, sehingga dapat memberikan verifikasi terhadap rancangan yang akan dibuat. Keunggulan dari metode ini adalah efisiensinya dalam menghemat waktu dan kemudahan dalam merancang model sebelum diwujudkan menjadi produk fisik [10-11]. Analisis tegangan adalah salah satu luaran yang dihasilkan oleh perangkat lunak Autodesk Inventor melalui penerapan metode analisis elemen hingga. Metode ini merupakan teknik yang sering digunakan dalam perangkat lunak analisis struktur. Analisis elemen

hingga bekerja sebagai prosedur estimasi berbasis kerangka numerik matematika untuk menghitung kekuatan dan kinerja struktur suatu komponen, dengan cara membagi model menjadi elemen-elemen kecil berbentuk penampang [12]. Tahapan dalam menjalankan simulasi untuk mendapatkan nilai tegangan melalui analisis Autodesk Inventor Profesional 2024 sebagai berikut :

Pertama, mendesain struktur rangka mesin fermentasi biji kakao. Gambar rancangan dinyatakan dalam dimensi dan bentuk dari struktur rangka. Dimensi rangka mesin fermentasi biji kakao secara detail dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain detail struktur rangka *box* fermentasi kakao

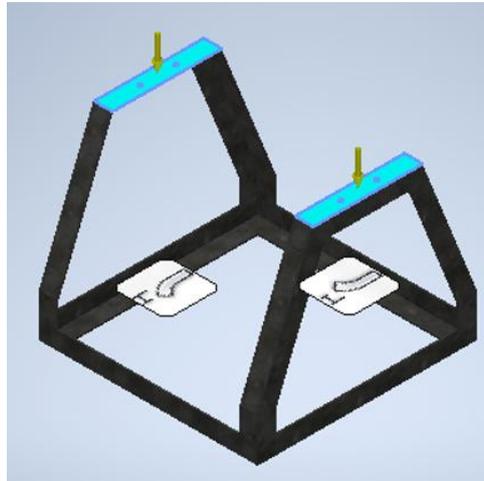
Tahap kedua *meshing*, yaitu proses membagi bentuk objek menjadi beberapa komponen kecil yang disebut *mesh*. Jumlah elemen *mesh* biasanya disesuaikan dengan kebutuhan, terutama pada area dengan perubahan tajam yang memerlukan pembagian lebih halus. Sebaliknya, untuk area dengan perubahan yang lebih stabil, pembagian *mesh* dilakukan dengan tingkat kehalusan yang lebih rendah [12]. Pada tahap ini komponen dibagi menjadi 17294 elemen dan 36518 *node*. Berikutnya menentukan besar pembebanan. Besarnya gaya pembebanan yang diberikan pada struktur rangka adalah 637 N. Nilai pembebanan dalam simulasi ditentukan berdasarkan estimasi total massa dari seluruh sistem fermentasi, termasuk bahan (biji kakao) dan komponen alat. Estimasi ini bertujuan untuk menggambarkan beban kerja aktual yang akan diterima oleh rangka selama proses fermentasi berlangsung. Perhitungan dilakukan dengan menjumlahkan massa seluruh komponen utama, yang terdiri dari biji kakao, *box stainless steel*, poros, *flange*, mur-baut, dan *bearing*.

Rincian bobot masing-masing komponen ditampilkan pada Tabel 1, total berat sistem mencapai 64,9 kg. Dengan mengalikan nilai ini dengan percepatan gravitasi standar, diperoleh gaya total sebesar 636,57 N, yang kemudian menjadi variabel kontrol utama untuk digunakan dalam simulasi pembebanan statik pada struktur rangka.

Tabel 1. Berat Komponen *Box* Fermentasi Kakao

| Komponen | Berat (kg) |
|----------------------------|------------|
| Biji kakao | 40 |
| <i>Box stainless steel</i> | 20,5 |
| Poros | 1,8 |
| <i>Flange</i> | 0,9 |

| | |
|--------------|-------------|
| Baut dan mur | 0,5 |
| Bearing | 1,2 |
| Total | 64,9 |



Gambar 3. Posisi pembebanan sebesar 637 N pada desain rangka *box* fermentasi untuk simulasi statik

Tahap selanjutnya adalah menjalankan program simulasi, program simulasi yang digunakan akan menghasilkan luaran berupa massa, tegangan Von Mises, faktor keamanan, dan deformasi (*Displacement*). Proses simulasi ini akan menampilkan area pada struktur rangka yang mengalami tekanan berdasarkan desain yang telah dibuat. Parameter yang dianalisis untuk mengevaluasi tegangan pada rangka dilakukan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor Professional 2024, dan dapat dilihat secara detail pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Analisis Tegangan

| Parameter | Keterangan |
|-----------------------------|--------------------------|
| Tipe simulasi | <i>Single point</i> |
| Percepatan gravitasi | 9,81 m/s ² |
| Total beban | 637 N |
| <i>Average element size</i> | 0,05 |
| <i>Minimum element size</i> | 0,2 |
| <i>Safety factor</i> | Berdasarkan <i>yield</i> |
| Jumlah node | 36518 |
| Jumlah elemen | 17294 |

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis terhadap sifat material sangat penting untuk menentukan parameter yang akan digunakan dalam analisis struktur. Sifat fisik material yang ditampilkan pada tabel 3 menunjukkan karakteristik *steel* ASTM A36, yang memiliki densitas sebesar 7,85 gram/cm³. Densitas ini mempengaruhi perhitungan massa total struktur rangka *box* fermentasi biji kakao, yaitu 17,483 kg.

Tabel 3. Sifat Fisik Material Rangka *Box* Fermentasi Biji Kakao

| Parameter | Keterangan |
|----------------------------------|-------------------------|
| <i>Material</i> | ASTM A36 |
| <i>Density</i> | 7,85 g/cm ³ |
| <i>Mass</i> | 17,483 kg |
| <i>Area</i> | 934929 mm ² |
| <i>Volume</i> | 2227180 mm ³ |
| <i>Yield Strength</i> | 248,225 MPa |
| <i>Ultimate Tensile Strength</i> | 399,9 MPa |
| <i>Young's Modulus</i> | 199,959 GPa |
| <i>Poisson's Ratio</i> | 0,3 ul |
| <i>Shear Modulus</i> | 76,9073 GPa |

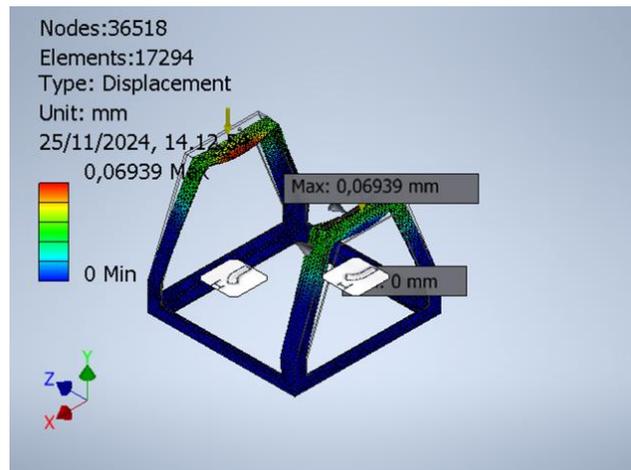
Hasil simulasi menunjukkan distribusi tegangan Von Mises pada struktur rangka yang dianalisis menggunakan Autodesk Inventor Professional 2024. Tegangan Von Mises digunakan sebagai parameter utama untuk mengevaluasi kemampuan rangka dalam menahan beban kerja. Gambar 4 menunjukkan distribusi tegangan Von Mises rangka *box* fermentasi biji kakao dengan arah pembebanan tegak lurus terhadap sumbu-Y, nilai tegangan Von Mises yaitu 7,194 MPa. Nilai tegangan Von Mises masih berada dibawah kekuatan luluh (*Yield strength*) material ASTM A36 yaitu 248,225 MPa, yang menunjukkan bahwa struktur rangka mampu menahan beban [13].



Gambar 4. Hasil simulasi distribusi tegangan Von Mises pada struktur rangka dengan pembebanan statik 637 N

Deformasi atau perubahan bentuk adalah parameter penting untuk menilai apakah material yang digunakan cukup mampu menahan beban yang diberikan. Deformasi terjadi akibat gaya atau beban yang diterapkan pada material. Semakin kecil nilai deformasi, semakin tinggi kekuatan material tersebut. Dapat dilihat pada Gambar 5, nilai deformasi yang dihasilkan adalah 0,06939 mm, hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil deformasi yang terjadi, semakin kuat material tersebut. Berdasarkan hasil simulasi, ketika komponen diberikan beban yang tinggi, deformasi yang dihasilkan tetap kecil. Namun, jika struktur rangka tidak mampu menahan beban yang diberikan maka kerusakan pada komponen akan terjadi [14] Jika dibandingkan dengan penelitian Fathur Rohman dkk., yang menganalisis struktur rangka mesin pemisah limbah menggunakan FEA dan menghasilkan nilai perpindahan lebih dari 13 mm, hasil penelitian ini menunjukkan perbaikan

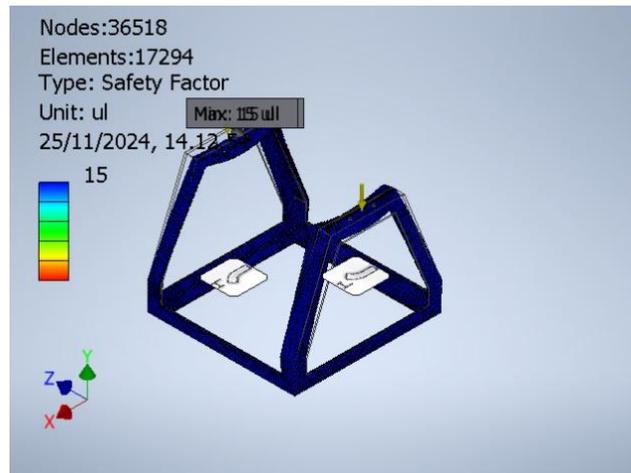
lebih baik dengan nilai perpindahan hanya sebesar 0,069 mm. Ini menunjukkan efisiensi struktur yang lebih tinggi, serta desain yang lebih stabil terhadap beban statis [9]



Gambar 5. Hasil simulasi deformasi total pada struktur rangka dengan pembebanan statik 637 N

Faktor keamanan adalah parameter yang digunakan untuk memastikan keamanan susunan komponen mesin. Menurut hipotesis Mott, untuk beban statis dengan tingkat keandalan tinggi, nilai faktor keamanan yang ideal berkisar antara 1,25 hingga 2,0 [15]. Faktor ini juga digunakan untuk mengevaluasi dan menjamin keamanan desain dengan mempertimbangkan nilai minimum tertentu [16]. Kekuatan luluh (*Yield strength*) material dapat dihitung sebagai faktor keamanan (*Safety factor*) menggunakan perangkat lunak Inventor, dengan cara membagi nilai kekuatan material terhadap tegangan Von Mises maksimum yang terjadi pada material [17].

Nilai faktor keamanan dalam penelitian ini secara umum telah memenuhi kriteria untuk menahan tegangan statis. Tegangan statis adalah jenis tegangan yang dihasilkan saat beban diterapkan dengan kecepatan lambat, tanpa adanya kejutan, dan tetap pada nilai yang konstan. Tegangan yang muncul dalam kondisi ini dikenal sebagai tegangan statis (*Static stress*). Dapat dilihat pada gambar 6 nilai faktor keamanan yaitu 15, maka struktur ini memenuhi syarat dan dapat dinyatakan aman. Jika nilai minimum faktor keamanan yang dihasilkan oleh struktur rangka mesin fermentasi biji kakao berada di sekitar 1 atau kurang, maka rangka tersebut dianggap tidak aman untuk digunakan dan perlu dilakukan pemodelan ulang. Hal ini disebabkan karena nilai faktor keamanan yang dianggap aman untuk menahan beban statis berkisar antara 1,25 hingga 2. Dalam penelitian ini, nilai faktor keamanan yang diperoleh menunjukkan bahwa rangka sangat aman, bahkan mampu menahan beban kejut sekalipun. Nilai faktor keamanan untuk suatu material mampu menahan beban kejut berkisar 3-4 [18]. Selain itu, pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini selaras dengan temuan sebelumnya oleh Firmansah, dkk., dan Ellianto, dkk., yang menekankan pentingnya pemilihan material yang tepat serta analisis awal melalui simulasi dalam meningkatkan keandalan desain. Hal berbeda dari penelitian tersebut, penelitian ini memfokuskan penerapannya pada alat fermentasi skala kecil untuk petani, yang masih jarang dilakukan [4, 14].



Gambar 6. Hasil simulasi faktor keamanan struktur rangka dengan pembebanan statik 637 N

Hasil simulasi tidak hanya menunjukkan bahwa desain ini kuat dan aman, tetapi juga membawa manfaat nyata dalam penggunaan sehari-hari. Rangka berbahan ASTM A36 ini punya kelebihan karena lebih tahan lama, tahan terhadap korosi, dan tidak perlu sering dilakukan perawatan seperti rangka kayu. Karena itu, desain ini bisa membantu petani dan pelaku industri kakao bekerja lebih efisien dan mengurangi biaya perawatan atau penggantian alat dalam jangka panjang. Secara keseluruhan hasil analisa simulasi dengan metode elemen hingga ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisa simulasi

| Simulation Parameters | Minimum | Maximum |
|-------------------------|------------------------------|--------------|
| <i>Von mises stress</i> | $8,34367 \times 10^{-8}$ MPa | 7,19443 MPa |
| <i>Displacement</i> | 0 mm | 0,0693914 mm |
| <i>Safety factor</i> | 15 ul | 15 ul |

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, desain struktur *box* mesin fermentasi biji kakao berbahan ASTM A36 terbukti aman untuk digunakan menahan beban statis maupun beban kejut. Nilai tegangan dan deformasi yang rendah serta faktor keamanan yang tinggi menunjukkan bahwa struktur tersebut memiliki ketahanan yang baik dan dapat diterapkan dalam kondisi operasional. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan desain rangka *box* fermentasi biji kakao yang dapat dijadikan referensi untuk pembuatan *box* fermentasi kakao yang lebih efisien dan tahan lama, baik untuk skala petani maupun untuk pengembangan secara komersial.

Sebagai aplikasi praktis, penerapan rangka berbahan ASTM A36 dapat meningkatkan mutu hasil fermentasi, menurunkan risiko kontaminasi, serta mengurangi biaya perawatan akibat kerusakan struktur kayu. Untuk penelitian lanjutan, disarankan dilakukan pengujian eksperimental terhadap prototipe fisik untuk memvalidasi hasil simulasi, serta pengaplikasian terhadap variasi beban dinamis, kelelahan material, dan desain ergonomis untuk mendukung kenyamanan penggunaan oleh petani.

Ucapan terima kasih

Dari hati yang paling dalam penulis mengucapkan terima kasih kepada Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Ristekdikti terutama Dirjen Pendidikan Vokasi yang telah memberikan dukungan melalui pendanaan Penelitian Dosen Pemula tahun

2024 dengan Nomor SP DIPA-023.18.1.6.690524/2024 dan Nomor : 18/LL11/KM/2024. Semua pihak yang telah terlibat dalam penelitian ini khususnya Prodi Perawatan Mesin.

Daftar Pustaka

- [1] Hidayat, D.P., dan Tamjidillah, M. Perancangan dan pembuatan alat pemotong kerupuk otomatis dengan kapasitas 60 kg per jam. JTAM ROTARY. 2022;4(2):151-164.
- [2] Toteles, A. Analisis material kontruksi chasis mobil listrik laksana V2 menggunakan software Autodesk Inventor. Machine: Jurnal Teknik Mesin. 2021;7(1):30-37.
- [3] Attorik, A.A., Ambiyar, A., Sari, D., dan Rahim, B. Simulasi dan analisis kekuatan pembebanan frame pada perancangan mesin press bearing manual hydraulic jack menggunakan Autodesk Inventor. Jurnal Vokasi Mekanika (VoMek). 2022;4(1):19-25.
- [4] Firmansah, A.R., Soares, R.M., Ikhsanudin, Z., Ghozali, A.I., Yanto, A.D., et al. Rancang bangun mesin pengirai bambu untuk industri rumah tangga dengan tenaga ¼ HP. Jurnal Rekayasa Mesin. 2024;19(2):327–338.
- [5] Badruzzaman, B., Endramawan, T., Rahmi, M., dan Susandi, J. Analisis kekuatan pembebanan rangka pada perancangan mesin grading fish jenis ikan lele menggunakan simulasi Solidworks. Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar. 2020:259-262.
- [6] Oktavianto, S.N., dan Faimun, F. Analisa sistem clamp pada penggantung jembatan kutai kartanegara dengan metode elemen hingga. Jurnal Teknik ITS. 2013;2(1):F-102-F-106.
- [7] Pratama, J., dan Mahardika, M. Finite element analysis to determine the stress distribution, displacement and safety factor on a microplate for the fractured jaw case. AIP Conference Proceedings. 2018;1941:020022.
- [8] Kristiawan, T.A., Alisyafa'at, A.D., Yanuar, P., dan Setiyawan, T. Analisa penggunaan support frame lama pada desain baru screw conveyor machine menggunakan metode elemen hingga. Jurnal Mesin Nusantara. 2023;6(1).
- [9] Rohman, F., Mardiyana, D., Ridha, F., dan Damodar, S.K. Structural analysis of waste separation machine frame using FEA method. International Journal Engineering And Applied Technology (IJEAT). 2023;6(1):10-17.
- [10] Wibawa, L.A.N. Simulasi kekuatan komponen sarana pengujian roket menggunakan Autodesk Inventor Professional 2017. bukuKatta: Solo, Indonesia. 2018.
- [11] Pramudya, A. D., Fiveriati, A., Wahid, M.A., Sari, E.N., and Catrawedarma, I. Analisis kekuatan keranjang skylift truck crane menggunakan metode elemen hingga. Journal of Sciencetech Research and Development. 2024;6(1):1711-1718.
- [12] Susilo, J., Santoso, A., Musyiradi, T.B. Simulasi penggunaan fin undership terhadap tahanan dan gaya dorong kapal dengan metode analisa CFD. Jurnal Teknik ITS. 2014;3(2):G174–G179.
- [13] Karmankar, R.G. Analysis of Von-Mises-Stress for interference fit and pull-out states by using finite element method. Int. Res. J. Eng. Technol. 2017;4(11):1367–1374.
- [14] Ellianto, M. S. D., dan Nurcahyo, Y. E. Rancang bangun dan simulasi pembebanan statik pada sasis mobil hemat energi kategori prototype. Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material. 2020;4(2):53–58.
- [15] Roswandi, I., dan Rahmat, R. Analisis beban pada hook pembalik produk AEET dengan software Solidwork 2018. PRIMA-Aplikasi dan Rekayasa dalam Bidang Iptek Nuklir. 2020;17(1):10-18.
- [16] Wibawa, L.A.N. Simulasi kekuatan komponen sarana pengujian roket menggunakan Autodesk Inventor Professional 2017. bukuKatta: Solo, Indonesia. 2018.

- [17] Pris, F.R., Suyitno, B.M., dan Suhadi, A. Analisis kekuatan velg aluminium alloy 17 inc dari berbagai desain menggunakan metode finite element analysis (FEA). Teknobiz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin. 2019;9(2):33–39.
- [18] R. S. Khurmi and J. K. Gupta, *A textbook of machine design*. S. Chand publishing, 2005.