

Analisa Tegangan *Von Mises Stress*, *Deformation*, Dan *Safety Factor* Perancangan Rangka *Auto Transfer Tipe Lifter* Dengan Pendekatan Metode Elemen Hingga

Bagja Brilliant Tenggara^{1,*}, Soeparno Djiwo¹

¹ Program Studi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang, Jawa Timur, Indonesia

Kata kunci

structural steel,
aluminium alloy,
distribusi tegangan,
elemen hingga,
Solidworks.

ABSTRAK

Penelitian analisis struktur rangka *auto transfer tipe lifter* memfokuskan pada komparasi material antara *structural steel* dan *aluminium alloy* untuk mengoptimalkan desain. Menggunakan pemodelan 3D dengan *software* SolidWorks 2020 dan simulasi elemen hingga melalui ANSYS 2020 R2, distribusi tegangan *von mises*, *deformasi*, dan *safety factor* dievaluasi dalam kondisi beban (6000 N) dan beban (5000 N). Rangka dengan dimensi 1930 mm × 443 mm × 1960.60 mm menggunakan profil hollow 30×30×2.6 mm diuji dengan representasi *polybox* berdimensi 334 × 249 × 125 mm. Hasil analisis menunjukkan hubungan linear antara beban dengan tegangan dan deformasi, sementara *safety factor* untuk *aluminium alloy* menunjukkan peningkatan signifikan. Penelitian ini berkontribusi pada optimasi desain rangka untuk aplikasi pemindahan *polybox* otomatis di industri manufaktur modern, sesuai dengan tren Industri 4.0 untuk meningkatkan efisiensi produksi dan keamanan kerja.

* Corresponding author:

Bagja Brilliant Tenggara (email: brilliandbagja@gmail.com)

Diterima: 14 Agustus 2025

Disetujui: 24 Maret 2026

Dipublikasikan: 31 Maret 2026

1 Pendahuluan

Di era industri modern saat ini, transformasi digital dan otomatisasi telah menjadi kunci utama dalam meningkatkan daya saing industri manufaktur global. Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi dan tuntutan pasar yang semakin kompleks, efisiensi dan presisi dalam proses produksi menjadi faktor yang menentukan keberhasilan sebuah industri. Pemindahan material antar lokasi yang efisien menjadi aspek vital dalam proses manufaktur dan sistem pergudangan yang mengharuskan adanya aliran material yang kontinu dan tepat waktu [3], [1], [2] ditemukan bahwa sistem otomasi industri telah berkembang pesat dengan integrasi kontrol proses dan sistem informasi, serta teknologi CAD seperti SolidWorks & Ansys yang membantu dalam perancangan sistem mekanis dengan presisi tinggi. Implementasi sistem transfer otomatis dapat meningkatkan efisiensi produksi hingga 35% dibandingkan dengan sistem manual [9].

Penggunaan *software* CAD dan simulasi seperti SolidWorks dan ANSYS memungkinkan perancangan dan pengujian *virtual* sebelum implementasi fisik, sehingga dapat mengoptimalkan desain sejak tahap awal pengembangan. [4] dalam studinya membuktikan bahwa simulasi berbasis FEA dapat mengurangi biaya prototipe hingga 60% dan mempercepat siklus pengembangan produk. Analisis elemen hingga memungkinkan evaluasi distribusi tegangan *von mises stress*, deformasi, dan faktor keamanan pada berbagai kondisi pembebanan. Pemilihan material yang tepat antara *structural steel* dan *aluminium alloy* juga menjadi pertimbangan penting untuk mendapatkan kombinasi optimal antara kekuatan, bobot, dan biaya, sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian komparatif oleh [5].

Berdasarkan potensi dan tantangan yang telah dipaparkan, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan performa struktural rangka *auto transfer tipe lifter* dengan variasi material dan beban, untuk mendapatkan desain yang optimal dalam mendukung proses pemindahan *polybox* secara otomatis. Melalui pendekatan yang sistematis dan penggunaan teknologi simulasi modern, diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan efisiensi dan keamanan sistem pemindahan material di industri

manufaktur, yang berfokus pada analisis ekonomis penerapan sistem otomatisasi material handling [6], Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah menganalisis distribusi tegangan von Mises, deformasi, dan faktor keamanan pada frame auto transfer tipe lifter dengan variasi material dan kondisi pembebanan [12].

2 Metode Penelitian

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/FEM*) adalah teknik numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan analisis struktur dengan cara membagi geometri kompleks menjadi elemen-elemen kecil yang lebih sederhana. Dalam penelitian ini, metode FEM diaplikasikan melalui *software* ANSYS 2020 R2 untuk menganalisis rangka *auto transfer* tipe *lifter* dengan fokus pada distribusi tegangan *von mises*, deformasi, dan *safety factor*.

Variabel bebas : Steel(*Structural*) Yield Strength 250 MPa & Alumunium Alloy Yield Strength 280 MPa.

Variabel terikat : Von Mises Stress, Deformation & Safety Factor.

Variabel kontrol : Dimensi Polybox (334 x 249 x 125 mm)

2.1 Perhitungan Finite Element Method/FEM

1. Von Misses Stress

Berdasarkan buku Mechanical Engineering Design karya Richard & J.Keith memaparkan rumus von misses stress pada tengangan multi axial, rumus ini menjelaskan bahwa kegagalan plastis terjadi ketika von misses stress mencapai tengangan luluh material.

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (1)$$

Dimana :

σ_1 = Von Misses Stress

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ = Tegangan normal dalam arah x, y, z

2. Displacement

Displacement atau perpindahan merupakan parameter yang menunjukkan perubahan posisi suatu titik pada struktur akibat pembebanan eksternal. Dalam analisis FEM, displacement dihitung berdasarkan persamaan kesetimbangan yang menghubungkan gaya dengan perpindahan melalui matriks kekakuan struktur. Untuk sistem dengan percepatan angular, displacement dapat dinyatakan sebagai:

$$\theta = \frac{\omega_0 + \omega^2}{2} x t \quad (2)$$

3. Safety Factor

Berdasarkan buku Mechanical Engineering Design karya Richard & J.Keith menjelaskan rumus safety factor yang menyatakan:

$$S_F = \frac{S_t Y_N / (K_T K_R)}{\sigma} = \frac{\text{Fully corrected bending strength}}{\text{bending stress}} \quad (3)$$

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Metode Elemen Hingga

Perbandingan hasil analisa rangka auto transfer tipe lifter merupakan bagian yang penting bertujuan untuk memverifikasi konstruksi optimal. Melalui evaluasi analisa von misses stress, deformasi, dan safety factor.

1. Hasil Von Misses Stress

Berdasarkan buku Mechanical Engineering Design karya Richard & J.Keith memaparkan rumus von misses stress pada tengangan multi axial, rumus ini menjelaskan bahwa kegagalan plastis terjadi ketika von misses stress mencapai tengangan luluh material.

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (4)$$

Dimana :

σ_1 = Von Misses Stress

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ = Tegangan normal dalam arah x, y, z

Hasil simulasi menunjukkan nilai von mises stress maksimum untuk material structural steel pada beban 6000 N adalah 150.78 MPa, sedangkan untuk aluminium alloy pada beban yang sama mencapai 147.81 MPa. Pada kedua material, nilai ini masih jauh di bawah batas luluh (yield strength) masing-masing material (250 MPa untuk *structural steel* dan 280 MPa untuk *aluminium alloy*). Distribusi tegangan pada kedua material menunjukkan pola yang serupa, dengan konsentrasi tegangan tertinggi berada pada area sambungan antara struktur vertikal dan horizontal rangka, yang merupakan titik kritis dalam desain struktur.

2. Hasil Deformation

Analisis deformasi menunjukkan perbedaan karakteristik perilaku defleksi antara kedua material yang signifikan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa material *structural steel* mengalami deformasi maksimum sebesar 0.26367 mm pada beban 6000 N dan 0.21973 mm pada beban 5000 N. Sebaliknya, material *aluminium alloy* menunjukkan deformasi yang lebih besar dengan nilai maksimum 0.74248 mm pada beban 6000 N dan 0.61874 mm pada beban 5000 N. Distribusi deformasi pada kedua material menunjukkan pola yang konsisten, dengan area deformasi maksimum (ditunjukkan warna merah) terkonsentrasi pada titik-titik pembebanan dan sambungan kritis struktur. Area dengan deformasi minimum (ditunjukkan warna biru muda) berada pada bagian yang dekat dengan *fixed support*. Meskipun *aluminium alloy* mengalami deformasi yang lebih besar, nilai deformasi maksimum pada kedua material masih berada dalam batas yang dapat diterima, yaitu kurang dari 1 mm.

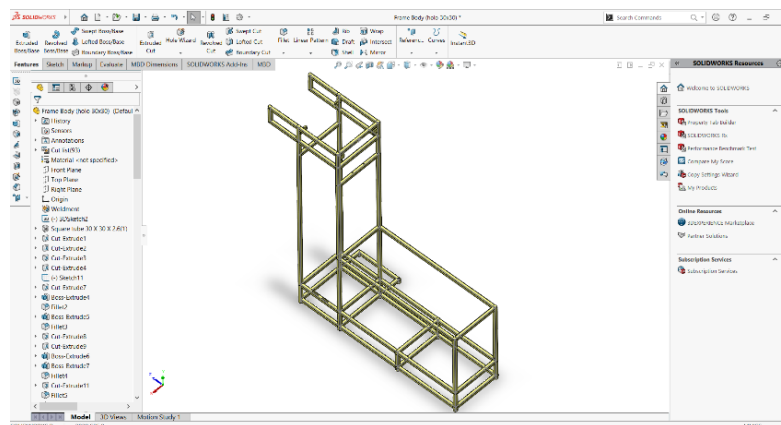
3. Hasil Safety Factor

Berdasarkan buku Mechanical Engineering Design karya Richard & J.Keith menjelaskan rumus safety factor yang menyatakan:

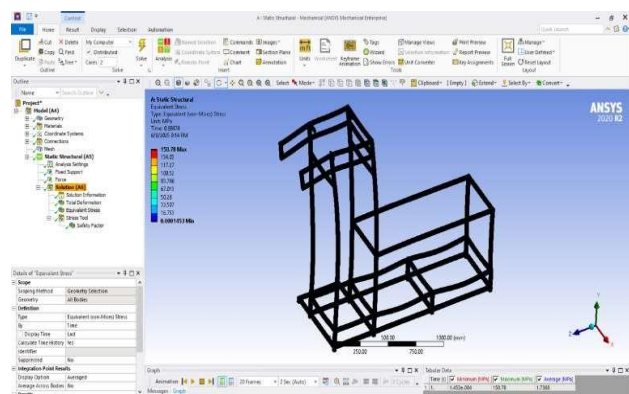
$$S_F = \frac{S_t Y_N / (K_T K_R)}{\sigma} = \frac{\text{Fully corrected bending strength}}{\text{bending stress}} \quad (5)$$

Analisis safety factor menunjukkan tingkat keamanan yang memadai untuk kedua material pada semua kondisi pembebanan. Material structural steel menunjukkan safety factor minimum 1.6 pada beban 6000 N dan meningkat menjadi 1.9 pada beban 5000 N. Sementara itu, material aluminium alloy menunjukkan safety factor 1.9 pada beban 6000 N dan 2.2 pada beban 5000 N. Safety factor dihitung menggunakan persamaan diatas, dimana σ yield adalah kekuatan luluh material dan σ von mises adalah tegangan ekuivalen maksimum yang terjadi. Untuk structural steel dengan yield strength 250 MPa, safety factor diperoleh dari $250/150.78 = 1.6$ (beban 6000N) dan $250/125.65 = 1.9$ (beban 5000 N). Untuk aluminium alloy dengan yield strength 280 MPa, safety factor adalah $280/147.81 = 1.8$ (beban 6000 N) dan $280/123.17 = 2.2$ (beban 5000 N).

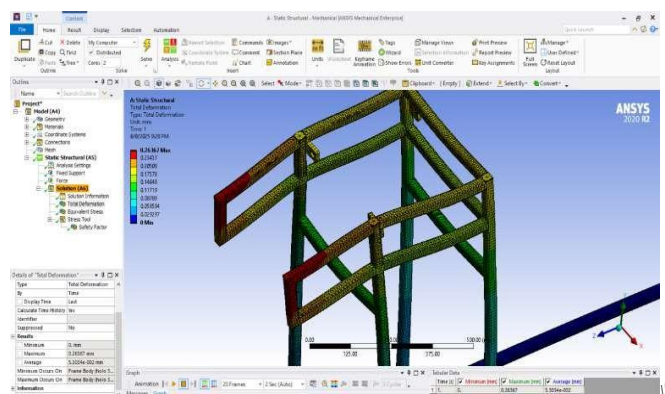
3.2 Hasil Analisa FEA Menggunakan Software Ansys



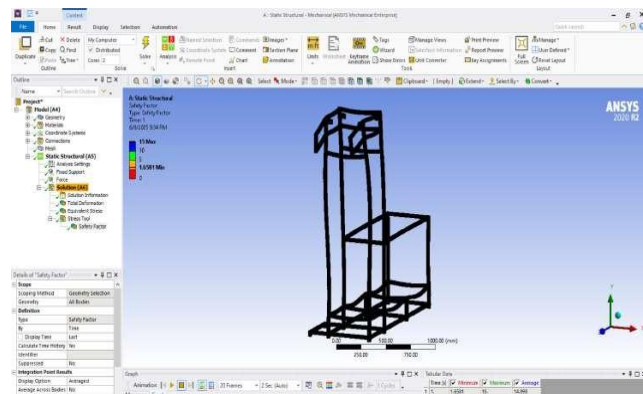
Gambar 1 Rangka Auto Transfer tipe Lifter



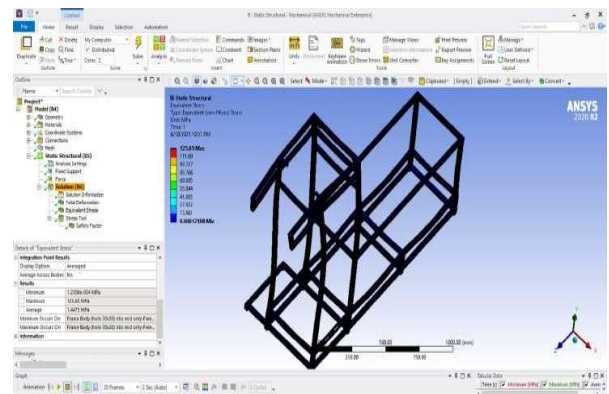
Gambar 2 Hasil Analisa Von Mises Stress Structural Steel (6000 N)



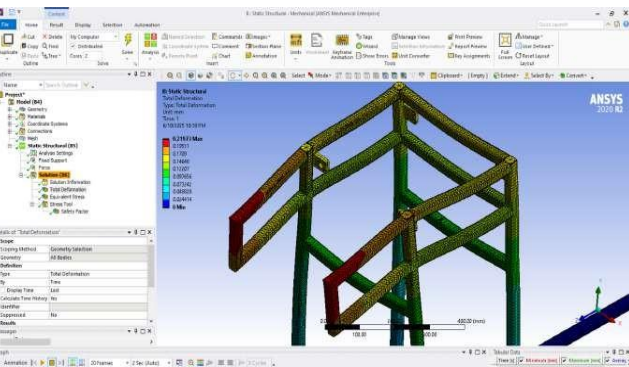
Gambar 3 Hasil Analisa Deformasi Structural Steel (6000 N)



Gambar 4 Hasil Analisa Safety Factor Structural Steel

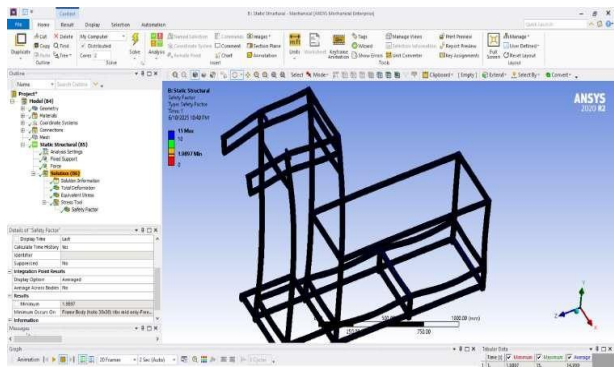


Gambar 5 Hasil Analisa Von Misses Stress Structural



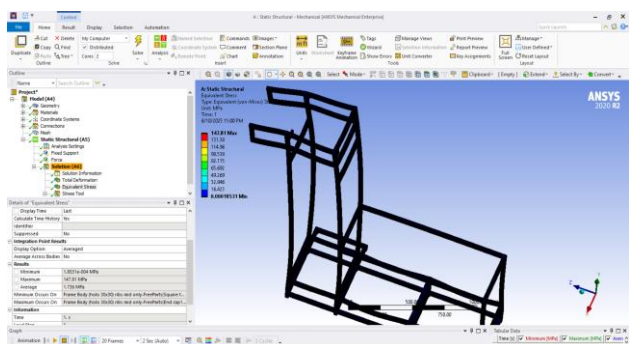
(6000 N)

Gambar 6 Hasil Analisa Deformation Structural Steel(5000 N)

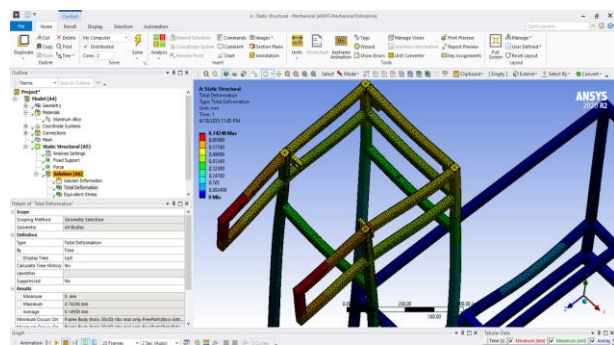


Steel(5000 N)

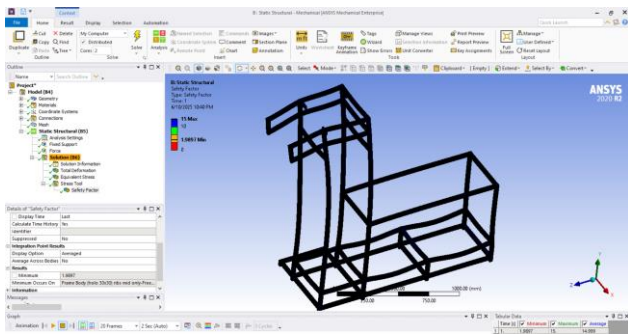
Gambar 7 Hasil Analisa Safety factor Structural Steel (5000 N)



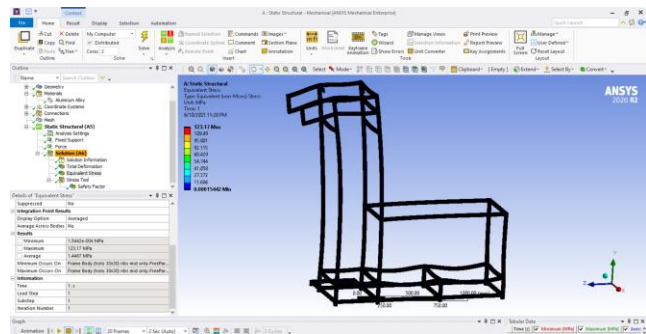
Gambar 8 Hasil Analisa Von Misses Stress Aluminium Alloy (6000 N)



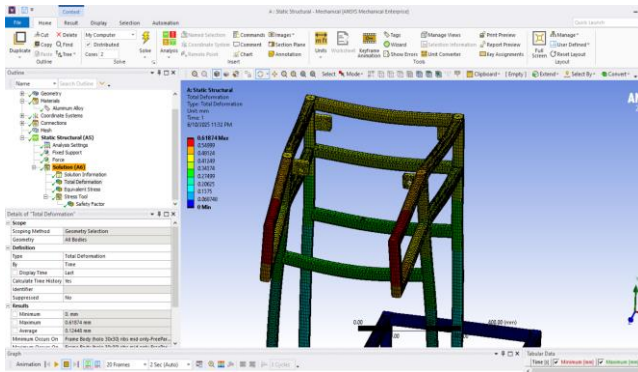
Gambar 9 Hasil Analisa Deformartion Alumunium Alloy (6000 N)



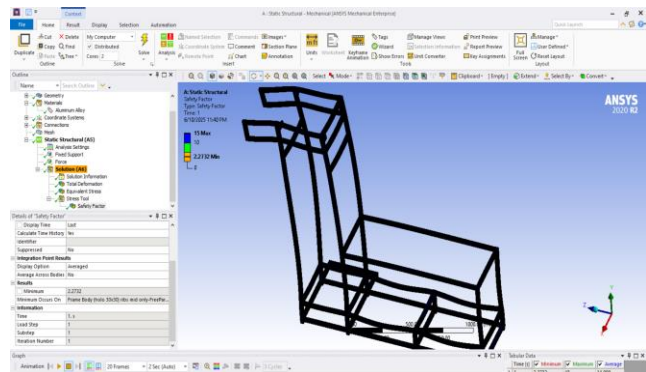
Gambar 9 Hasil Analisa *Safety factor* Alumunium Alloy (6000 N)



Gambar 10 Hasil Analisa *Von Mises Stress* Alumunium Alloy (5000 N)



Gambar 11 Hasil Analisa *Deformtion* Alumunium Alloy (5000 N)



Gambar 12 Hasil Analisa *Safety factor* Alumunium Alloy (5000 N)

Table 1 Rekapitulasi Hasil Perancangan

Material	Beban (N)	Analisis Struktural				Dimensi Rangka (Square Tube) mm
		Von Mises Stress (MPa)	Deformasi (mm)	Safety Factor	Yield Strength (MPa)	
Structural steel	6000	150.78	0.26367	1.6	250	30 x 30 x 2.6
Structural Steel	5000	125.65	0.21973	1.9	250	30 x 30 x 2.6
Alumunium Alloy	6000	147.81	0.74248	1.8	280	30 x 30 x 2.6
Alumunium Alloy	5000	123.17	0.61874	2.2	280	30 x 30 x 2.6

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan software ANSYS 2020 R2, perbandingan kekuatan struktur antara material structural steel dan aluminium alloy dalam menahan beban polybox menunjukkan bahwa structural steel merupakan material yang paling optimal untuk aplikasi rangka auto transfer tipe lifter. Material structural steel dengan yield strength 250 MPa menghasilkan von mises stress maksimum sebesar 150.78 MPa pada beban 6000 N dan 125.65 MPa pada beban 5000 N (40% dari yield strength), sementara aluminium alloy dengan yield strength 280 MPa menunjukkan von mises stress maksimum 147.81 MPa pada beban 6000 N dan 123.17 MPa pada beban 5000 N (53% dari yield strength). Meskipun aluminium alloy memiliki safety factor yang sedikit lebih tinggi (1.8 pada beban 6000 N dan 2.2 pada beban 5000 N) dibandingkan structural steel (1.6 pada beban 6000 N dan 1.9 pada beban 5000 N), structural steel unggul secara signifikan dalam hal kekakuan

struktur dengan deformasi maksimum hanya 0.26367 mm pada beban 6000 N, yang 2.8 kali lebih kecil dibandingkan aluminium alloy yang mengalami deformasi 0.74248 mm pada kondisi yang sama. Distribusi tegangan pada kedua material menunjukkan konsentrasi tertinggi pada area sambungan struktur vertikal dan horizontal, namun structural steel memberikan kombinasi optimal antara kekuatan, kekakuan, keamanan, dan aspek ekonomis. Dengan spesifikasi profil square tube 30 x 30 x 2.6 mm, structural steel mampu beroperasi dengan safety factor minimum 1.6 yang memenuhi standar keamanan engineering dan deformasi maksimum yang sangat rendah, menjadikannya pilihan terbaik untuk aplikasi transfer otomatis yang membutuhkan presisi posisi dan stabilitas struktur yang tinggi.

5 Referensi

- [1] Alamir, B. (2020). *Implementation of CAD Technology in Modern Industrial Design*. Journal of Engineering Design Technology.
- [2] Bisono, R. M., Hafidhoh, N., & Salim, A. T. A. (2021). *Design and Structural Analysis of Multi-Purpose Food Slicer Frame Using SolidWorks 2020*. International Journal of Mechanical Engineering Research.
- [3] Mehta, B. R., & Reddy, Y. J. (2020). *Industrial Process Automation Systems: Design and Implementation*. Butterworth-Heinemann, Oxford
- [4] Nugroho, A., & Wijaya, T. (2023). *Cost Reduction through Finite Element Analysis Simulation in Product Development*. Journal of Manufacturing
- [5] Pratama, A., Setiawan, D., & Kusuma, H. (2021). *Structural Analysis of Material Handling Systems using Finite Element Method*. International Journal of Industrial Engineering
- [6] Rahman, F., Irawan, D., & Kusuma, H. (2023). *Economic Analysis of Automated Material Handling Systems Implementation in Manufacturing Industry*. Journal of Industrial Integration.
- [7] Richard, G. B., & Keith, J. N. (2020). *Mechanical Engineering Design (11th Edition)*. McGraw-Hill Education.
- [8] Saputra, A., & Hermawan, Y. (2022). *Ergonomic Risk Assessment in Manual Material Handling Activities in Manufacturing Industry*. Occupational Health and Safety.
- [9] Widarto, A., Fauzi, H., & Prabowo, R. (2019). *Implementation of Automated Transfer System in Manufacturing: A Case Study*. Journal of Manufacturing Systems.
- [10] ANSYS Inc. (2020). *ANSYS Mechanical User's Guide Release 2020 R2*. ANSYS Inc.
- [11] Dassault Systèmes. (2020). *SolidWorks 2020 User Manual*. Dassault Systèmes SolidWorks Corporation.
- [12] Isworo, H., & Anyah, P. R. (2018). Metode Elemen Hingga. *HMKB654*.
- [13] Vidosic, J. P. (1957). *Machine Design Projects*. Ronald Press Co.