

Analisis *Frame Body* Pada Mesin Pengupas dan Pemotong Kentang Sederhana

Rama Hadikusuma¹, Moh. Zaenudin¹, M. Untung Zaenal Priyadi^{1,*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Global Jakarta, Depok 16412, Indonesia

Article Info

Article history:

Received 04 November 2024

Revised 20 November 2024

Accepted 24 November 2024

Keywords:

Frame body

Von Mises stress

Displacement

Safety factor

Carbon Steel S355

ABSTRAK

Pada industri pengolahan makanan, efisiensi dan kualitas mesin pemotong kentang menjadi faktor krusial dalam produktivitas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis *frame body* pada mesin pengupas dan pemotong kentang sederhana menggunakan simulasi statis dan perhitungan teoritis. Analisis dilakukan menggunakan Software Autodesk Inventor dengan tiga jenis material: Carbon Steel S355, Stainless Steel 304, dan Aluminium 6061. Dengan beban 83,35 N, material *Carbon Steel S355* menunjukkan performa terbaik dengan nilai von Mises stress maksimum 1,717 MPa, displacement 0,004826 mm, dan *safety factor* 15. Pada pembebanan maksimum 257,64 N, material ini tetap menunjukkan kestabilan dengan von Mises stress 3,505 MPa, displacement 0,009916 mm, dan *safety factor* 15. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa *Carbon Steel S355* merupakan material yang paling sesuai untuk *frame body* mesin ini karena memiliki nilai von Mises stress yang tidak melebihi *yield strength* dan faktor keamanan yang memadai.

***Corresponding Author:**

M. Untung Zaenal Priyadi

Teknik Mesin, Jakarta Global University, Indonesia, 16412

Email: zaenalpriyadi@jgu.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.56904/imejour.v2i2.62>

1. PENDAHULUAN

Mesin pengupas dan pemotong kentang sederhana merupakan salah satu inovasi dalam dunia teknik mesin yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proses pengolahan kentang, terutama pada skala rumah tangga atau industri kecil. Proses manual pengupasan dan pemotongan kentang tidak hanya memakan waktu tetapi juga memerlukan tenaga yang cukup besar, sehingga kehadiran mesin ini diharapkan dapat mempermudah pekerjaan dan meningkatkan produktivitas.

Salah satu komponen utama dalam mesin pengupas dan pemotong kentang adalah rangka bodi, yang berfungsi sebagai struktur penopang keseluruhan sistem. Analisis terhadap rangka bodi sangat penting untuk memastikan kestabilan dan keamanan mesin selama operasional. Konstruksi rangka bodi yang tidak memadai dapat menyebabkan deformasi, kerusakan material, atau bahkan kegagalan struktur. Oleh karena itu, dalam perancangan mesin ini diperlukan analisis menyeluruh terhadap material, dimensi, dan kekuatan rangka untuk memastikan kinerjanya optimal.

Penelitian mengenai alat pengolahan kentang telah dilakukan sebelumnya. Manguluang (2021) merancang alat pengupas dan pembersih kentang untuk industri rumah tangga. Dalam penelitiannya, material besi siku ukuran 50 mm × 50 mm × 3 mm dipilih karena menghasilkan tegangan tarik yang diizinkan sebesar 12,25 kg/mm² dengan deformasi yang minimal.

Penelitian ini menunjukkan bahwa material tersebut cukup kuat untuk digunakan sebagai rangka alat pengupas dan pembersih kentang [1].

Saleh (2020) melanjutkan penelitian terkait analisis material rangka mesin pemotong kentang otomatis. Dengan menggunakan baja 42L berukuran 40 mm × 40 mm × 3 mm, diperoleh tegangan tarik maksimum sebesar 48,86 kg/mm² dan deformasi maksimum sebesar $4,256 \times 10^{-5}$ mm pada rangka atas. Sementara itu, rangka bawah dengan beban piston kecil menunjukkan deformasi maksimum sebesar $1,735 \times 10^{-3}$ mm. Penelitian ini menegaskan bahwa rangka yang dirancang aman dan mampu menahan beban dengan presisi sedang [2].

Feryzal (2022) melakukan pengembangan material pada rangka mesin dengan menggunakan pipa baja galvanis dan baja ST37. Penelitian ini menunjukkan bahwa baja galvanis memiliki perpindahan dan faktor keamanan yang lebih rendah dibandingkan baja ST37. Dengan bantuan perangkat lunak Autodesk Inventor, analisis terhadap tegangan von Mises, perpindahan, dan faktor keamanan dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan rangka. Hasilnya menunjukkan bahwa baja ST37 dengan diameter 33,7 mm memiliki kekuatan dan faktor keamanan minimum yang sesuai untuk digunakan [3].

Wijayanto (2023) melakukan analisis kekuatan rangka *dynotest* menggunakan berbagai ketebalan besi siku 50 mm × 50 mm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa besi siku dengan ketebalan 6 mm lebih aman digunakan karena memiliki nilai tegangan von Mises yang lebih rendah dan perpindahan yang minimal dibandingkan ketebalan lainnya. Nilai faktor keamanannya juga memenuhi standar minimum untuk aplikasi rangka [4].

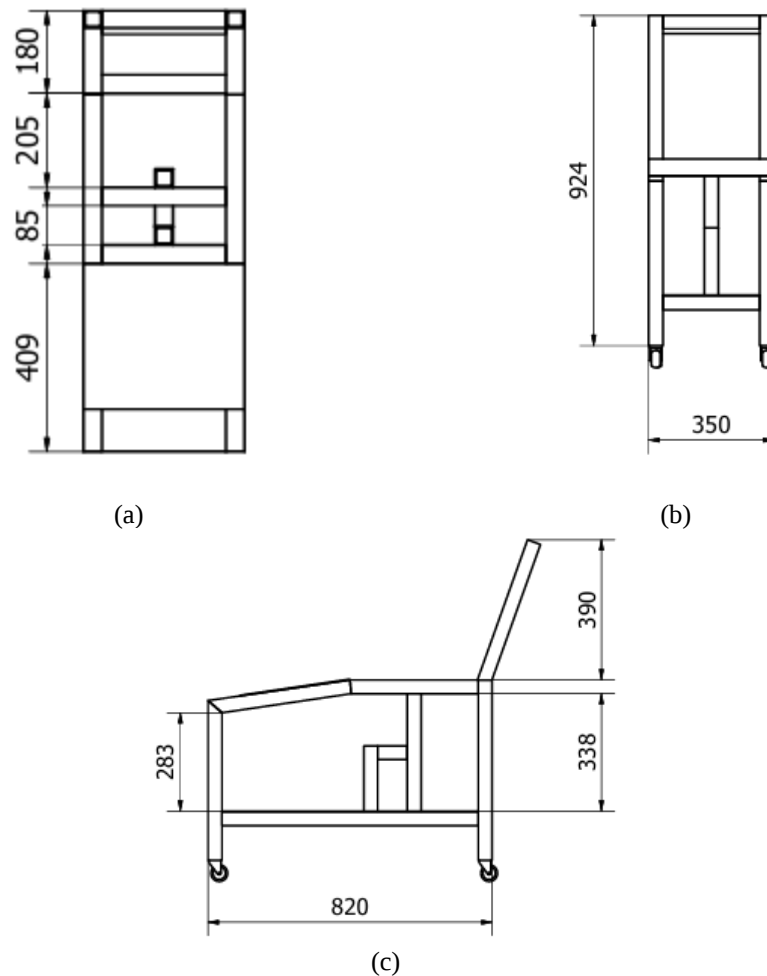
Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa pemilihan material, dimensi, dan analisis struktur merupakan aspek krusial dalam perancangan rangka mesin. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan rangka bodi pada mesin pengupas dan pemotong kentang sederhana, khususnya dalam hal ketahanan terhadap beban kerja dan deformasi yang terjadi. Analisis ini dilakukan untuk memastikan bahwa rangka bodi yang dirancang mampu memberikan performa optimal dengan faktor keamanan yang memadai.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan desain mesin pengolahan kentang, baik dari segi pemilihan material, teknik analisis, maupun metode perancangannya. Dengan demikian, mesin yang dihasilkan tidak hanya efisien dan aman digunakan, tetapi juga memiliki umur pakai yang lebih lama, sehingga sesuai dengan kebutuhan pengguna.

2. METODE

2.1 Perencanaan dan Pemilihan Konsep

Dalam desain konsep produk, tahap kedua melibatkan pembuatan dan evaluasi beberapa konsep produk yang selaras dengan spesifikasi teknis, seperti yang disoroti dalam berbagai penelitian. Tahap ini menekankan pentingnya kegunaan, fungsionalitas, dan pemilihan material, yang sangat penting untuk mengembangkan alternatif produk yang layak [5,6]. Proses pemilihan harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti ketersediaan pasar, keamanan, dan efektivitas biaya, untuk memastikan bahwa konsep yang dipilih memenuhi tujuan yang diinginkan [7,8]. Sebagai contoh, analisis alat pengupas dan pemotong kentang sederhana mengilustrasikan bagaimana desainer dapat menggunakan material seperti baja karbon S355 dan aluminium 6061 dengan tetap mengikuti prinsip-prinsip desain yang meningkatkan kinerja dan kemampuan manufaktur [9]. Pada akhirnya, pendekatan terstruktur untuk desain konsep tidak hanya menumbuhkan kreativitas tetapi juga selaras dengan tujuan bisnis strategis, memfasilitasi pengembangan produk yang sukses. Desain rangka ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) Desain rangka mesin tampak belakang, (b) desain rangka mesin tampak depan, (c) desain rangka mesin tampak samping.

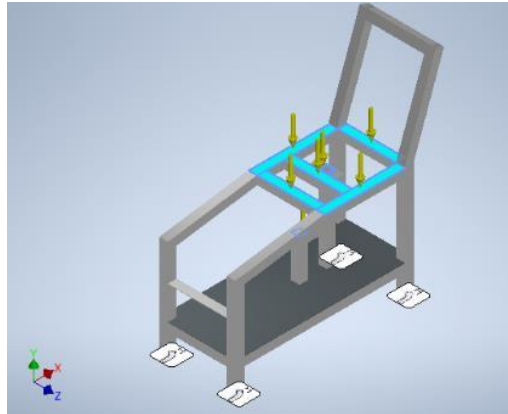
2.2 Metode Analisis

Metodologi penelitian ini menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor* sebagai alat utama untuk perancangan dan analisis struktur rangka mesin pengupas dan pemotong kentang. Perangkat lunak ini memungkinkan seluruh proses, mulai dari desain hingga analisis, dilakukan dalam satu platform, sehingga menghilangkan kebutuhan untuk mentransfer data ke perangkat lunak lain. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi waktu tetapi juga meminimalkan risiko kehilangan data.

Proses analisis struktur menggunakan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method - FEM*) yang tersedia dalam fitur analisis struktural *Autodesk Inventor*. Variabel utama yang dianalisis mencakup tegangan Von Mises, perpindahan (*displacement*), dan faktor keamanan (*safety factor*). Tegangan Von Mises digunakan untuk mengevaluasi kekuatan material terhadap energi distorsi, sedangkan perpindahan mengukur deformasi elemen akibat beban vertikal. Faktor keamanan dianalisis untuk memastikan kepraktisan dan keamanan alat berdasarkan rasio kekuatan aktual terhadap kekuatan yang dibutuhkan.

Simulasi pembebanan dilakukan pada beberapa jenis material, seperti Carbon Steel S355, Stainless Steel 304, dan Aluminium 6061, dengan memperhitungkan total berat komponen sebesar 8,5 kg. Analisis mencakup simulasi pembebanan statis untuk menentukan tegangan maksimum, perpindahan, dan faktor keamanan, serta simulasi pembebanan dinamis untuk mengukur respons rangka terhadap perubahan beban berulang. Hasil simulasi divalidasi

melalui perhitungan manual untuk memastikan akurasi dan keandalan desain, sebagaimana ilustrasi pada Gambar 2. yang menampilkan distribusi tegangan Von Mises pada rangka mesin.



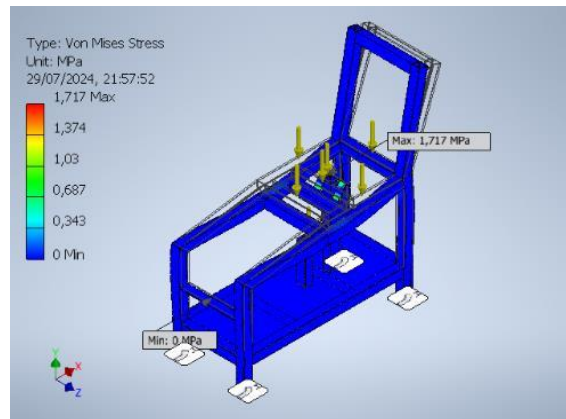
Gambar 2. Distribusi tegangan pada rangka mesin.

Dengan pendekatan ini, penelitian ini tidak hanya menghasilkan desain yang efisien tetapi juga memastikan keamanan rangka mesin berdasarkan parameter struktural yang terukur dengan baik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

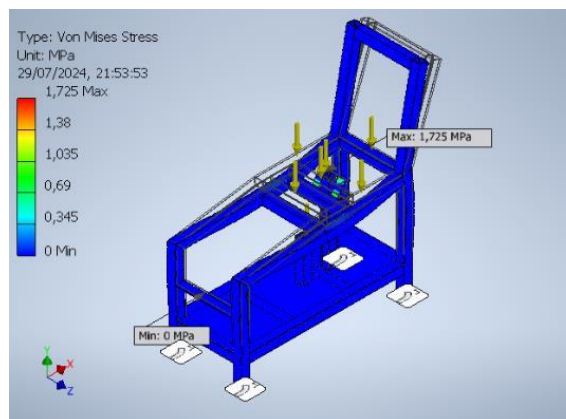
3.1. Von Mises stress

Metode tegangan von Mises, yang sering disebut sebagai tegangan ekuivalen, merupakan alat penting dalam mengevaluasi hubungan tegangan-regangan pada material yang mengalami deformasi, khususnya pada media isotropik dan rangka struktural. Kriteria luluh von Mises digunakan secara luas untuk memprediksi luluhnya material di bawah kondisi pembebanan yang kompleks, karena mempertimbangkan energi distorsi pada material, yang sangat penting untuk memahami mekanisme kegagalan pada material isotropik [9]. Dalam konteks rangka struktural, seperti yang digunakan pada mesin pengolah kompos, analisis tegangan von Mises membantu dalam menentukan nilai tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh rangka. Sebagai contoh, dalam sebuah studi menggunakan perangkat lunak Solidworks, tegangan von Mises maksimum untuk rangka tabung persegi ditemukan sebesar $3,77 \times 10^7 \text{ N/m}^2$, yang mengindikasikan kapasitas rangka untuk menopang berbagai komponen mesin dengan aman [10]. Selain itu, kriteria von Mises dapat diterapkan dalam masalah tegangan termal, di mana kriteria ini membantu dalam memperkirakan tegangan pada sistem elastis-plastik yang mengeras secara non-linier, yang memberikan wawasan tentang efek beban termal terhadap integritas struktural [11]. Metode ini juga dibandingkan dengan ukuran regangan lainnya, seperti regangan ekuivalen Hencky, untuk memastikan prediksi tegangan yang akurat dalam eksperimen geser sederhana [12]. Lebih lanjut, dalam kondisi regangan bidang, kriteria luluh von Mises dianalisis untuk memahami perilakunya dalam kondisi tegangan dua dimensi, yang mengungkapkan bahwa daerah perilaku elastis meningkat dengan rasio Poisson, yang sangat penting untuk mendesain material yang mengalami kondisi regangan bidang [13]. Secara keseluruhan, metode tegangan von Mises merupakan pendekatan yang serbaguna dan dapat diandalkan untuk menilai kekuatan dan keamanan material dalam berbagai aplikasi teknik. Gambar 3. menunjukkan hasil simulasi.



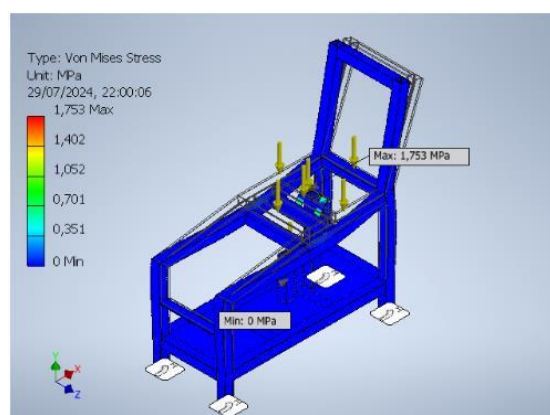
Gambar 3. Simulasi analisis von Mises Stress Carbon Steel S355

Analisis simulasi von Mises maksimum (tegangan) menghasilkan hasil sebesar 1,725 MPa, ditunjukkan dengan diagram berwarna merah. Gambar 4 menggambarkan hasil simulasi.



Gambar 4. Simulasi analisis von Mises Stress Stainless Steel 304

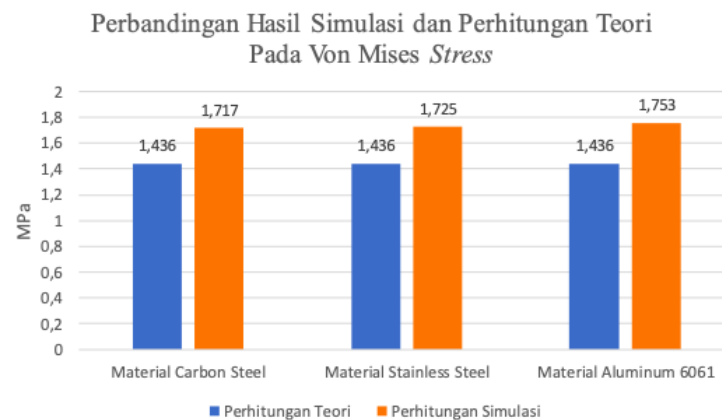
Analisis simulasi von Mises maksimum (tegangan) menghasilkan hasil sebesar 1,753 MPa, ditunjukkan dengan diagram berwarna merah. Gambar 5 menggambarkan hasil simulasi.



Gambar 5. Simulasi analisis von Mises Stress Aluminum 6061

Berdasarkan hasil perhitungan teori dan simulasi menggunakan *software Autodesk inventor* dapat diketahui perbandingan von mises stress pada material carbon steel s355

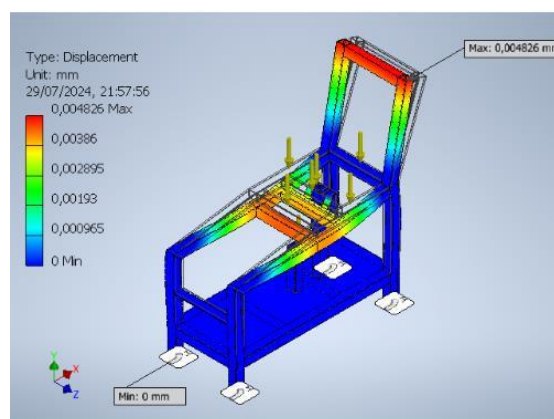
adalah 0,19%. Sementara perbandingan von mises stress pada material *stainless steel 304* adalah 0,20% dan perbandingan von mises stress pada material *aluminum 6061* adalah 0,22% jadi rata-rata perbandingan nya adalah 0,20% yang dapat dilihat pada Gambar 6.



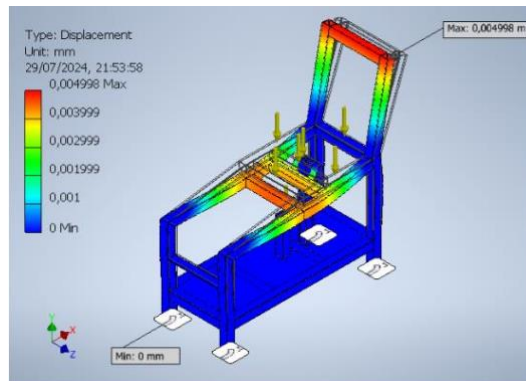
Gambar 6. Perbandingan von Mises Stress.

3.2. Displacement

Analisis perpindahan dalam sistem struktural, seperti pengupas dan pemotong kentang dari baja karbon dan baja tahan karat, menggunakan metode perpindahan, yang berfokus pada persamaan keseimbangan yang terkait dengan perpindahan seperti translasi dan rotasi [14]. Metode ini sangat efektif untuk struktur tipe rangka, yang memungkinkan penentuan gaya dan perpindahan di bawah beban eksternal [15]. Dalam kasus pengupas kentang, perpindahan maksimum yang tercatat adalah 0,004826 mm untuk baja karbon dan 0,004998 mm untuk baja tahan karat, yang mengindikasikan pengaruh sifat material terhadap perilaku struktural. Implementasi komputasi dari metode perpindahan meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam menganalisis struktur tersebut, seperti yang ditunjukkan oleh aplikasi perangkat lunak yang memfasilitasi interaksi pengguna dan manajemen data. Secara keseluruhan, temuan ini menggarisbawahi pentingnya pemilihan material dan desain struktur dalam meminimalkan perpindahan di bawah kondisi beban. Gambar 8 menggambarkan hasil simulasi.

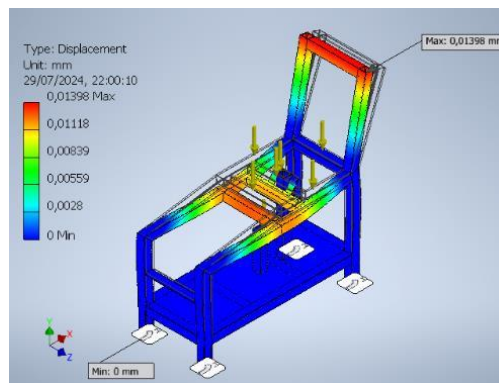


Gambar 7. Analisis displacement Carbon Steel S355.



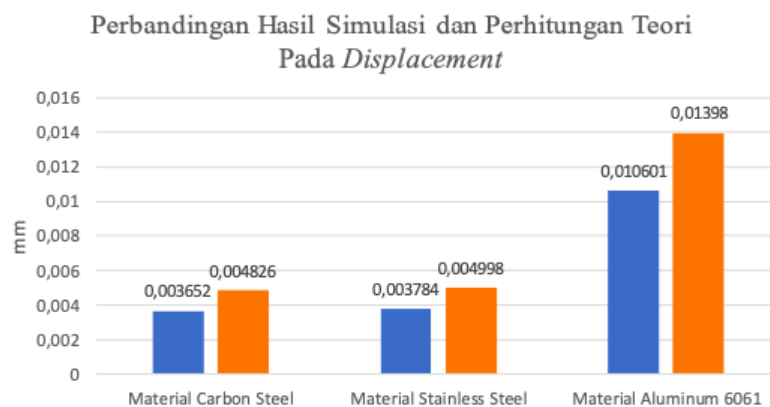
Gambar 8. Analisis *displacement* Stainless Steel.

Karena ada beban yang diterima dari beban di area tersebut, hasil perpindahan maksimum pada rangka mesin pengupas dan pemotong kentang sederhana yang terbuat dari bahan aluminium 6061 menghasilkan nilai 0,01398 mm, yang digambarkan dengan warna merah pada diagram. Diagram berwarna biru menunjukkan nilai perpindahan minimum 0 mm. Gambar 9. menggambarkan hasil simulasi.



Gambar 9. Analisis *displacement* Aluminum 6061

Berdasarkan hasil perhitungan teori dan simulasi menggunakan *software Autodesk inventor* dapat diketahui perbandingan *displacement* pada material *carbon steel s355* adalah 0,32%. Sementara perbandingan *displacement* pada material *stainless steel 304* adalah 0,32% dan perbandingan *displacement* pada material *aluminum 6061* adalah 0,31% jadi rata-rata perbandingan nya adalah 0,31%. Dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 10. Perbandingan von Mises Stress.

3.3. Safety Factor

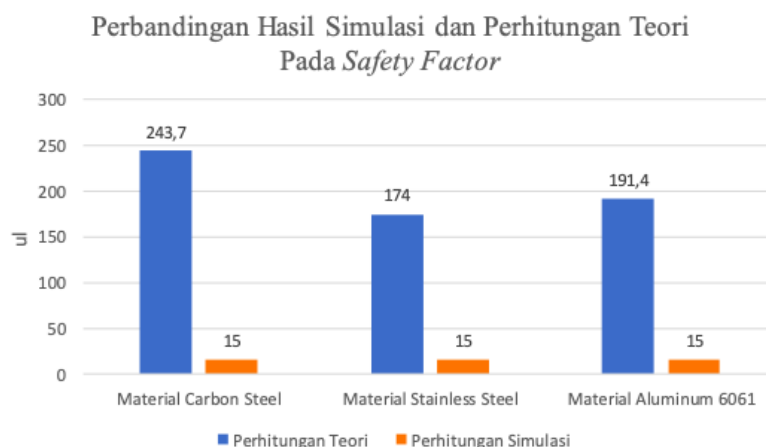
Analisis tegangan von Mises dan faktor keamanan dalam struktur mekanis, khususnya dalam konteks penyangga motor listrik, mengungkapkan wawasan penting tentang pertimbangan desain di bawah gaya sentrifugal. Tegangan von Mises maksimum sebesar 3,505 MPa menunjukkan konsentrasi tegangan yang terlokalisasi, sedangkan tegangan minimum sebesar 0 MPa pada baja karbon menunjukkan area dengan risiko rendah. Perpindahan maksimum yang diamati sebesar 0,009916 mm dan faktor keamanan 15 menyoroti integritas struktural dalam kondisi operasional, menekankan pentingnya mengoptimalkan desain untuk menahan gaya sentrifugal yang tinggi, terutama saat kecepatan putaran meningkat [16,17]. Hubungan antara massa, radius rotasi, dan gaya sentrifugal semakin menggarisbawahi perlunya pemilihan material yang kuat dan optimasi struktural untuk mencegah potensi kegagalan [18]. Dengan demikian, temuan ini menganjurkan keseimbangan yang cermat antara kebutuhan konsumen dan faktor keamanan dalam pemilihan material, terutama untuk baja karbon, untuk meningkatkan kemandirian desain secara keseluruhan [19].

Tabel 1. Hasil Perhitungan dan simulasi rangka material *Carbon Steel S355*.

No.	Analisis yang dilakukan	Hasil Simulasi	Hasil Perhitungan
1	Von Mises Stress	3,505 MPa	5,8518 MPa
2	Displacement	0,009916 mm	0,014934 mm
3	Safety Factor	15	59,8

Berdasarkan dari hasil perhitungan menggunakan *software Autodesk inventor* dan perhitungan teori dapat diketahui nilai maksimum pada von mises *stress* tidak melebihi nilai dari *yield strength* maka rangka ini aman digunakan dan perbandingan pada von mises *stress* adalah 0,67%. Pada hasil analisis *displacement* dapat diketahui perbandingan dari perhitungan *software Autodesk inventor* dan perhitungan teori adalah 0,50%. Sedangkan pada hasil *safety factor* dapat diketahui perbandingan dari perhitungan *software Autodesk inventor* dan perhitungan teori adalah 2,98%.

Berdasarkan hasil perhitungan teori dan simulasi menggunakan *software Autodesk inventor* dapat diketahui perbandingan *safety factor* pada material *carbon steel s355* adalah 15,2%. Sementara perbandingan *safety factor* pada material *stainless steel 304* adalah 10,6% dan perbandingan *safety factor* pada material *aluminum 6061* adalah 11,7% jadi rata-rata perbandingan nya adalah 12,5%. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Perbandingan pada *Safety Factor*

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan dan simulasi yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil simulasi stasis dan perhitungan teori dengan beban 83,35 N maka dipilih jenis material *Carbon Steel* s355 dengan nilai analisa simulasi von mises stress maksimum pada material *Carbon Steel* s355 adalah 1,717 MPa, *displacement* 0,004826 mm, *safety factor* 15. Dan hasil perhitungan aktual von mises stress maksimum pada material carbon steel adalah 1,4361 MPa, *displacement* 0,003652 mm, *safety factor* 243,7.
2. Berdasarkan material terpilih menggunakan gaya sentrifugal pada kecepatan maksimum dan pembebanan maksimum dengan penambahan beban 257,64 N mendapatkan nilai maksimum von mises stress yaitu 3,505 MPa, *displacement* 0,009916 mm, dan *safety factor* 15. Sedangkan pada perhitungan teori mendapatkan nilai maksimum von mises stress yaitu 5,8518 MPa, *displacement* 0,014934 mm, dan *safety factor* 59,8. Berdasarkan dari hasil perhitungan menggunakan *software Autodesk inventor* dan perhitungan teori dapat diketahui nilai maksimum dan pembebanan maksimum pada von mises stress tidak melebihi nilai dari *yield strength* maka rangka ini aman digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Global Jakarta atas dukungannya selama menyelesaikan penelitian ini.

REFERENCES

- [1] Mangguluang Z, Rahman F, Sahabuddin S, Pramana E. Rancang Bangun Pengupas Dan Pembersih Kulit Kentang Dalam Industri Rumah Tangga. *ILTEK: Jurnal Teknologi*. 2021 Oct 25;16(02):46-53.
- [2] Saleh A, Muhammad DA. Analisis dan perancangan rangka mesin pemotong kentang otomatis. *Jurnal TEDC*. 2020 May 19;14(2):153-8.
- [3] Perdana FS, Akbar A, Mahmudi H. Analisa Kekuatan Material Bahan dan Rangka Alat Pengguling Sapi Berbobot 1.2 Ton Menggunakan Software Autodesk Inventor. In: *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi) 2022 Nov 22 (Vol. 6, No. 3, pp. 146-151)*.
- [4] Wijayanto A, Akbar A, Nadliroh K. Analisa Kekuatan Rangka Dynotest Menggunakan Autodesk Inventor. In: *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi) 2023 Jul 26 (Vol. 7, No. 3, pp. 1301-1308)*.
- [5] Vitalii, Ivanov., Ivan, Pavlenko., Artem, Evtuhov., Justyna, Trojanowska. 1. *Product Design*. Springer tracts in mechanical engineering, (2023). doi: 10.1007/978-3-031-44641-2_2
- [6] Belmiro, P.M., Duarte., A., M., F., Carvalho., Daniela, S., B., Lima., Diana, I., S., Costa., Inês, R., Nunes., João, Batista., Paulo, J., S., Gomes., Fernando, P., Bernardo. 3. *Concept Development—From Academia to Industry: A Journey Motivated by the Design of Portable Thermal Slippers*. Designs, (2022). doi: 10.3390/designs6040065
- [7] Ambrose, Edward, Irudayaraj., V., Anbumalar. 4. *The Conceptual Design of Mechanical Products*. Periodico, (2022). doi: 10.37896/pd91.4/91424
- [8] Congdong, Li., Run, Wu., Weiming, Yang. 5. Optimization and selection of the multi-objective conceptual design scheme for considering product assembly, manufacturing and cost. *SN applied sciences*, (2022). doi: 10.1007/s42452-022-04973-6.
- [9] A., I., Chanyshev., I., M., Abdulin. Deformation and failure of originally isotropic media under the mises strength condition. *Journal of Mining Science*, (2006). doi: 10.1007/S10913-006-0061-4.
- [10] A., Prasetyo., Kartinasari, Ayuhikmatin, Sekarjati., Sutrisna. Numerical analysis of the influence iron type on Von Mises Stress and safety parameters for compost processing machine frame construction. *IOP conference series*, (2023). doi: 10.1088/1755-1315/1151/1/012058.
- [11] Ahmet, N., Eraslan. On the Application of von Mises' Yield Criterion to a Class of Plane Strain Thermal Stress Problems. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, (2005).
- [12] Suresh, Shrivastava., Chiradeep, Ghosh., John, J., Jonas. A comparison of the von Mises and

- Hencky equivalent strains for use in simple shear experiments. *Philosophical Magazine*, (2012). doi: 10.1080/14786435.2011.634848
- [13] Seunghyun, Lee., Byoung-Il, Kim. Analytical Study on Characteristics of von Mises Yield Criterion under Plane Strain Condition. *Journal of the Korea Academia Industrial Cooperation Society*, (2015). doi: 10.5762/KAIS.2015.16.9.6391.
- [14] Jerome, J., Connor., Susan, Faraji. *The Displacement Method*. (2013). doi: 10.1007/978-1-4614-3262-3_10.
- [15] Amilton, Rodrigues, da, Silva., Fabiana, Paula, Drumond. Desenvolvimento de um software para análise estrutural de sistemas reticulados espaciais usando o método dos deslocamentos Development of a software application for structural analysis of spatial lattices using the displacement method. (2012).
- [16] Haojie, Lian., Asger, Nyman, Christiansen., Daniel, A., Tortorelli., Ole, Sigmund., Niels, Aage. Combined shape and topology optimization for minimization of maximal von Mises stress. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, (2017). doi: 10.1007/S00158-017-1656-X.
- [17] Karel, Octavianus, Bachri., Arka, Dwinanda, Soewono., Alfi, Nabil. Analisis Kekuatan Purwarupa Swing Arm Untuk Sepeda Motor Listrik: Studi Kasus Pada PT “SC”. (2023). doi: 10.25170/cylinder.v9i2.4982.
- [18] Denis, Alexandrovich, Chemezov., Svetlana, Ivanovna, Tyurina., Irina, Mikhailovna, Pavluhina., Oleg, Viktorovich, Gorbatenko., Irina, Alekseevna, Medvedeva. Calculation of von mises stress at plastic deformation of a steel bushing. *Theoretical & Applied Science*, (2018). doi: 10.15863/TAS.2018.09.65.35.
- [19] Ing-Chang, Jong., Bruce, G., Rogers., William, Springer. Gc 2009-267: teaching von mises stress: from principal axes to nonprincipal axes. (2009).