

ANALISIS KEKOKOHAN RANGKA *MULTI-SPEED PNEUMATIC LINEAR TRANSFER SYSTEM PICK-AND-PLACE* DALAM KEADAAN *STATIC* MENGGUNAKAN METODE FEA

Jason Waworuntu¹, Agus Halim², Agustinus Purna Irawan³

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara Jakarta
Email: jason.515200030@stu.untar.ac.id

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara Jakarta
Email: agush@ft.untar.ac.id

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara Jakarta
Email: agustinus@untar.ac.id

Masuk : 03-06-2024, revisi: 18-06-2024, diterima untuk diterbitkan : 20-06-2024

ABSTRAK

Di era modern ini, otomasi adalah salah satu industri yang berkembang pesat dengan tujuan meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan presisi. Tantangan dalam otomasi untuk mencapai keseimbangan yang ideal antara kecepatan, akurasi, dan efisiensi energi masih menjadi perhatian utama. Dengan adanya pendekatan simulasi komputer, dapat disimulasikan perilaku sistem secara virtual sebelum implementasi fisik, sehingga lebih efisien dan efektif dalam merancang sebuah alat. Penelitian yang berfokus pada analisis kekuatan rangka *multi-speed pneumatic linear transfer system pick-and-place* menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)* menjadi sangat relevan. *Finite Element Analysis (FEA)* adalah salah satu metode simulasi yang telah terbukti menjadi alat yang efektif dalam menganalisis struktur kompleks dengan tingkat detail yang tinggi. Fokus dari penelitian ini adalah untuk mensimulasikan kekuatan dan kekokohan rangka dalam menahan beban dalam keadaan *static* saat *rodless cylinder axis Z* berada pada posisi awal, tengah, dan akhir dengan perangkat lunak Fusion 360 dengan variabel simulasi berupa tegangan, *displacement*, regangan, dan *safety factor*. Material aluminium dan *mild steel* yang digunakan pada rangka alat terbukti kuat dalam menahan beban *static*, sehingga rangka mesin aman dan mempunyai *safety factor* yang tinggi.

Kata Kunci: *Safety Factor, Displacement, Tegangan, Regangan, FEA, Pick-And-Place, Pneumatic*

ABSTRACT

In this modern era, automation is one of the rapidly growing industries with the aim of improving efficiency, productivity, and precision. The challenge in automation to achieve an ideal balance between speed, accuracy, and energy efficiency is still a major concern. With the computer simulation approach, system behavior can be simulated virtually before physical implementation, making it more efficient and effective in designing a tool. research that focuses on analyzing the strength of the multi-speed pneumatic linear transfer system pick-and-place frame using the Finite Element Analysis (FEA) method is very relevant. Finite Element Analysis (FEA) is a simulation method that has proven to be an effective tool in analyzing complex structures with a high level of detail. The focus of this research is to simulate the strength and robustness of the frame in withstanding loads in a static state when the rodless cylinder axis Z is in the initial, middle, and final positions with Fusion 360 software with simulation variables in the form of stress, displacement, strain, and safety factor. The aluminum and mild steel materials used in the tool frame are proven to be strong in withstanding static loads, so the machine frame is safe and has a high safety factor.

Keywords: *Safety Factor, Displacement, Stress, Strain, FEA, Pick-And-Place, Pneumatic*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Di era modern ini, otomasi adalah salah satu industri yang berkembang pesat dengan tujuan meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan presisi. Industri manufaktur modern menuntut keunggulan operasional, produktivitas yang tinggi, dan fleksibilitas dalam proses produksi untuk menjawab tuntutan pasar yang semakin kompleks dan berubah-ubah. Dalam konteks ini, otomatisasi sistem produksi menjadi kunci dalam mencapai tujuan tersebut. Salah satu solusi yang umum digunakan dalam industri adalah sistem transfer linear pneumatik, yang telah terbukti efektif dalam mentransfer benda kerja secara cepat dan akurat di berbagai aplikasi produksi.

Sistem transfer linear pneumatik mengandalkan prinsip pneumatik untuk menggerakkan aktuator linear yang membawa benda kerja dari satu titik ke titik lain dalam lini produksi. Digunakan secara luas dalam operasi *pick-and-place*, sistem ini memainkan peran vital dalam proses perakitan, pemindahan, dan penempatan benda kerja. Meskipun sistem ini telah memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan efisiensi dan produktivitas, tantangan dalam mencapai keseimbangan yang ideal antara kecepatan, akurasi, dan efisiensi energi masih menjadi perhatian utama (R. S. Khurmi and J. K. Gupta, 2005).

Pendekatan simulasi komputer menjadi semakin penting untuk mengatasi masalah tersebut. Dengan simulasi komputer, perancang dan insinyur dapat mensimulasikan perilaku sistem secara virtual sebelum implementasi fisik. Dalam konteks ini, penelitian yang berfokus pada analisis kekuatan rangka *multi-speed pneumatic linear transfer system pick-and-place* menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) menjadi sangat relevan. *Finite Element Analysis* (FEA) adalah salah satu metode simulasi yang telah terbukti menjadi alat yang efektif dalam menganalisis struktur kompleks dengan tingkat detail yang tinggi, memungkinkan evaluasi yang mendalam tentang respon struktural sistem terhadap beban yang beragam (Johnson M, 2021)(John N, 2013).

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis simulasi rangka alat menggunakan metode FEA. Dengan menggunakan metode FEA, diharapkan dapat dilakukan analisis yang mendalam tentang kekokohan rangka sistem transfer pneumatik dalam operasi *pick-and-place* serta fokus dari penelitian ini adalah untuk mensimulasikan kekuatan dan kekokohan rangka untuk menahan beban dalam keadaan *static* saat *rodless cylinder axis Z* berada pada posisi awal, tengah, dan akhir. Dengan batasan masalah yang pertama, yaitu menggunakan material uji aluminium 6061 pada aluminium *profile* dan *angle foot extruded* serta material uji *mild steel* pada *reinforce aluminium profile* dan *bracket rodless cylinder axis X*, batasan masalah kedua, yaitu model *rodless cylinder pneumatic* yang digunakan sebagai axis X adalah *rodless cylinder pneumatic* berdiameter 32 mm dengan panjang *stroke* 1500 mm dan axis Z menggunakan *rodless cylinder pneumatic* berdiameter 20 mm dengan panjang *stroke* 400 mm.

Rumusan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa rumusan masalah yang dapat dibahas berdasarkan latar belakang yaitu, apakah struktur rangka mesin yang didesain cukup kuat untuk menahan beban dalam keadaan statis dan bagaimana hasil simulasi FEA dari rangka mesin setelah diberikan beban pada rangka dengan variabel *safety factor*, *von mises stress*, *strain*, dan *displacement*.

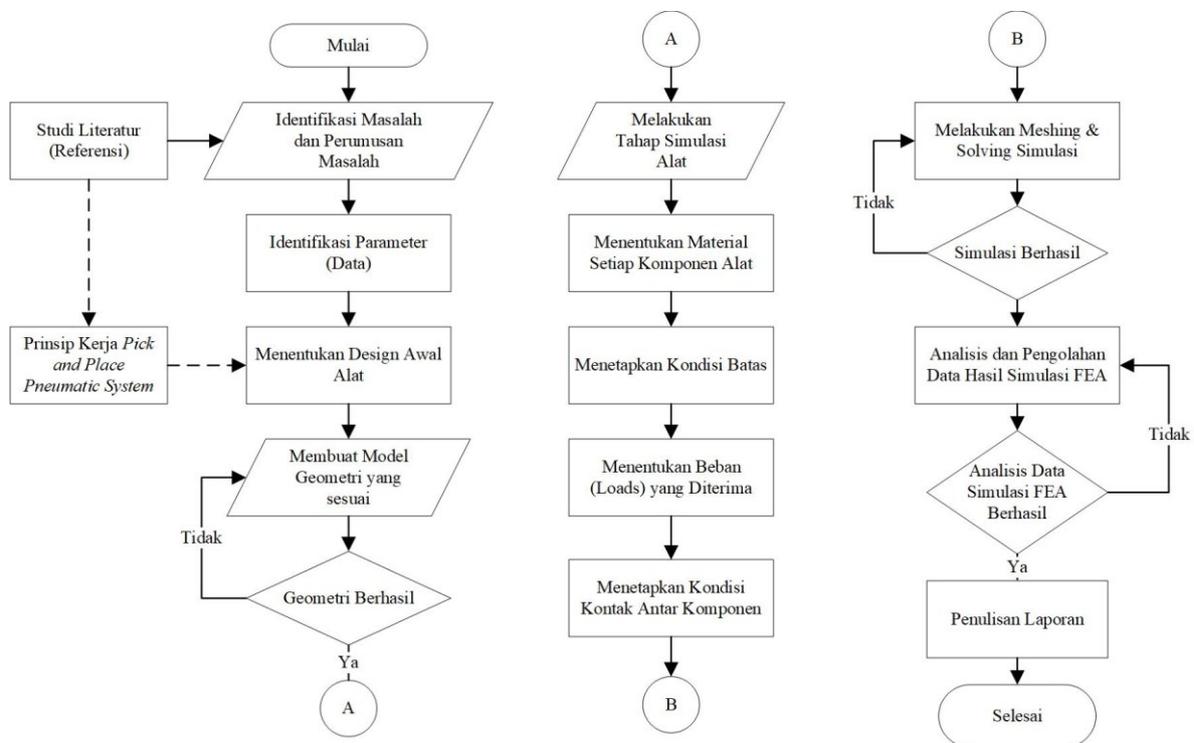
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode simulasi numerik *Finite Element Analysis* (FEA) dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Autodesk Fusion 360 untuk simulasi pada keadaan *static*. Simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) adalah metode numerik yang digunakan untuk

memprediksi dan menganalisis respons struktural suatu objek terhadap beban atau gaya tertentu (Sanjaya et al., 2017). Terdapat berbagai tahap untuk mendapatkan hasil simulasi yaitu:

- a. *Pre-processing*: siapkan model CAD yang sudah didesain dan disederhanakan, tentukan material, menetapkan kondisi batas, beban yang diterima, kondisi kontak pada geometri komponen, dan melakukan *constraints* dan *meshing* (pengaturan *mesh* yaitu *general mesh* atau *unstructured mesh* karena waktu iterasi)
- b. *Processing*: Jalankan simulasi untuk mendapatkan hasil simulasi dan solusi.
- c. *Post-processing*: melakukan analisa hasil simulasi, memverifikasi, dan mendapatkan kesimpulan hasil simulasi (Halim & Raynaldo, 2023).

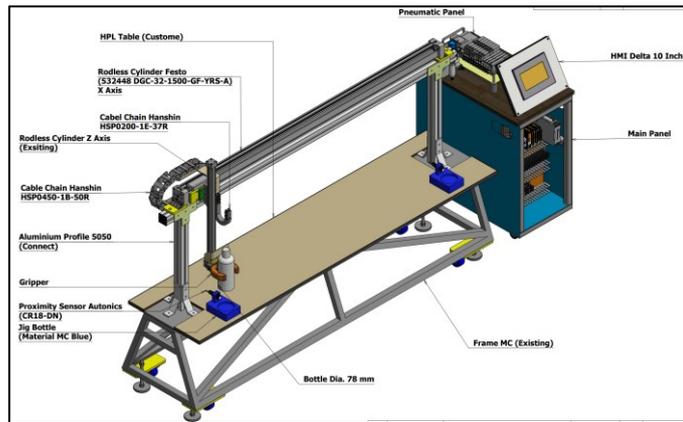
Pada simulasi dilakukan pemodelan analisis statis untuk mengevaluasi kondisi pembebanan struktur, *displacement*, tegangan, regangan, dan *safety factor* dalam desain rangka sehingga dapat mencapai nilai optimum dalam kecepatan, efisiensi, dan tanpa *impact* yang besar dalam memindahkan benda kerja.



Gambar 1. Diagram Alir Simulasi Penelitian

Spesifikasi Mesin Secara Umum

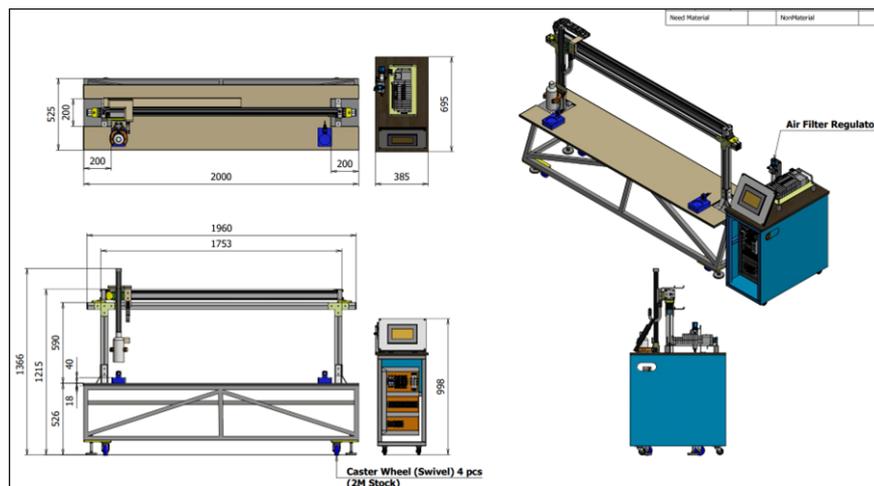
Berikut adalah komponen dari *multi-speed pneumatic linear transfer system pick-and-place* secara umum:



Gambar 2. Komponen Mesin Secara Umum

Tahap Geometri

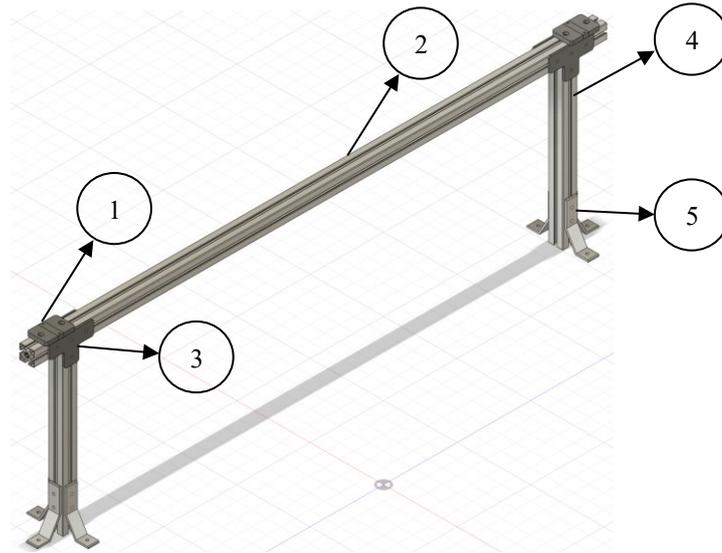
Tahap pertama yang dilakukan dalam simulasi metode FEA ini adalah dengan membuat geometri mesin pada perangkat lunak Autodesk Fusion 360. Model geometri berupa pembuatan model tiga dimensi berdasarkan sketsa awal. Berikut adalah tampak atas, depan, isometri, dan samping dari alat:



Gambar 3. Design Geometri Tampak Atas, Depan, Samping, dan Isometri

Tahap *Simplify* Model Geometri

Tahap ini digunakan untuk menghapus komponen benda atau fitur yang tidak diperlukan untuk simulasi, terdapat beberapa fitur dalam desain yang tidak penting terkait dengan simulasi tegangan, regangan, *displacement*, dan lain-lain yang dapat meningkatkan kompleksitas *mesh* secara signifikan, sehingga perlu dihilangkan. *Simplify* model geometri dapat dilakukan pada model geometri alat tanpa mempengaruhi desain awal yang ditampilkan di ruang kerja *design*. Berikut adalah hasil dari *simplify* model geometri untuk simulasi.



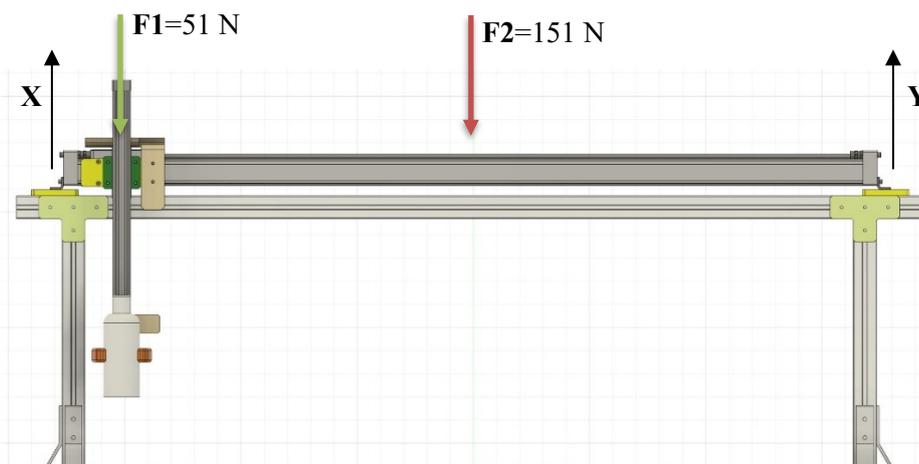
Gambar 4. Model Geometri Setelah *Simplify*

Tabel 1. Deskripsi Komponen Hasil *Simplify* Geometri

No.	Components Description
1	Bracket Rodless Cylinder X Axis to Aluminium Profile X Axis
2	Aluminium Profile X Axis
3	Reinforce Aluminium Profile
4	Aluminium Profile Z Axis
5	Angle Foot Extruded

Tahap Pemberian Beban (*Loads*)

Tahap pemberian beban (*loads*) untuk mengetahui beban yang bekerja pada rangka mesin baik saat posisi *rodless cylinder Z* berada di posisi awal, tengah, dan akhir. Beban *rodless cylinder Z* dapat diilustrasikan sebagai F_1 dan beban *rodless cylinder X* dapat diilustrasikan sebagai F_2 . Gaya yang diterima pada rangka geometri mesin dapat diilustrasikan sebagai X dan Y yang dapat dilihat pada gambar dibawah (N. Gokhale, S. Despande, 2008):



Gambar 5. Ilustrasi Beban Konstruksi

Untuk beban F_1 (51 N) didapat dari total keseluruhan berat komponen pada *rodless cylinder axis Z* beserta *bracket* sambungan ke *rodless cylinder axis X*. Beban F_2 (151 N) didapat dari total berat dari *rodless cylinder axis X* dan diasumsikan sebagai beban merata pada *axis X*.

Rumus Momen Gaya

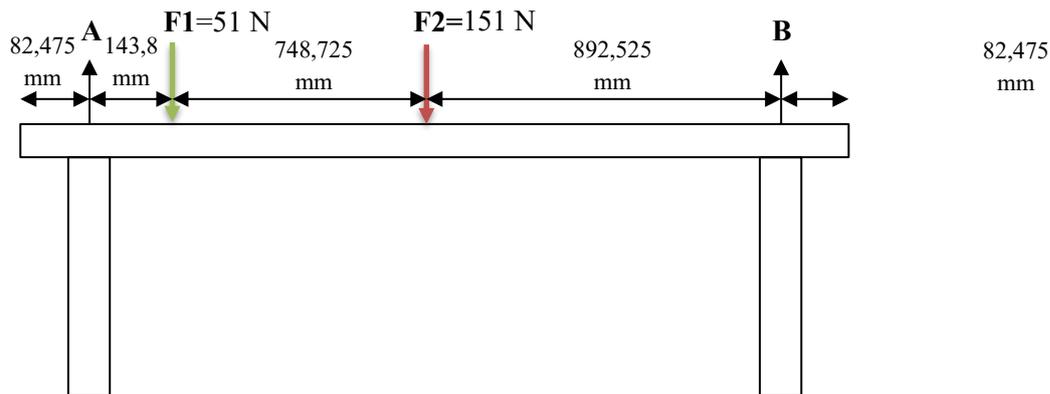
$$\sum \tau = F \cdot r$$

Keterangan:

τ = Momen gaya (N.mm)

F = Vektor gaya (N)

r = Jarak vektor (mm)

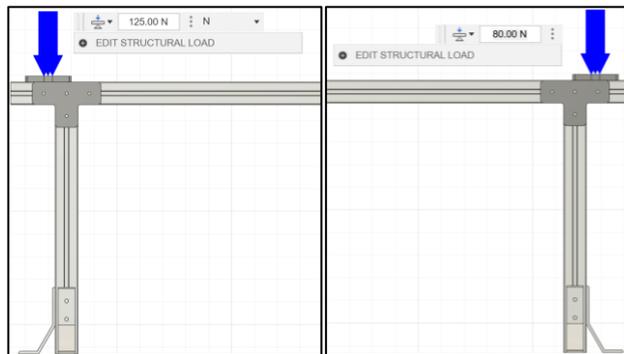


Gambar 6. Gaya yang Bekerja Pada Konstruksi Saat *Rodless Cylinder Axis Z* Berada di Posisi Awal

Berikut perhitungan gaya yang berkerja pada rangka mesin saat *rodless cylinder Z* berada di posisi awal:

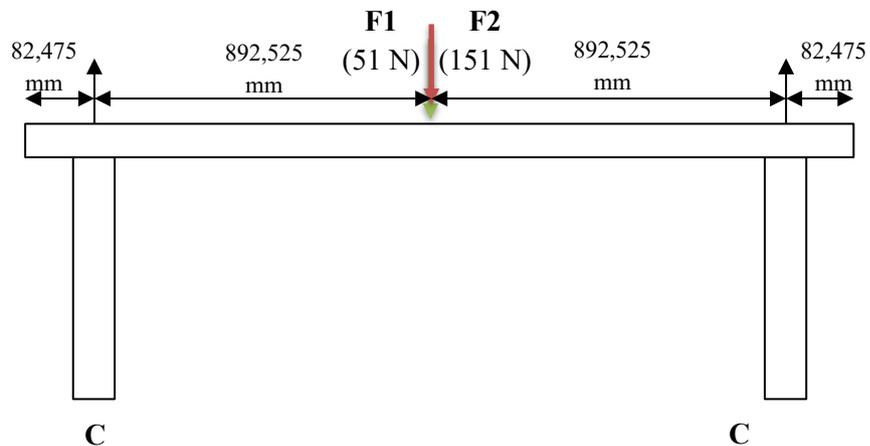
$$\begin{aligned} \sum \tau_a &= F \cdot r \\ 0 &= 151 \text{ N} \times 892,525 \text{ mm} + 51 \text{ N} \times 1.641,25 \text{ mm} - A \times 1,785,05 \text{ mm} \\ 1.785,05 \text{ mm} \cdot A &= 134.771,275 \text{ N} \cdot \text{mm} + 83.703,75 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ A &= \frac{218.475,025 \text{ N} \cdot \text{mm}}{1,785,05 \text{ mm}} \\ A &= 122,39 \text{ N} \approx 122 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum \tau_b &= F \cdot r \\ 0 &= 151 \text{ N} \times 892,525 \text{ mm} + 51 \text{ N} \times 143,8 \text{ mm} - B \times 1,785,05 \text{ mm} \\ 1.785,05 B &= 134.771,275 \text{ N} \cdot \text{mm} + 7.333,8 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ B &= \frac{142.105,075 \text{ N} \cdot \text{mm}}{1,785,05 \text{ mm}} \\ B &= 79,6 \text{ N} \approx 80 \text{ N} \end{aligned}$$



Gambar 7. Beban yang Bekerja Saat *Rodless Cylinder Axis Z* Berada di Posisi Awal

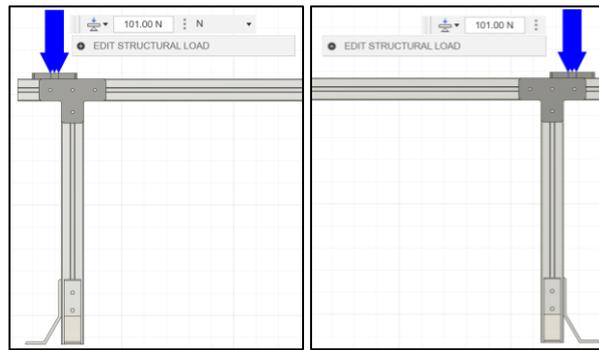
Untuk gaya yang bekerja pada rangka mesin saat *rodless cylinder Z* berada di posisi akhir dianggap sama dengan gaya yang berkerja saat *rodless cylinder Z* berada di posisi awal, hanya bertukar posisi antara Gaya A dan B.



Gambar 7. Gaya yang Bekerja Pada Konstruksi Saat *Rodless Cylinder Z* Berada Di Posisi Tengah

Berikut perhitungan gaya yang berkerja pada rangka mesin saat *rodless cylinder Z* berada di posisi tengah:

$$\begin{aligned} \sum \tau_c &= F \cdot r \\ 0 &= 151 \text{ N} \times 892,525 \text{ mm} + 51 \text{ N} \times 892,525 \text{ mm} - C \times 1,785,05 \text{ mm} \\ 1,785,05 \text{ mm} \cdot C &= 134,771,275 \text{ N} \cdot \text{mm} + 45,518,775 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ C &= \frac{180,290,05 \text{ N} \cdot \text{mm}}{1,785,05 \text{ mm}} \\ C &= 101 \text{ N} \end{aligned}$$

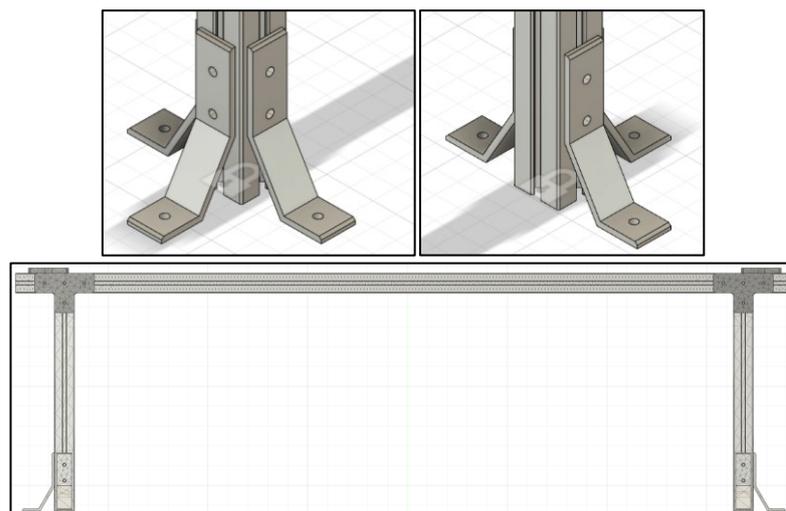


Gambar 8. Beban yang Bekerja Saat *Rodless Cylinder Z* Berada di Posisi Tengah

Tahap Pemberian *Constraints & Meshing*

Tahap *constraints* dalam simulasi Fusion 360, diterapkan pada model untuk mencegah model bergerak sebagai respons terhadap beban yang diberikan. Beban dan *constraint* sering kali menggantikan bagian model yang tidak diperhatikan dan tidak perlu dimodelkan.

Pada tahap *meshing*, menggunakan pengaturan mesh yaitu general mesh karena waktu iterasi. Berikut adalah pengaturan *meshing* dan hasil *meshing* pada rangka mesin:



Gambar 9. *Constraints & Meshing* Pada Rangka Mesin

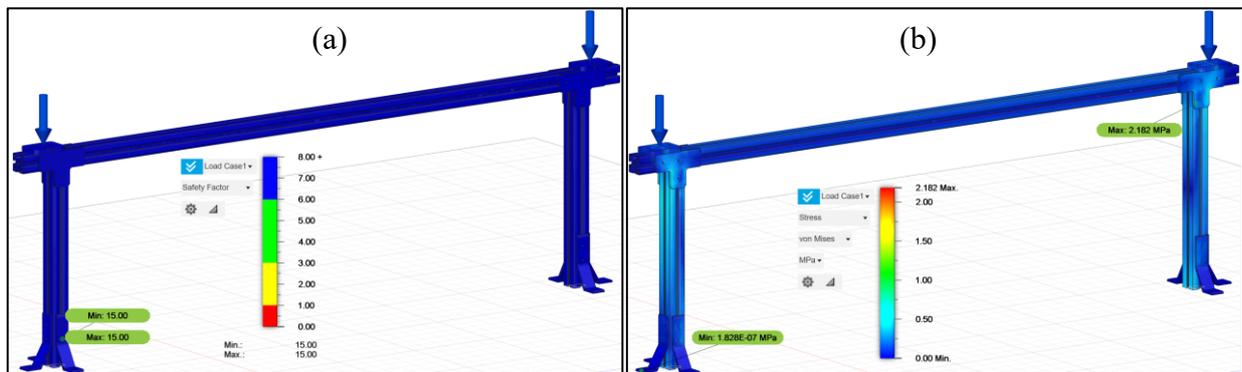
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi perhitungan terbagi menjadi empat bagian yaitu: *safety factor*, (*von mises*) *stress*, *displacement* dan *strain*. Hasil simulasi dilakukan pada rangka mesin dengan dua kondisi yaitu, saat *rodless cylinder axis Z* berada di posisi awal (gaya yang bekerja pada *rodless cylinder axis Z* berada di posisi akhir sama dengan saat berada di posisi awal sehingga hanya dilakukan simulasi satu kali pada Fusion 360 dan saat *rodless cylinder axis Z* berada di posisi tengah.

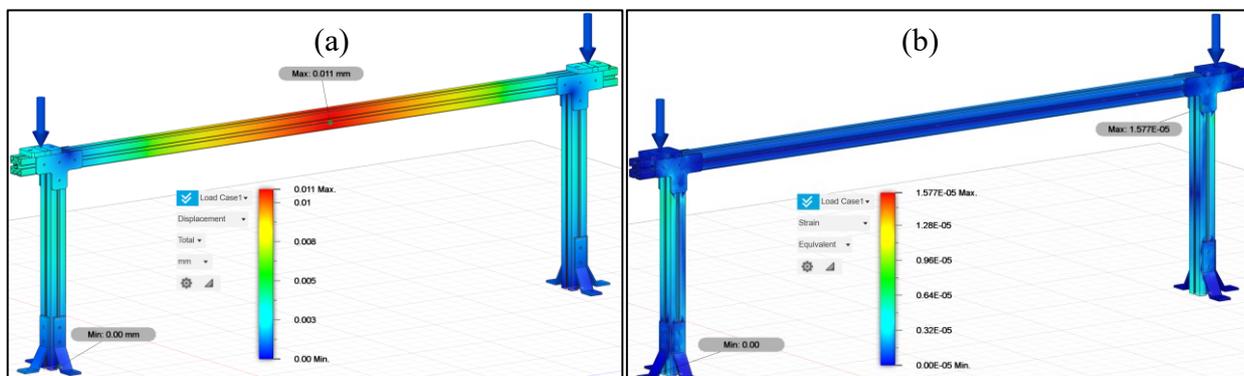
$$FOS = \frac{\delta_y}{\delta_a}$$

Desain struktur harus memberikan keamanan yang memadai sesuai dengan kondisi kerja yang diterima. Karena *yield strength* dari aluminium *profile* yaitu 110 Mpa dan *mild steel* yaitu 207 Mpa dan faktor keamanan yang ditetapkan adalah 2, maka tegangan maksimum yang diijinkan

pada konstruksi adalah 55 Mpa untuk aluminium *profile* dan 103,5 Mpa untuk *mild steel*. Berikut adalah hasil simulasi rangka mesin saat *rodless cylinder axis Z* berada di posisi tengah rangka:

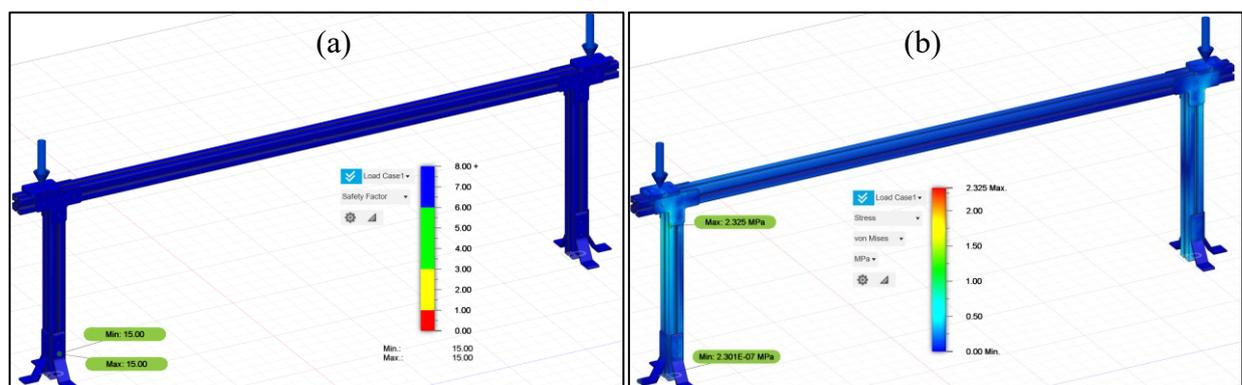


Gambar 10. Hasil Simulasi *Safety Factor* (a) & *Stress* (b) *Rodless Cylinder* di Posisi Tengah

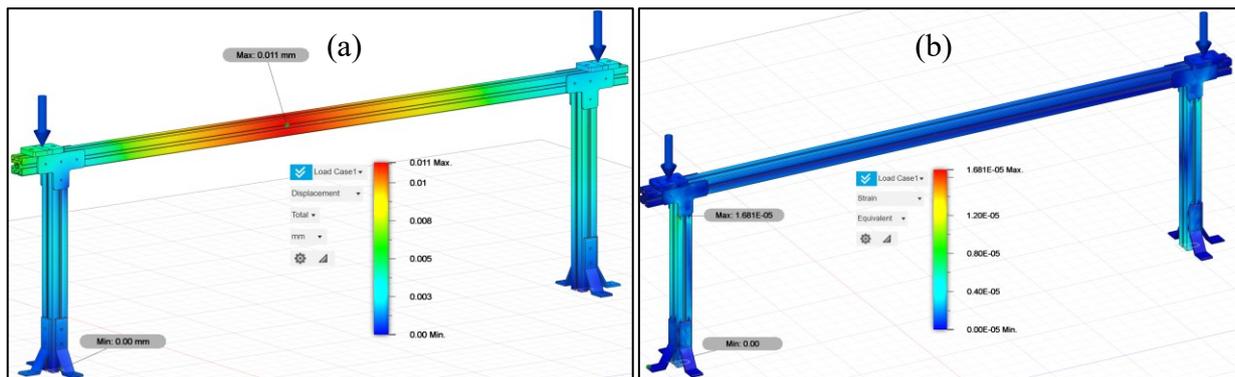


Gambar 11. Hasil Simulasi *Displacement* (a) & *Strain* (b) *Rodless Cylinder* di Posisi Tengah

Berdasarkan hasil simulasi, dapat disimpulkan rangka atas mesin mampu menahan beban tekan 101 N dikedua sisi saat *rodless cylinder axis Z* berada di posisi tengah dengan *safety factor max* diangka 8. Hasil simulasi *displacement* yaitu dapat terjadi *displacement* pada rangka tengah dengan pergeseran *maximal* 0,01 mm. Hasil simulasi *strain* yaitu terjadi max strain pada rangka kiri dengan angka max 1,577E-05. Berdasarkan hasil simulasi *stress* yaitu tegangan *von mises stress* maksimum terjadi pada konstruksi rangka adalah 2,182 Mpa yang jauh lebih rendah dari tegangan maksimum yang diijinkan sehingga desain rangka mesin aman. Berikut adalah hasil simulasi rangka mesin saat *rodless cylinder axis Z* berada di posisi awal dan akhir rangka:



Gambar 12. Hasil Simulasi *Safety Factor* (a) & *Stress* (b) *Rodless Cylinder Z* di Posisi Awal



Gambar 13. Hasil Simulasi *Displacement* (a) & *Strain* (b) *Rodless Cylinder Z* di Posisi Awal

Berdasarkan hasil simulasi, dapat disimpulkan rangka atas mesin mampu menahan beban tekan 122 N dan 80 N saat *rodless cylinder axis Z* berada di posisi awal dan akhir dengan *safety factor max* diangka 8. Hasil simulasi *displacement* yaitu dapat terjadi *displacement* pada rangka tengah dengan pergeseran *maximal* 0,011 mm. Hasil simulasi *strain* yaitu terjadi *max strain* pada rangka kiri dengan angka *max* 1,681E-05, *von mises stress max* pada konstruksi adalah 2,325 Mpa yang jauh lebih rendah dari tegangan maksimum yang diijinkan sehingga desain rangka mesin aman.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa rangka bagian atas mesin dengan material yang sudah ditentukan mampu menahan beban tekan 122 N dan 80 N saat *rodless cylinder axis Z* berada di posisi awal dan akhir dengan *safety factor max* diangka 8, hasil simulasi *displacement*, yaitu dapat terjadi *displacement* pada rangka tengah dengan pergeseran *maximal* 0,011 mm, hasil simulasi *strain*, yaitu terjadi *max strain* pada rangka kiri dengan angka *max* 1,681E-05. Saat *rodless cylinder axis Z* berada di posisi tengah dengan *safety factor max* diangka 8, hasil simulasi *displacement*, yaitu dapat terjadi *displacement* pada rangka tengah dengan pergeseran *maximal* 0,01 mm, hasil simulasi *strain* yaitu terjadi *max strain* pada rangka kiri dengan angka *max* 1,577E-05. Dengan tegangan ijin aluminium *profile* 55 Mpa dan *mild steel* adalah 103,5 Mpa serta tegangan maksimum *von mises* (beban tekan kerja) yang terjadi pada *rodless cylinder Z* saat di posisi tengah adalah 2,085 Mpa dan pada saat *rodless cylinder* di posisi awal dan akhir adalah 2,238 Mpa. Berarti dapat disimpulkan bahwa material yang digunakan, yaitu aluminium 6061 pada aluminium *profile* dan *angle foot extruded* serta material *mild steel* pada *reinforce aluminium profile* dan *bracket rodless cylinder X* cukup kuat untuk struktur rangka mesin dalam keadaan *static*. Kekurangan pada penelitian ini adalah pada tahap *contact* setiap komponen saat simulasi diasumsikan memiliki *contact bonded* sehingga memberikan penurunan akurasi pada hasil simulasi, seharusnya mamakai *contact sliding/no separation*.

Ucapan Terima Kasih

Proses penyusunan jurnal penelitian ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak, Maka dari itu, penulis secara khusus mengucapkan terima kasih kepada: Bapak Ir. Agus Halim, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama skripsi. Bapak Prof. Dr. Ir. Agustinus Purna Irawan, I.P.U., ASEAN Eng. Selaku Rektor Universitas Tarumanagara dan dosen pembimbing pendamping skripsi. Rekan seperjuangan skripsi dengan peminatan perancangan dan otomasi dari Teknik Mesin Universitas Tarumanagara Angkatan 2020, Robin Averil, Satrio Tauladan, William Dae Panie, Bright Levin Tolukun, Yulius Tanuwijaya yang saling mendukung dalam jurnal penelitian ini.

REFERENSI

- A. A. Kharisma and D. M. Yanuar, "Simulasi Kekuatan Rangka *Gantry Crane Single Girder* Menggunakan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Analysis*)," *J. Ilm. Teknol. dan Rekayasa*, vol. 28, no. 2, pp. 146–158, 2023, doi: 10.35760/tr.2023.v28i2.4606.
- A. Halim and K. Raynaldo, "*Design Optimization of C-frame Construction for Automation Industrial Press Mechanism at PT. Matahari Megah Using FEA*," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2680, no. 1, 2023, doi: 10.1063/5.0127124.
- Brown, A., & Jones, B. (2020). "Finite Element Analysis of Pneumatic Systems: Current Trends and Future Directions." *International Journal of Mechanical Engineering*, 35(2), 110-125.
- Johnson, M., et al. (2021). "*Finite Element Analysis of Pneumatic Components for Enhanced System Reliability*." *Journal of Mechanical Systems and Control*, 30(2), 75-89.
- N. Gokhale, S. Despande, and an Thite, *Practical finite element analysis - Boundary Conditions and Loads*. Maharashtra: Finite To Infinite, 2008.
- N. Gokhale, S. Despande, and an Thite, *Practical finite element analysis - Boundary Conditions and Loads*. Maharashtra: Finite To Infinite, 2008.
- R. S. Khurmi and J. K. Gupta, *A Textbook of Machine Design* (S.I. Units). 2005.
- Reddy, J. N. (2017). "An Introduction to the Finite Element Method." McGraw-Hill Education.
- Sanjaya, D. D., Sujiatanti, S. H., & Yulianto, T. (2017). Analisa kekuatan konstruksi wing tank kapal tanker menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), G277-G281.
- Tjong, W. F. (2021). Pengantar Metode Elemen Hingga untuk Analisis Struktur-Teori, Perumusan, Implementasi Komputer, dan Aplikasi. Pengantar Metode Elemen Hingga untuk Analisis Struktur-Teori, Perumusan, Implementasi Komputer, dan Aplikasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan