

Analisis Perancangan Rangka Penyangga Mesin Injeksi Molding Plastik Vertikal Pneumatik dengan Pendekatan Metode Elemen Hingga

Diki Bagus Pamungkas^{1,*}, I Komang Astana Widi¹

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

Kata kunci

Structural Steel
Distribusi Tegangan
Elemen Hingga
Autodesk Inventor
ANSYS

ABSTRAK

Analisis perancangan rangka penyangga mesin injeksi molding plastik vertikal pneumatik dengan menggunakan pendekatan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/FEM*). Studi dilakukan dengan simulasi menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor 2025 untuk desain 3D dan ANSYS 2020 R2 untuk analisis struktur statik. Variasi diameter rangka penyangga diuji mulai dari asdrat 6 hingga 10 mm dan pipa poros 23 hingga 27 mm dengan beban statis aktual sebesar 662 N. Parameter yang dianalisis meliputi distribusi tegangan *von mises stress*, *deformation*, dan *safety factor* menggunakan material *structural steel* dengan *yield strength* 250 MPa. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semua variasi diameter mampu menahan beban dengan tegangan di bawah batas luluh material dan deformasi kurang dari 1 mm. Diameter penyangga 8 mm dan pipa poros 25 mm terbukti paling optimal, mengkombinasikan kekuatan, efisiensi material, dan faktor keamanan dengan nilai *safety factor* minimum sebesar 4,5 yang masih dalam batas aman. Pemilihan diameter ini juga dapat mengurangi bobot rangka hingga 15% dibandingkan diameter yang lebih besar. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan desain rangka mesin injeksi molding yang aman, efisien, dan ekonomis.

* Corresponding author:

Diki Bagus Pamungkas (email: yuzakihoshizora@gmail.com)

Diterima: 16 Agustus 2025

Disetujui: 11 Februari 2026

Dipublikasikan: 31 Maret 2026

1 Pendahuluan

Perancangan rangka penyangga mesin injeksi molding plastik vertikal pneumatik dengan menggunakan pendekatan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) [3]. Injeksi molding adalah metode manufaktur yang umum digunakan untuk memproduksi berbagai produk plastik dengan berbagai ukuran, yang sangat penting dalam proses daur ulang dan produksi plastik bernilai tambah. Rangka penyangga mesin injeksi molding berperan krusial dalam memastikan kekuatan, keamanan, dan efisiensi operasional mesin, khususnya dalam menahan beban sistem pneumatik yang bekerja selama proses injeksi. Permasalahan yang muncul adalah bagaimana mendesain rangka yang kuat namun hemat material agar dapat menahan beban statis aktual tanpa mengalami deformasi berlebih atau kegagalan struktur.

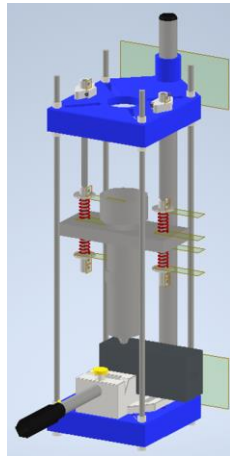
Simulasi berbasis *FEM* menjadi solusi penting dalam merancang dan menguji performa struktur rangka secara akurat tanpa harus membuat prototipe fisik terlebih dahulu. Studi terdahulu menunjukkan bahwa simulasi *FEM* dapat memberikan gambaran distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan dengan presisi tinggi sehingga memungkinkan optimalisasi desain sebelum produksi [6]. Dalam penelitian ini, Autodesk Inventor digunakan untuk pembuatan model 3D [2], dan ANSYS 2020 R2 untuk analisis struktur statik dengan fokus pada distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan pada rangka penyangga menggunakan material *structural steel* [1] dan [5]. Variasi diameter rangka diuji untuk menentukan dimensi yang paling optimal dan efisien.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan performa struktural rangka penyangga dengan variasi diameter tertentu terhadap beban statis aktual, serta menentukan desain yang terbaik dari segi kekuatan, keselamatan, dan efisiensi material. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan

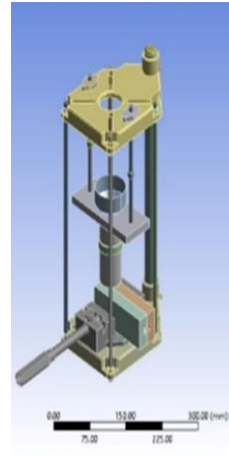
rekomendasi desain rangka mesin injeksi molding yang aman dan ekonomis untuk digunakan dalam industri manufaktur plastik vertikal pneumatik. Penelitian ini juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan pengetahuan tentang aplikasi metode elemen hingga dalam evaluasi struktural dan optimasi desain mesin.

2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi berbasis Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/FEM*) [3] untuk menganalisis perancangan rangka penyangga mesin injeksi molding plastik vertikal pneumatik. Rancangan kegiatan dimulai dengan pembuatan model 3D rangka penyangga menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor 2025 [2] yang memungkinkan pembuatan desain parametrik sesuai spesifikasi teknis. Model kemudian diimpor ke dalam ANSYS 2020 R2 [1] untuk melakukan analisis struktural statis dengan penerapan beban statis aktual sebesar 662 N.



Gambar 1 Model 3D rangka penyangga mesin



Gambar 2 *Convert* model 3D rangka penyangga mesin

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *structural steel* dengan *yield strength* sebesar 250 MPa [5] dan dimensi rangka berupa pipa dengan variasi diameter asdrat 6, 7, 8, 9, dan 10 mm serta pipa poros 23, 24, 25, 26, dan 27 mm. Pemilihan dimensi ini didasarkan pada standar diameter pipa ISO 65.7 tahun 2020. Komponen utama mesin injeksi yang menjadi objek simulasi meliputi rangka alas, plat pemanas, poros linear, serta silinder pneumatik yang memberikan beban kerja. Alat simulasi utama adalah perangkat lunak Autodesk Inventor 2025 [2] untuk desain mekanik dan ANSYS 2020 R2 [1] untuk analisis metode elemen hingga.

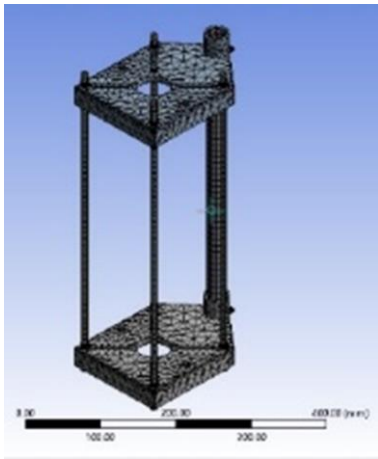


Gambar 3 Perangkat lunak Autodesk Inventor 2025

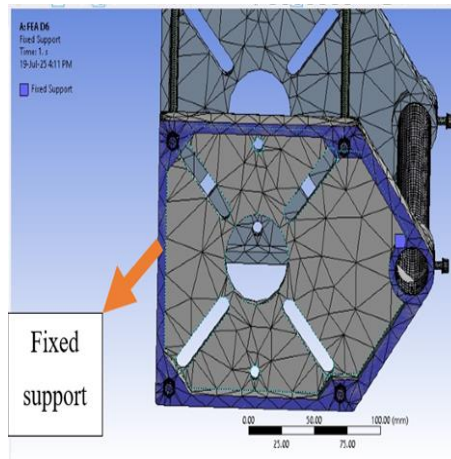


Gambar 4 Perangkat lunak ANSYS 2020 R2

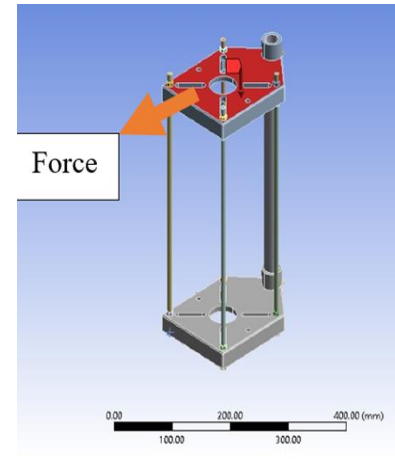
Teknik pengumpulan data dilakukan secara simulatif dengan beberapa tahap. Pertama, model 3D dibuat dengan parametrik sesuai dimensi rangka dan komponen terkait. Selanjutnya, model diolah dalam ANSYS dengan proses *pre-processing* meliputi import *geometry*, pembuatan *mesh* dengan elemen berukuran 10 mm secara detail, serta penentuan kondisi batas (*fixed support*) dan aplikasi beban pada titik beban yang relevan. [1] dan [3] Simulasi dilakukan dalam mode *static structural* [1] untuk mendapatkan nilai distribusi tegangan,, deformasi, dan faktor keamanan.



Gambar 5 Hasil Mesh



Gambar 6 Daerah titik tumpu



Gambar 7 Daerah terkena gaya

Prosedur penelitian meliputi langkah-langkah sebagai berikut: (1) mendefinisikan geometri dan variasi diameter rangka penyangga, (2) memasukkan data sifat material *structural steel* ke dalam perangkat lunak, (3) melakukan *mesh* pada geometrik dengan menyesuaikan ukuran serta melakukan refinemen pada area kritis, (4) menetapkan kondisi tumpuan tetap (*fixed support*) dan lokasi titik beban statis dengan nilai gaya aktual 662 N, (5) menjalankan simulasi perhitungan numerik untuk memperoleh hasil tegangan *von mises stress*, *deformation*, dan *safety factor*, dan (6) mengumpulkan hasil simulasi untuk dianalisis dan dibandingkan antar variasi diameter.

Analisis data menggunakan metode kuantitatif dengan mengolah hasil simulasi berupa tegangan *von mises*, *deformation*, serta *safety factor*. Parameter keselamatan struktur dipastikan memenuhi standar dengan *safety factor* minimum 1.25 hingga 4.5 sesuai referensi teknik desain [7]. Perbandingan hasil dilakukan untuk menentukan diameter rangka yang optimal dari segi kekuatan, keamanan, deformasi minim, dan efisiensi material. Validasi hasil eksperimen tidak dilakukan mengingat keterbatasan akses, sehingga hasil penelitian bersifat prediktif dengan rekomendasi uji lanjutan secara eksperimental [3].

Table 1 Faktor keamanan berdasarkan tegangan luluh

No	Nilai <i>Safety Factor</i>	Kondisi
1	1.25 - 1.5	Beban terkontrol, tegangan, sudah ditentukan dan bekerja dengan pasti.
2	1.5 - 2.0	Material sudah diketahui, kondisi lingkungan beban dan dapat ditentukan dengan mudah.
3	2.0 - 2.5	Material yang digunakan beroperasi secara rata-rata dengan batasan beban diketahui.
4	2.5 - 3.0	Material diketahui meskipun tanpa mengalami ujian, kondisi beban dan tegangan bekerja secara rata-rata.
5	3.0 - 4.5	Material sudah diketahui, kondisi beban, tegangan dan lingkungan sangat tidak pasti.

Rumus nilai *von mises stress* yang digunakan dalam analisis adalah sebagai berikut:

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

di mana σ_1 , σ_2 , σ_3 adalah tegangan utama pada arah x, y, dan z. *Safety Factor* dihitung dengan rumus:

$$S_F = \frac{S_t Y_N / (K_T K_R)}{\sigma} = \frac{\text{Fully corrected bending strength}}{\text{bending stress}} \quad (2)$$

dengan σ_y adalah *yield strength* material dan σ_{max} adalah tegangan maksimum yang terjadi pada struktur.

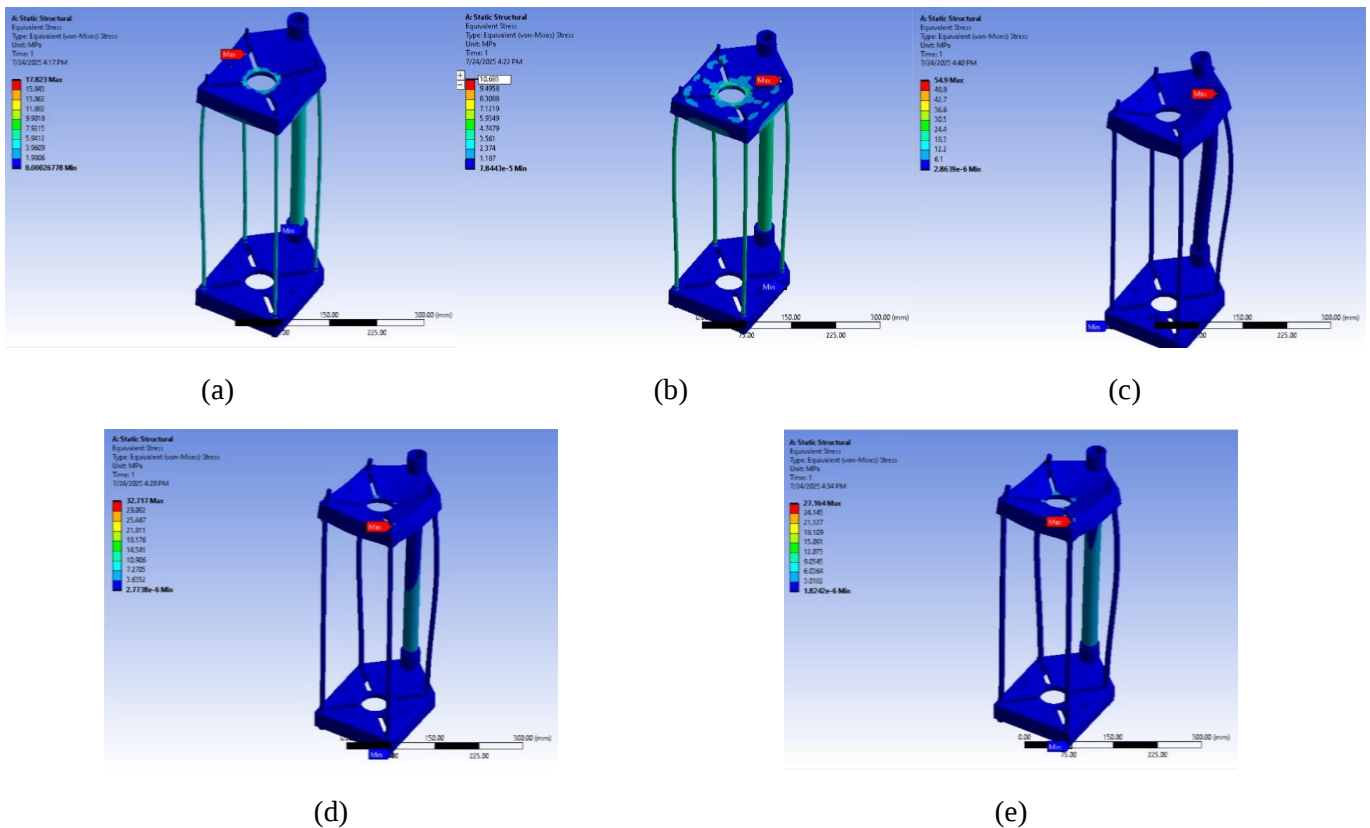
3 Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian ini mengkaji performa struktural rangka penyangga mesin injeksi molding plastik vertikal pneumatik menggunakan material *structural steel* dengan variasi diameter asdrat 6, 7, 8, 9, dan 10 mm serta pipa poros 23, 24, 25, 26, dan 27 mm. Simulasi dilakukan dengan metode elemen hingga (FEM) [3] melalui perangkat lunak ANSYS 2020 R2 [1] dengan penerapan beban statis aktual sebesar 662 N.

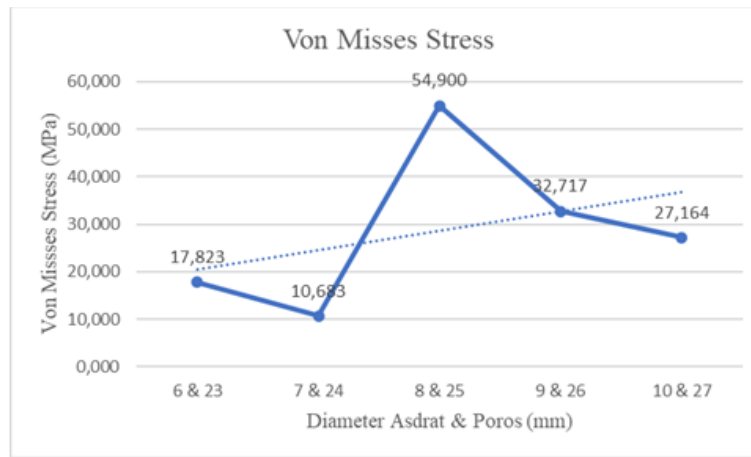
Table 2 Hasil simulasi rangka penyangga mesin

No.	Diameter (mm)	Force (N)	Von Mises Stress (MPa)	Hasil Analisis Deformation (mm)	Safety Factor
1	6 & 23	662	17.823	0.017258	14.027
2	7 & 24	662	10.683	0.013801	15
3	8 & 25	662	54.9	0.0056917	4.5538
4	9 & 26	662	32.717	0.0082791	7.6412
5	10 & 27	662	27.164	0.0074572	9.2035

3.1 Von Mises Stress



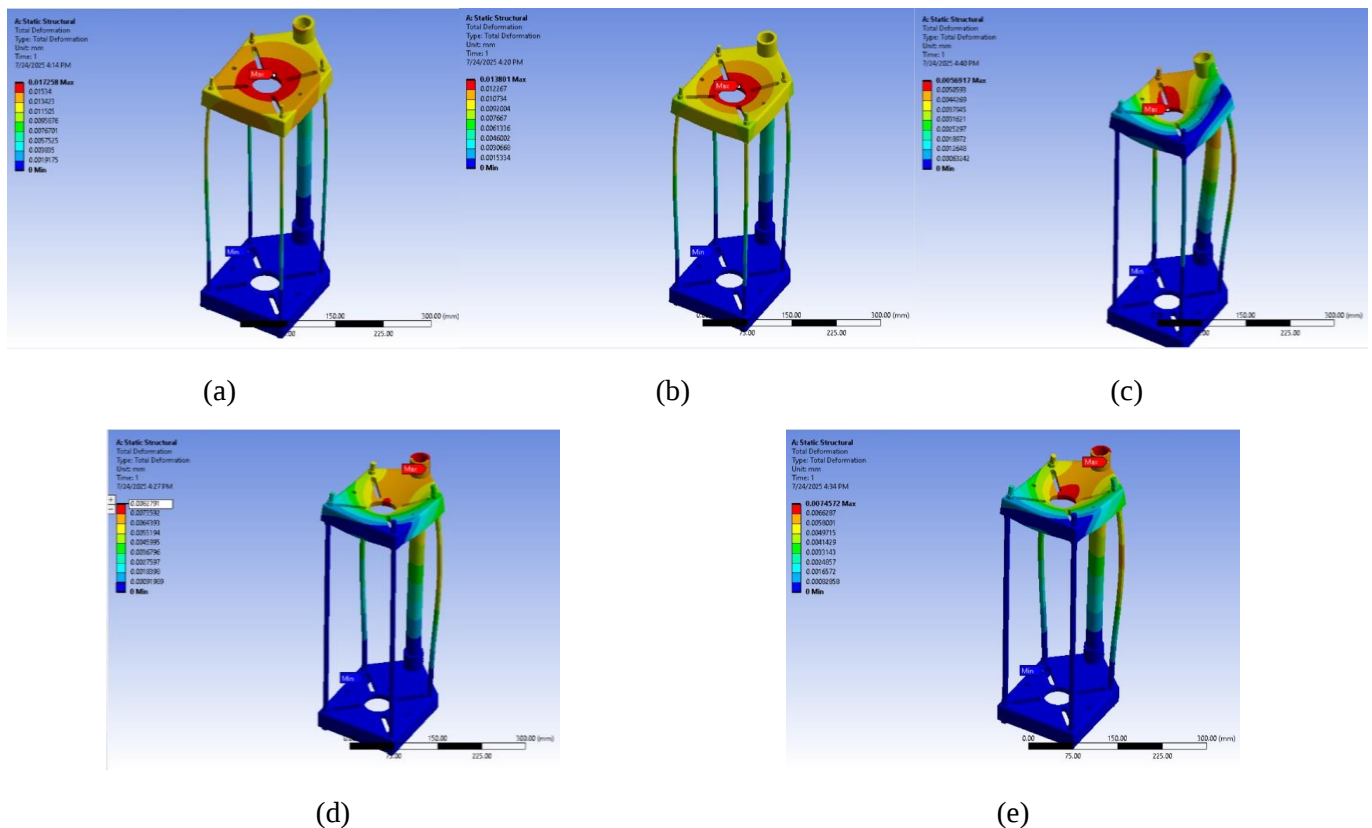
Gambar 8 Hasil simulasi *Von Mises Stress* (a) diameter 6 & 23 mm, (b) diameter 7 & 24 mm, (c) diameter 8 & 25 mm, (d) diameter 9 & 26 mm, dan (e) diameter 10 & 27 mm



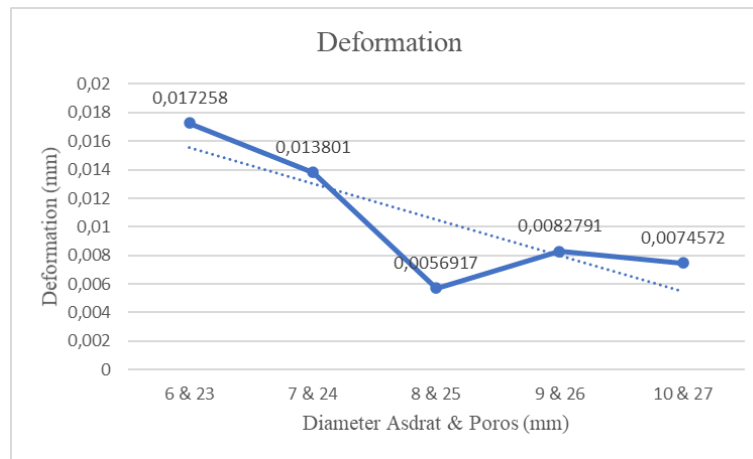
Gambar 9 Von Mises Stress pada rangka penyangga mesin

Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai tegangan *Von Mises Stress* maksimal pada semua variasi diameter signifikan jauh berada di bawah batas *yield strength* material yaitu 250 MPa [5] dan kombinasi yang diidentifikasi sebagai paling optimal, yaitu diameter 8 & 25 mm, mengalami tegangan sebesar 54,9 MPa. Diameter 8 & 25 mm dipilih untuk rangka mesin injeksi molding karena memberikan tegangan *Von Mises Stress* 21,96% dari batas luluh (250 MPa), sehingga desain aman dan efisien. Dibandingkan diameter yang lebih kecil dari (8 & 25 mm) kurang kuat dan diameter yang lebih besar dari (8 & 25 mm) hanya menambah berat serta biaya tanpa manfaat signifikan. Dengan demikian, diameter ini menjadi kompromi terbaik antara kekuatan, efisiensi material, dan biaya produksi sesuai prinsip desain teknik.

3.2 Deformation



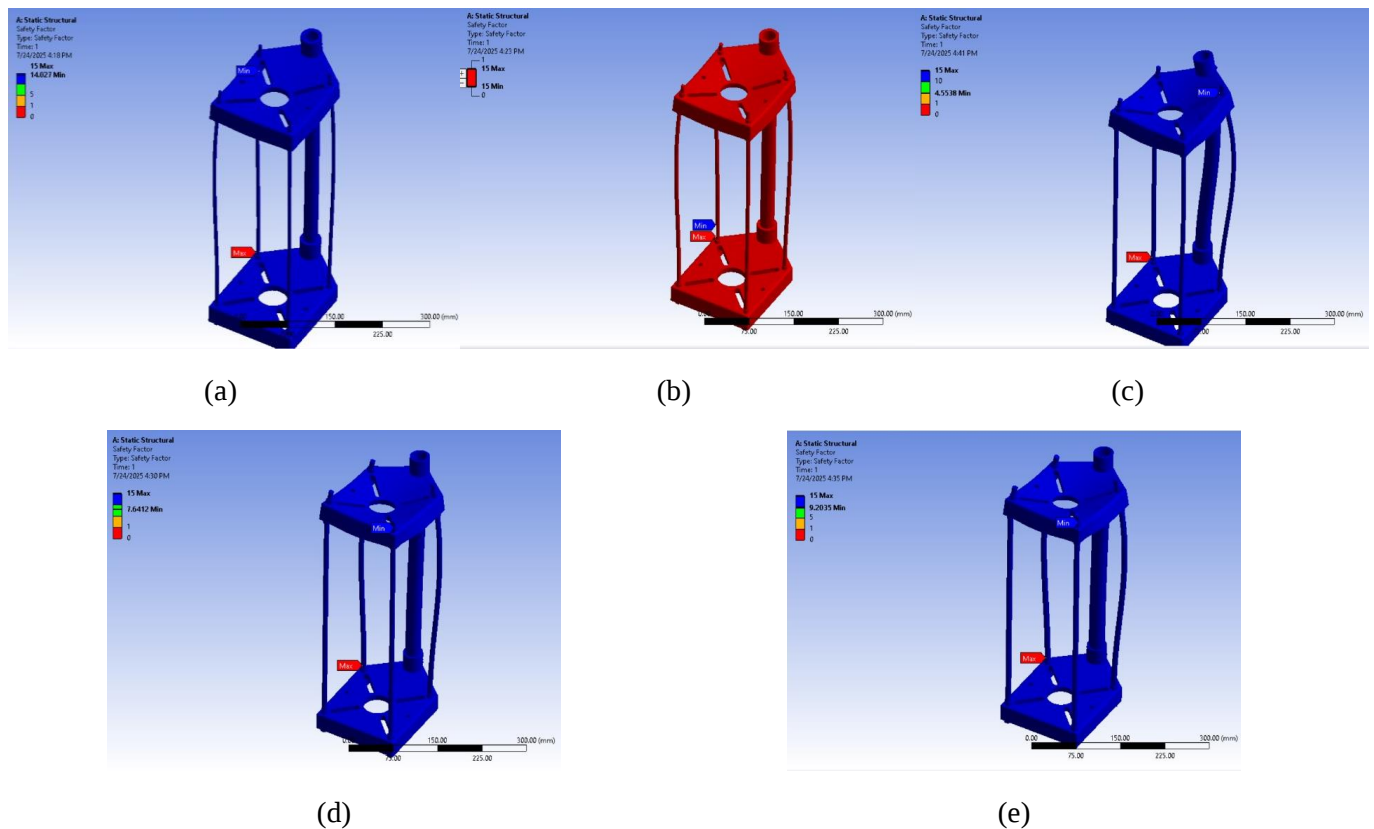
Gambar 10 Hasil simulasi *Deformation* (a) diameter 6 & 23 mm, (b) diameter 7 & 24 mm, (c) diameter 8 & 25 mm, (d) diameter 9 & 26 mm, dan (e) diameter 10 & 27 mm



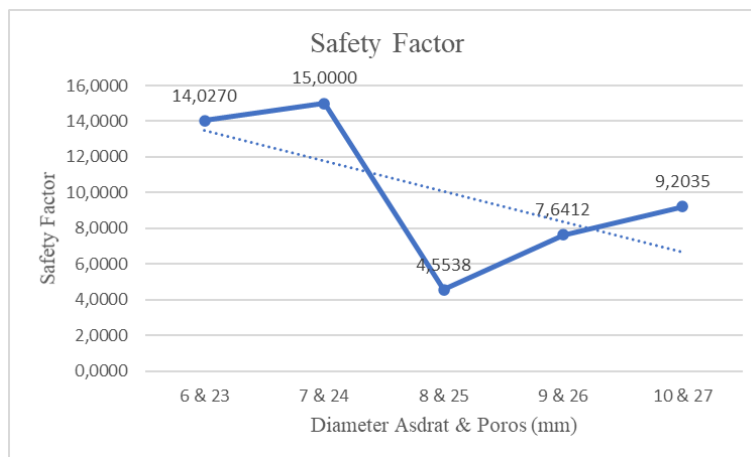
Gambar 11 *Deformation* pada rangka penyangga mesin

Deformasi maksimum yang dialami rangka penyangga pada semua diameter masih jauh di bawah batas toleransi deformasi maksimum 1 mm yang umumnya diterima untuk menjaga stabilitas serta presisi perakitan mesin [5]. Hal ini menandakan struktur rangka memiliki kekakuan yang cukup untuk menahan beban operasional tanpa menimbulkan kerusakan mekanik atau kegagalan fungsi. Pemilihan diameter (8 dan 25 mm) untuk rangka penyangga mesin injeksi molding karena menghasilkan deformasi paling rendah dibandingkan diameter yang lain, dengan deformasi relatif yang jauh lebih kecil, yaitu sekitar 2 sampai 3 kali lebih rendah. Dengan nilai *deformation* yang rendah tersebut, pilihan diameter ini tidak hanya menjamin keamanan dan kekuatan rangka, tetapi juga berkontribusi pada peningkatan masa pakai dan kinerja mesin secara keseluruhan dibandingkan opsi diameter lainnya.

3.3 Safety Factor



Gambar 12 Hasil simulasi *Safety Factor* (a) diameter 6 & 23 mm, (b) diameter 7 & 24 mm, (c) diameter 8 & 25 mm, (d) diameter 9 & 26 mm, dan (e) diameter 10 & 27 mm



Gambar 13 *Safety Factor* pada rangka penyangga mesin

Analisis *safety factor* sebagai perbandingan antara *yield strength* dengan tegangan maksimum menunjukkan bahwa keseluruhan variasi diameter memberikan nilai *safety factor* yang sangat aman [7]. Diameter (8 & 25 mm) menghasilkan *safety factor* sekitar 4,5538, yang berada pada batas efisiensi optimal dan mendekati standar teknik Vidosic (1957) *safety factor* antara 1,25 sampai 4,5 [7]. Meski pilihan diameter lain memiliki nilai *safety factor* lebih tinggi, hal tersebut justru menyebabkan pemborosan material dan biaya karena struktur menjadi berlebihan dan tidak efisien. Pilihan ini meminimalkan biaya dan berat rangka tanpa mengorbankan *safety factor* yang penting dalam desain struktur mesin, menjadikannya solusi yang praktis dan ekonomis dalam pemilihan diameter untuk rangka penyangga mesin injeksi molding.

4 Kesimpulan

Melalui penelitian ini diameter rangka penyangga asdrat 8 mm dan pipa poros 25 mm terbukti optimal dalam menahan beban statis aktual sebesar 662 N dengan deformasi maksimal 0.0056917 mm yang kurang dari 1 mm dan nilai minimum *safety factor* sebesar 4.5538 yang masih dalam rentang aman menurut standar vidosic, yaitu antara 1.25 hingga 4.5, serta mampu mengurangi bobot rangka hingga 15% dibandingkan dengan diameter rangka penyangga (10 dan 27 mm). Semua variasi diameter penyangga memenuhi batas aman titik luluh di bawah 250 MPa, namun deformasi maksimum untuk diameter penyangga (6 & 23 dan 7 & 24 mm) cenderung lebih besar dibandingkan dengan diameter penyangga yang lainnya.

5 Referensi

- [1] ANSYS Inc. (2020). ANSYS Mechanical User's Guide Release 2020 R2. ANSYS Inc.
- [2] Autodesk Inc. (2025). Autodesk Inventor 2025 User Guide. Autodesk Inc.
- [3] Isworo, H. &. (2018). Metode Elemen Hingga. HMKB654.
- [4] Niall Moran. (1998). Computer Aided Engineering for Injection Mould Cooling System Design. Journal/Conference.
- [5] Richard, G. B., & Keith, J. N. (2020). Mechanical Engineering Design (11th Edition). McGraw-Hill Education. .
- [6] Rikard Johansson & Daniel Konijnendijk. (2007). Injection Moulding Simulation - A finite element approach to analyse the thermodynamics in an IM tool.
- [7] Vidosic, J. P. (1957). Machine Design Projects. Ronald press Co.