

Analisis Performa Struktural Material SAPH440 untuk Rangka Dandori Dies Mesin Press Industri

Ujiburrahman¹, Boni Sena¹, Mohamad Zaenudin²

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang

²Program Studi Teknik Mesin, Universitas Global Jakarta, Depok

*Koresponden email: ujiburrahman@ft.unsika.ac.id

Diterima: 22 April 2025

Disetujui: 30 April 2025

Abstract

In the sheet metal forming process within the automotive and heavy machinery industries, the Dandori frame component in the die system plays a crucial role as a compressive load-bearing support. This study aims to analyze the static performance of the Dandori frame structure in a press machine using SAPH440 material. The method employed is the Finite Element Method (FEM) based on SolidWorks software to evaluate displacement, von Mises stress, and the factor of safety parameters under load variations of 1000 kg and 2000 kg. Simulation results show that the maximum deformation is only 0.032 mm, indicating high structural stiffness. The maximum stress recorded is 14.286 MPa, uniformly distributed without excessive concentration, and well below the material's yield strength. Meanwhile, the factor of safety is evenly distributed with a value of 3 throughout the structure, indicating a safe design condition. Overall, the simulation results demonstrate that SAPH440 is a suitable and effective material for use in Dandori die frames under static load applications.

Keywords: SAPH440, static analysis, FEM, Dandori frame, press machine

Abstrak

Dalam proses pembentukan logam lembaran pada industri otomotif dan mesin berat, komponen rangka Dandori pada sistem dies memegang peran penting sebagai penyangga beban tekan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja statis struktur rangka Dandori mesin press dengan menggunakan material SAPH440. Metode yang digunakan adalah analisis elemen hingga (FEM) berbasis perangkat lunak SolidWorks untuk mengevaluasi parameter displacement, tegangan von Mises, dan faktor keamanan dengan variasi beban 1000 kg dan 2000 kg. Hasil simulasi menunjukkan bahwa deformasi maksimum hanya sebesar 0,032 mm, menandakan struktur memiliki kekakuan tinggi. Nilai tegangan maksimum tercatat 14,286 MPa dan tersebar merata tanpa konsentrasi berlebih, berada jauh di bawah batas leleh material. Sementara itu, distribusi faktor keamanan seragam dengan nilai 3 di seluruh struktur, menandakan bahwa desain telah berada dalam kondisi aman. Keseluruhan hasil simulasi menunjukkan bahwa SAPH440 merupakan material yang layak dan efektif digunakan pada rangka Dandori dies untuk aplikasi beban statis.

Kata Kunci: SAPH440, analisis statis, FEM, rangka Dandori, mesin press.

1. Pendahuluan

Industri manufaktur modern terus berkembang menuju efisiensi, ketepatan, dan kualitas tinggi dalam setiap tahapan proses produksi, terutama pada proses pembentukan logam lembaran (sheet metal forming) yang banyak digunakan di industri otomotif dan alat berat [1;2]. Salah satu elemen penting dalam proses ini adalah penggunaan dies, yaitu alat cetak yang bekerja dengan beban tekan tinggi untuk membentuk material sesuai dengan bentuk yang diinginkan [3;4]. Dalam sistem dies, terdapat komponen yang disebut sebagai rangka Dandori, yang berfungsi sebagai penyangga dan pengikat utama untuk semua komponen dies, serta menerima beban tekan dan getaran selama proses produksi berlangsung [5].

Kinerja rangka Dandori sangat menentukan kestabilan dan keandalan sistem dies secara keseluruhan. Jika desain dan pemilihan material tidak sesuai, maka struktur dapat mengalami deformasi berlebih, keretakan, bahkan kegagalan total yang dapat menyebabkan kerusakan alat dan membahayakan keselamatan kerja [6]. Oleh karena itu, pemilihan material yang tepat menjadi aspek kritis dalam proses perancangan rangka.

Salah satu material yang banyak digunakan untuk komponen struktural dalam industri otomotif adalah baja SAPH440. Material ini merupakan jenis baja hot-rolled high strength steel yang memiliki kombinasi antara kekuatan tarik tinggi dan formabilitas yang baik [7]. SAPH440 juga menunjukkan kemampuan deformasi plastis yang stabil serta ketahanan terhadap tekanan dan regangan tinggi,

menjadikannya kandidat kuat untuk aplikasi yang memerlukan daya tahan terhadap beban besar, seperti rangka Dandori [8;9].

Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan SAPH440 dalam struktur otomotif dan mesin industri. Misalnya, Zhang et al. (2021) melakukan analisis perilaku mekanik SAPH440 dalam struktur kendaraan, dan menemukan bahwa material ini mampu menahan deformasi pada beban statis maupun dinamis. Studi serupa oleh Chen et al. (2022) menunjukkan bahwa baja SAPH440 memiliki batas kelelahan yang baik pada struktur penahan beban. Selain itu, dalam studi oleh Lee et al. (2019), SAPH440 dipertimbangkan sebagai material pengganti baja karbon biasa untuk meningkatkan daya tahan struktur tanpa menambah berat berlebih.

Dalam perancangan struktur mekanik seperti rangka Dandori, diperlukan analisis numerik untuk mengevaluasi kekuatan struktur dan daya tahannya terhadap beban. Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah analisis statis menggunakan metode elemen hingga (FEM), yang dapat memprediksi displacement, tegangan (stress), dan safety factor pada setiap titik struktur [10; 11]. Parameter-parameter ini sangat penting dalam memastikan struktur bekerja dalam batas aman yang telah ditentukan berdasarkan standar seperti ASME atau DIN.

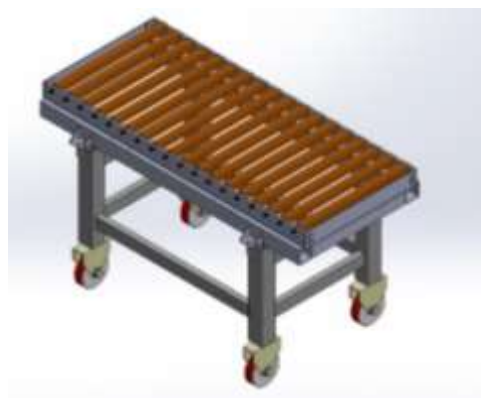
Analisis elemen hingga telah banyak digunakan dalam desain dies maupun rangka mesin industri. Misalnya, penelitian oleh Susanto et al. (2020) menerapkan simulasi FEM untuk mengevaluasi tegangan maksimum pada rangka mesin press [12], sedangkan Arifin et al. (2021) meneliti pengaruh variasi geometri terhadap distribusi tegangan pada struktur rangka dengan SAPH440 [13]. Hasil-hasil ini memperkuat pendekatan numerik sebagai metode yang akurat dan efisien dalam proses validasi desain.

Berdasarkan tinjauan tersebut, dapat disimpulkan bahwa penelitian mengenai analisis statis pada rangka Dandori menggunakan material SAPH440 merupakan topik yang relevan dan memiliki kontribusi penting dalam pengembangan sistem dies yang efisien dan andal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja statis rangka Dandori dies mesin press 1000 kg dengan material SAPH440 berdasarkan parameter displacement, tegangan maksimum, dan faktor keamanan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan teknis bagi perancang dies dalam menentukan jenis material dan dimensi struktur yang optimal.

2. Metode Penelitian

Metode

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi analisis numerik dengan metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) untuk mengevaluasi kinerja struktural rangka Dandori dies pada mesin press dengan variasi beban uji 1000 kg dan 2000 kg. Model 3D rangka Dandori dibuat menggunakan perangkat lunak CAD yang dapat dilihat pada **Gambar 1**, kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak simulasi seperti ANSYS atau SolidWorks Simulation.



Gambar 1: Model Rangka Dandori
Source: Solidworks Model

Material

Material yang digunakan adalah SAPH440, yang memiliki sifat mekanik yang sesuai dengan kebutuhan untuk aplikasi pada komponen dies dengan spesifikasi dapat dilihat pada **Tabel 1**. Analisis statis dilakukan dengan memperhitungkan parameter utama seperti displacement, tegangan von Mises, dan faktor keamanan untuk setiap variasi beban yang diterapkan. Setiap beban diuji untuk memastikan bahwa struktur rangka dapat menahan deformasi dan tegangan yang terjadi tanpa melebihi batas yang aman. Hasil simulasi

digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur dan memberikan rekomendasi desain lebih lanjut berdasarkan analisis tegangan, pergeseran, dan faktor keselamatan..

Tabel 1. Spesifikasi Material SAPH440

<i>Properties</i>	<i>Value</i>
Elastic Modulus	210000 N/mm ²
Poisson Ratio	0.3
Density	7850 kg/m ³
Tensile strength	440 MPa
Yield Strength	295 MPa

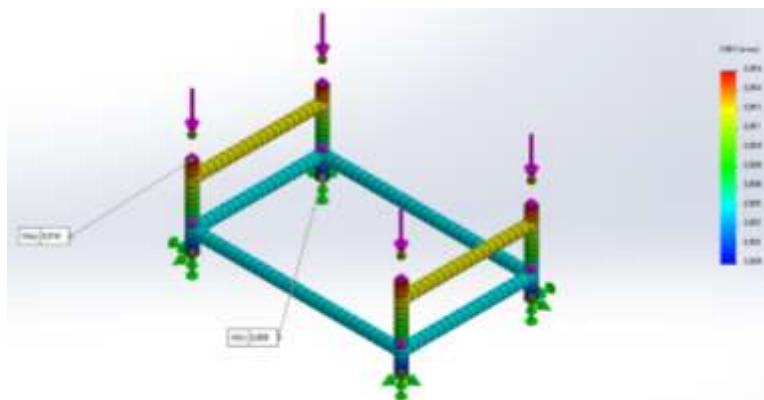
Sumber: Solidworks Material

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil simulasi *Displacement*

Hasil simulasi **Gambar 2** yang dilakukan diperoleh nilai deformasi maksimum 0,016 mm tergolong sangat kecil, yang menunjukkan bahwa struktur rangka memiliki kekakuan yang tinggi terhadap beban statis 10.000 N. Nilai ini berada dalam rentang aman untuk aplikasi struktural, khususnya pada komponen dies support mesin press yang membutuhkan stabilitas tinggi.

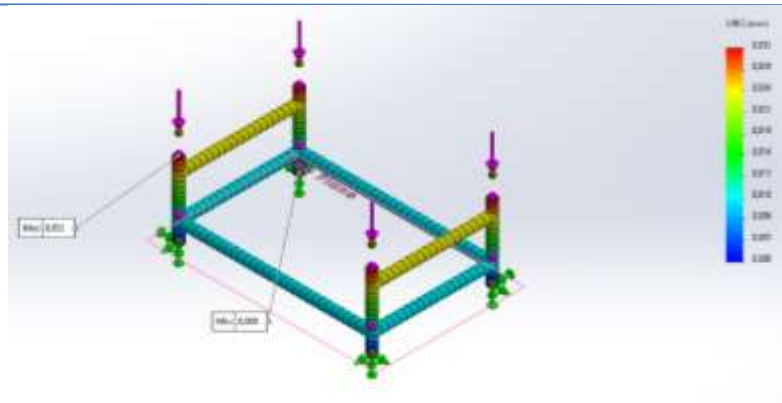
Deformasi tertinggi terjadi pada bagian atas struktur, terutama di area sambungan vertikal dan horizontal, yang merupakan titik tumpuan dan pertemuan gaya. Sementara area yang diberi fixtures (bagian dasar struktur) tidak mengalami deformasi, sesuai ekspektasi karena kondisi tersebut fixed (0 mm displacement).



Gambar 2: Simulasi *Displacement* pada Pembebanan 1000 kg
Source: Solidworks Model

Material SAPH440 dengan sifat mekanik yang baik, terbukti mampu menahan beban statis dengan deformasi minimum. Struktur rangka dianggap aman dan tidak mengalami perubahan bentuk signifikan, sehingga cocok digunakan untuk menopang dies pada mesin press 1000 kg [14].

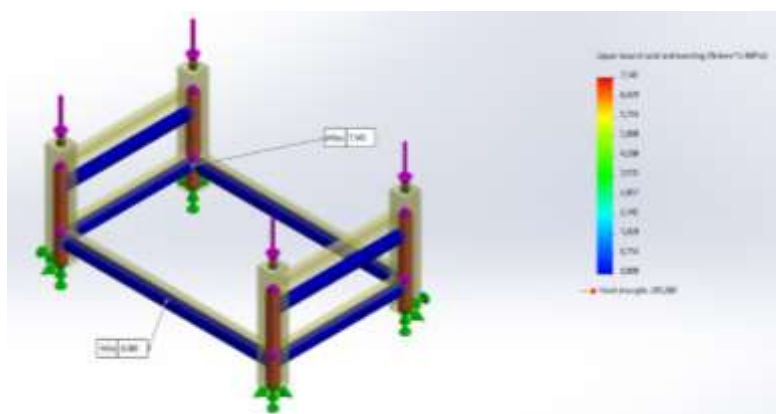
Hasil simulasi **Gambar 3** menunjukkan bahwa nilai deformasi maksimum yang terjadi pada struktur rangka Dandori dengan pembebanan sebesar 2000 kg adalah sebesar 0,032 mm. Nilai ini tergolong sangat kecil dan mengindikasikan bahwa struktur tetap memiliki kekakuan yang tinggi meskipun beban yang diterima dilipatgandakan dibandingkan beban awal (1000 kg). Deformasi tertinggi terletak pada bagian atas struktur, terutama di area sambungan antara batang vertikal dan horizontal yang menerima beban tekan langsung. Sementara itu, bagian dasar struktur yang ditetapkan sebagai fixed support tetap menunjukkan nilai perpindahan sebesar 0 mm, sesuai ekspektasi.



Gambar 3: Simulasi Displacement pada Pembebanan 2000 kg
Source: Solidworks Model

3.2. Hasil Simulasi Tegangan *Von Mises*

Hasil simulasi statis pada **Gambar. 4** menunjukkan distribusi tegangan von Mises pada struktur rangka dandori dies dengan material SAPH440 yang dibebani sebesar 1000 kg pada titik-titik vertikal bagian atas. Nilai tegangan maksimum yang tercatat dari simulasi adalah sebesar 7,143 MPa, dan terjadi pada bagian sambungan horizontal-vertikal rangka, khususnya di area tempat pembebanan diterapkan. Hal ini menunjukkan bahwa titik-titik tersebut merupakan lokasi konsentrasi tegangan akibat kombinasi beban aksial dan momen lentur yang terjadi secara simultan.



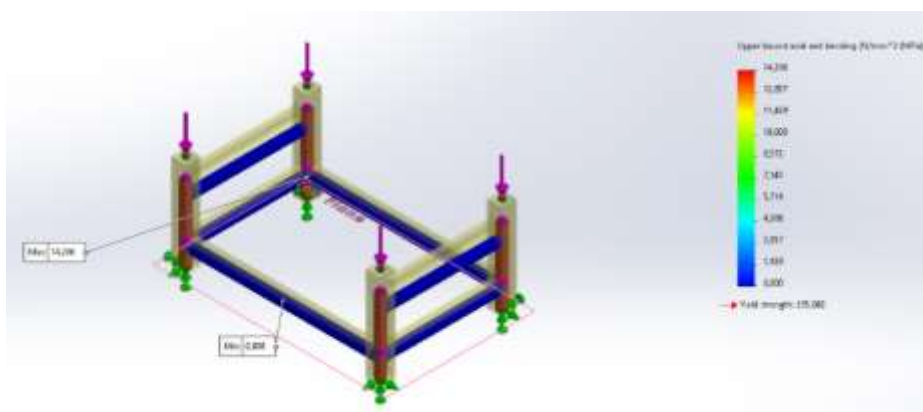
Gambar 4: Simulasi Tegangan *Von Mises* pada Pembebanan 1000 kg
Source: Solidworks Model

Sementara itu, sebagian besar area lain pada struktur menunjukkan distribusi tegangan yang relatif rendah, dengan warna dominan biru hingga hijau muda (tegangan antara 0 hingga sekitar 2 MPa). Ini menunjukkan bahwa struktur mengalami distribusi beban yang merata dan efisien, tanpa munculnya tegangan berlebih yang signifikan pada area non-kritis.

Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa struktur mampu mendistribusikan tegangan dengan baik, tanpa indikasi adanya lonjakan tegangan ekstrem yang berpotensi menyebabkan kerusakan lokal. Distribusi yang merata dan nilai tegangan yang masih jauh dari batas leleh menandakan desain struktur cukup efektif untuk menahan beban yang diberikan [15].

Simulasi tegangan **Gambar 5** menunjukkan bahwa nilai maksimum von Mises stress yang muncul akibat pembebanan 2000 kg adalah 14,286 MPa. Tegangan ini terjadi pada sambungan-sambungan utama di bagian atas, khususnya di area kontak vertikal-horizontal, lokasi yang juga menjadi titik konsentrasi beban.

Meskipun nilai tegangan meningkat dibandingkan dengan beban 1000 kg, tegangan maksimum ini masih sangat jauh di bawah batas leleh material SAPH440 yang berada di angka 295 MPa. Sebagian besar area struktur masih menunjukkan warna biru hingga hijau, menandakan bahwa distribusi tegangan cukup merata dan tidak terjadi lonjakan lokal yang berbahaya.



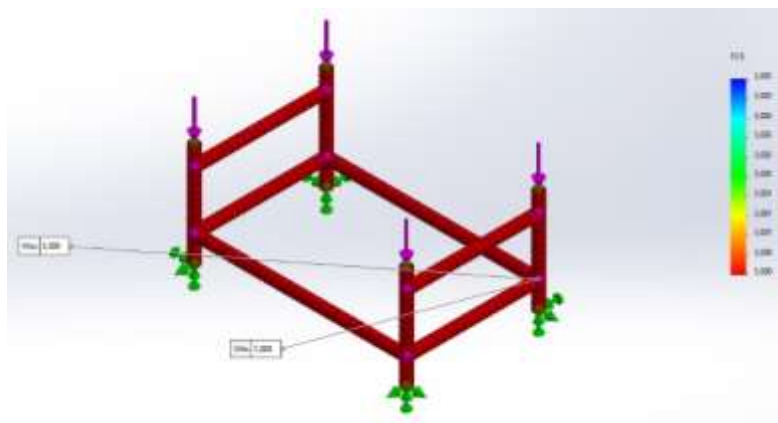
Gambar 5: Simulasi Tegangan *Von Mises* pada Pembebanan 2000 kg
Source: Solidworks Model

3.3 Hasil Simulasi *Safety Factor*

Gambar 6 hasil simulasi menunjukkan distribusi faktor keamanan pada struktur rangka dandori dies berbahan SAPH440, yang dikenai pembebanan statis sebesar 1000 kg. Visualisasi ditampilkan dalam skala minimum hingga maksimum dengan rentang nilai yang sangat sempit.

Distribusi warna merah yang merata di seluruh elemen struktur mengindikasikan bahwa seluruh bagian struktur berada dalam kondisi yang sangat aman, dengan tidak ada bagian yang mendekati ambang batas kegagalan material. Konsistensi nilai *Factor of Safety* di seluruh struktur juga menunjukkan bahwa gaya dan tegangan terdistribusi dengan baik dan tidak terjadi konsentrasi beban atau deformasi lokal yang signifikan.

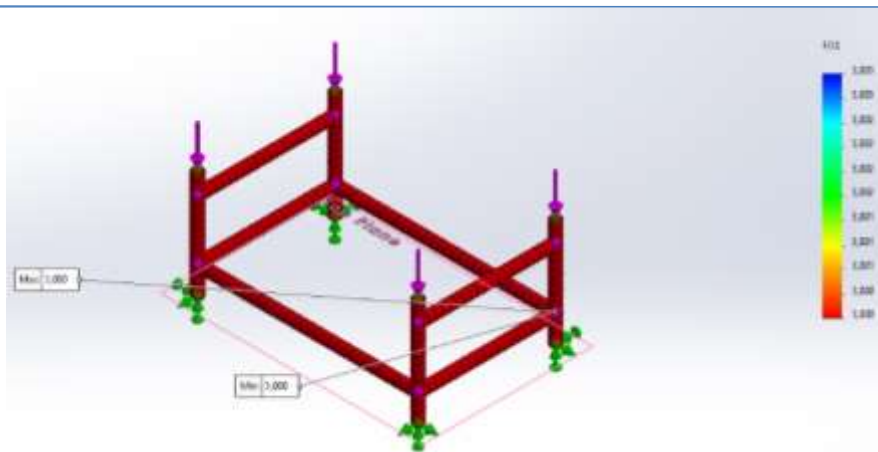
Nilai *Factor of Safety* sebesar 3 umumnya sudah sangat cukup dalam konteks perancangan struktur statis, terutama jika tidak terdapat beban dinamis, getaran, atau siklus pembebanan berulang [16]. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa desain rangka dandori dies dengan material SAPH440 memiliki kinerja struktural yang stabil dan aman untuk beban yang direncanakan.



Gambar 6: Simulasi Tegangan *Von Mises* pada Pembebanan 1000 kg
Source: Solidworks Model

Hasil simulasi **Gambar 7** untuk faktor keamanan (*Factor of Safety*) pada pembebanan 2000 kg masih menunjukkan nilai yang seragam sebesar 3, sama seperti hasil pada pembebanan 1000 kg. Hal ini menunjukkan bahwa SolidWorks secara otomatis mengatur rasio perhitungan terhadap batas leleh, dan FoS tetap dalam kondisi aman.

Distribusi warna merah secara merata menandakan bahwa tidak ada bagian dari struktur yang mendekati titik kegagalan. Konsistensi nilai ini mengindikasikan bahwa struktur masih memiliki margin keamanan yang baik dan tetap mampu mendistribusikan gaya serta tegangan secara stabil. Untuk memperoleh pemahaman yang lebih jelas mengenai pengaruh variasi beban terhadap kinerja struktur rangka Dandori, dilakukan perbandingan hasil simulasi statis pada dua skenario pembebanan, yaitu 1000 kg dan 2000 kg. Perbandingan ini mencakup tiga parameter utama, yaitu displacement maksimum, tegangan maksimum, dan faktor keamanan. Hasil perbandingan disajikan dalam **Tabel 2**.



Gambar 7: Simulasi Tegangan *Von Mises* pada Pembebanan 2000 kg
Source: Solidworks Model

Tabel 2. Perbandingan nilai parameter dengan beban 1000 kg dan 2000

Parameter	Beban 1000 kg	Beban 2000 kg	keterangan
Displacement Maksimum	0,016 mm	0,032 mm	Meningkat dua kali lipat, tetapi masih tergolong sangat kecil.
Tegangan Maksimum	7,143 MPa	14,286 MPa	Masih jauh di bawah batas luluh SAPH440.
Faktor Keamanan	3	3	Struktur berada dalam kondisi aman.
Kondisi Struktur Rangka	Stabil	Stabil	Tidak terjadi deformasi berlebih maupun konsentrasi tegangan ekstrem.

Sumber: Data Simulasi SolidWorks

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis statis menggunakan simulasi numerik di perangkat lunak SolidWorks terhadap struktur rangka dandori dies mesin press dengan beban sebesar 1000 kg, diperoleh beberapa temuan penting terkait kinerja struktur tersebut. Hasil simulasi menunjukkan bahwa displacement maksimum yang terjadi hanya sebesar 0,016 mm. Nilai ini tergolong sangat kecil, menandakan bahwa struktur memiliki kekakuan yang tinggi, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi komponen dies support yang membutuhkan stabilitas dan presisi tinggi.

Distribusi tegangan von Mises memperlihatkan bahwa tegangan maksimum yang muncul sebesar 7,143 MPa dan terletak di area sambungan antara elemen horizontal dan vertikal—titik-titik di mana beban terkonsentrasi. Meski demikian, nilai tegangan ini masih jauh di bawah batas leleh material SAPH440, sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur tetap berada dalam kondisi elastis dan aman digunakan. Simulasi juga menunjukkan nilai faktor keamanan (*Factor of Safety*) yang seragam sebesar 3 di seluruh bagian struktur. Ini berarti tidak ada bagian dari struktur yang mendekati titik kegagalan, dan sistem memiliki margin keamanan yang cukup besar terhadap beban yang diterima.

Secara keseluruhan, simulasi displacement, tegangan, dan faktor keamanan mengindikasikan bahwa struktur rangka dandori dies dengan material SAPH440 menunjukkan performa yang sangat baik dalam menahan pembebanan statis sebesar 1000 kg. Material ini terbukti mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas struktural yang memenuhi persyaratan teknis, sehingga dinilai layak untuk digunakan dalam aplikasi tersebut.

5. Referensi

- [1] Cheng, L., Li, J., & Xie, Y. (2020). Optimization of sheet metal dies for automotive parts using finite element analysis. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(5), 051001.
- [2] Kadirgama, K., Noor, M. M., & Rahman, M. M. (2018). Formability studies in sheet metal forming: A review. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 2412–2419.
- [3] Rahman, M. M., Kadirgama, K., & Noor, M. M. (2018). Failure analysis in sheet metal forming: A review. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 15(1), 5200–5212..
- [4] Kim, S., & Lee, J. (2020). Analysis of press die failure in automotive forming process. *Procedia*

- Manufacturing, 48, 525–531.
- [5] Wibowo, A. R., & Santosa, B. (2022). Desain ulang rangka Dandori dies dengan pendekatan elemen hingga untuk optimasi struktur mesin press. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 10(1), 12–20.
 - [6] Rachmadi, S., Prasetyo, D., & Hidayat, R. (2021). Failure analysis on press machine frame due to static overload. *Indonesian Journal of Mechanical Engineering*, 3(1), 44–51.
 - [7] Kim, Y. S., Park, J. H., & Lee, D. S. (2017). Evaluation of formability and strength in SAPH440 automotive steel. *Steel Research International*, 88(10), 1700075.
 - [8] Putra, A. R., & Maulana, A. (2021). Studi karakteristik mekanik baja SAPH440 untuk aplikasi rangka industri ringan. *Jurnal Rekayasa Material*, 17(2), 71–78.
 - [9] Chen, Q., Liu, Y., & Huang, Z. (2022). Fatigue behavior of SAPH440 steel under cyclic loading conditions. *Materials Performance and Characterization*, 11(3), 456–465.
 - [10] Yusof, M. A., Rahman, M. M., & Jamaludin, N. (2019). Static structural analysis of die design using finite element method. *Journal of Mechanical Engineering and Technology (JMET)*, 11(2), 45–53.
 - [11] Altan, T., & Tekkaya, A. E. (2017). *Sheet metal forming: Fundamentals*. ASM International.
 - [12] Susanto, B., Kurniawan, T., & Ahmad, R. (2020). Simulasi FEM pada struktur dies untuk menilai tegangan maksimum. *Jurnal Teknologi dan Mesin*, 8(3), 150–158.
 - [13] Arifin, A., Saputra, R., & Nugraha, A. (2021). Finite element analysis of SAPH440 steel for structural components. *Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 9(2), 101–108.
 - [14] Shigley, J. E., Mischke, C. R., & Budynas, R. G. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (10th ed.). McGraw-Hill.
 - [15] Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2012). *Mechanics of Materials* (7th ed.). McGraw-Hill Education.
 - [16] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2011). *Mechanical Engineering Design* (9th ed.). McGraw-Hill.