

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR RANGKA ALAT UJI KONDUKTIVITAS TERMAL BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA

Structural Strength Analysis of the Frame of a Thermal Conductivity Test Apparatus Using the Finite Element Method

Firman & Yolli Fernanda

Universitas Negeri Padang

firman0708@gmail.com; yolliper@ft.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Jan 3, 2026	Jan 26, 2026	Feb 7, 2026	Feb 12, 2026

Abstract

Although thermal conductivity test apparatuses have been widely used to characterize the heat transfer properties of materials, studies that specifically address the strength of their supporting frame structures remain limited. In testing practice, the frame of the apparatus is subjected not only to thermal loads but also to mechanical loads arising from the weight of components and clamping forces, so an inadequate structure may experience excessive deformation, reduce measurement accuracy, and shorten the service life of the apparatus. This study aimed to analyze the strength and stiffness of the frame structure of a thermal conductivity test apparatus based on the Comparative Cut-Bar Method using the Finite Element Method (FEM). A quantitative approach was employed through numerical simulation using ANSYS Workbench 2025. The frame geometry was designed in SolidWorks with low-carbon steel AISI 1010 as the material, followed by static structural analysis with fixed support boundary conditions and loading variations of 135 N, 145 N, and 155 N, representing the operating conditions of the test apparatus. The analyzed parameters included total deformation and

equivalent stress. The simulation results showed that maximum deformation occurred at the central support seat of the frame, with values ranging from 0.000000089501 mm to 0.00000010276 mm, which are very small and do not affect the stability or functionality of the apparatus. The maximum equivalent stress ranged from 0.00583 MPa to 0.0066975 MPa, far below the elastic limit of AISI 1010 steel of 305 MPa. These findings indicate that the frame structure of the thermal conductivity test apparatus has very good strength and stiffness and is safe to use under the analyzed operating conditions. This study provides a basis for structural evaluation and a design reference for the frame of thermal conductivity test apparatuses to support measurement reliability and long-term use.

Keywords: Thermal Conductivity Test Apparatus; Support Frame Structure; Finite Element Method; Structural Deformation; Equivalent Stress

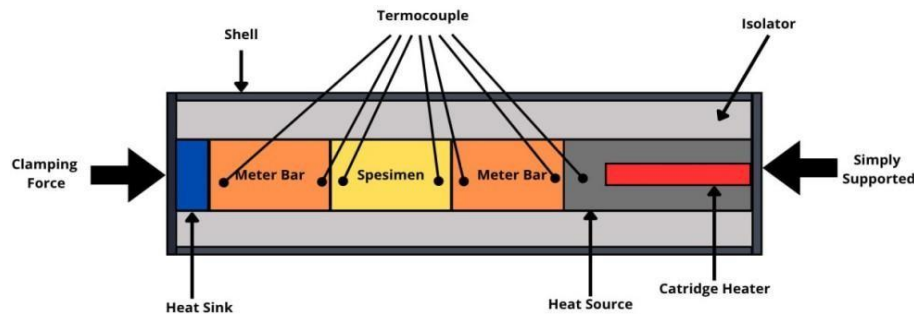
Abstrak: Meskipun alat uji konduktivitas termal telah banyak digunakan untuk mengkarakterisasi sifat perpindahan panas material, kajian yang secara khusus membahas kekuatan struktur rangka penopangnya masih terbatas. Dalam praktik pengujian, rangka alat tidak hanya menerima beban termal, tetapi juga beban mekanik yang berasal dari berat komponen dan gaya penjepitan, sehingga struktur yang tidak memadai berpotensi mengalami deformasi berlebih, menurunkan akurasi pengukuran, serta memperpendek umur pakai alat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan dan kekakuan struktur rangka alat uji konduktivitas termal berbasis *Comparative Cut-Bar Method* menggunakan *Finite Element Method (FEM)*. Studi ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui simulasi numerik dengan perangkat lunak *ANSYS Workbench 2025*. Geometri rangka dirancang menggunakan *SolidWorks* dengan material baja karbon rendah AISI 1010, kemudian dilakukan analisis struktur statik dengan kondisi batas berupa *fixed support* dan variasi pembebanan sebesar 135 N, 145 N, dan 155 N yang merepresentasikan kondisi kerja alat uji. Parameter yang dianalisis meliputi deformasi total dan tegangan ekuivalen. Hasil simulasi menunjukkan bahwa deformasi maksimum terjadi pada bagian dudukan tengah rangka dengan nilai berkisar antara 0,000000089501 mm hingga 0,00000010276 mm, yang tergolong sangat kecil dan tidak memengaruhi kestabilan maupun fungsi alat uji. Tegangan ekuivalen maksimum berada pada rentang 0,00583 MPa hingga 0,0066975 MPa, jauh di bawah batas elastis baja AISI 1010 sebesar 305 MPa. Temuan ini mengindikasikan bahwa struktur rangka alat uji konduktivitas termal memiliki kekuatan dan kekakuan yang sangat baik serta aman digunakan dalam kondisi operasi yang dianalisis. Penelitian ini memberikan dasar evaluasi struktural dan acuan pengembangan desain rangka alat uji konduktivitas termal untuk mendukung keandalan pengukuran dan penggunaan jangka panjang.

Kata Kunci: Alat Uji Konduktivitas Termal; Struktur Rangka Penopang; *Finite Element Method*; Deformasi Struktural; Tegangan Ekuivalen

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi material dan sistem termal menuntut ketersediaan alat uji konduktivitas termal yang memiliki tingkat akurasi tinggi serta keandalan struktural yang memadai (Pasaribu, 2021). Pengujian konduktivitas termal berperan penting dalam

menentukan kemampuan material dalam menghantarkan panas sebagai dasar pengklasifikasian material ke dalam kelompok konduktor, semikonduktor, dan isolator (Incropera et al., 2011). Salah satu metode steady state yang banyak digunakan adalah Comparative Cut-Bar Method yang mengacu pada standar ASTM E 1225 (Zhao et al., 2016) (Gonzalez Duran et al., 2019; Kováčik et al., 2015; Xing et al., 2014).



Gambar 1 Skema Alat Uji Konduktivitas Comparative Cut-Bar Method

Dalam praktik pengoperasiannya, alat uji konduktivitas termal tidak hanya mengalami beban termal, tetapi juga menerima beban mekanik yang berasal dari berat komponen serta gaya yang bekerja selama proses pengujian. Struktur rangka berfungsi sebagai elemen utama yang menopang seluruh komponen alat, sehingga harus mampu menahan beban tanpa mengalami deformasi berlebih yang dapat memengaruhi kestabilan posisi komponen, serta memperpendek umur pakai peralatan (Gazanata & Irfani, 2025; Lawolo et al., 2025; Yao, Chung and Yang, 2021). Deformasi yang terjadi pada struktur rangka merupakan respon material terhadap beban yang bekerja dan dapat bersifat elastis maupun plastis (E. T. F. Santoso et al., 2020; Sumartin et al., 2025). Apabila tegangan yang timbul melampaui batas elastis material, maka struktur berisiko mengalami deformasi permanen yang dapat mengganggu kinerja dan keselamatan alat (Gere & Goodno, 2009). Oleh karena itu, kekuatan dan kekakuan struktur rangka menjadi aspek penting dalam menjamin keandalan alat uji konduktivitas termal (Rohmannudin et al., 2024; B. Santoso et al., n.d.).

Metode Elemen Hingga atau *Finite Element Method* (FEM) telah banyak diterapkan dalam analisis respon struktural karena kemampuannya dalam memprediksi distribusi tegangan dan deformasi secara numerik (Kristianto et al., 2025; Yang et al., 2023). Selain itu, FEM juga terbukti efektif dalam memodelkan distribusi temperatur pada alat uji konduktivitas termal dengan tingkat kesalahan yang masih dapat diterima, yaitu sekitar 13.5% dibandingkan hasil eksperimen (Duran et al., 2020). Pendekatan FEM serupa telah banyak digunakan pada analisis rangka kendaraan dan struktur teknik lainnya sebagai tahap evaluasi

awal untuk memastikan desain berada dalam batas aman material (Firdaus, 2024; Muhajir et al., 2025; Trianto et al., 2026).

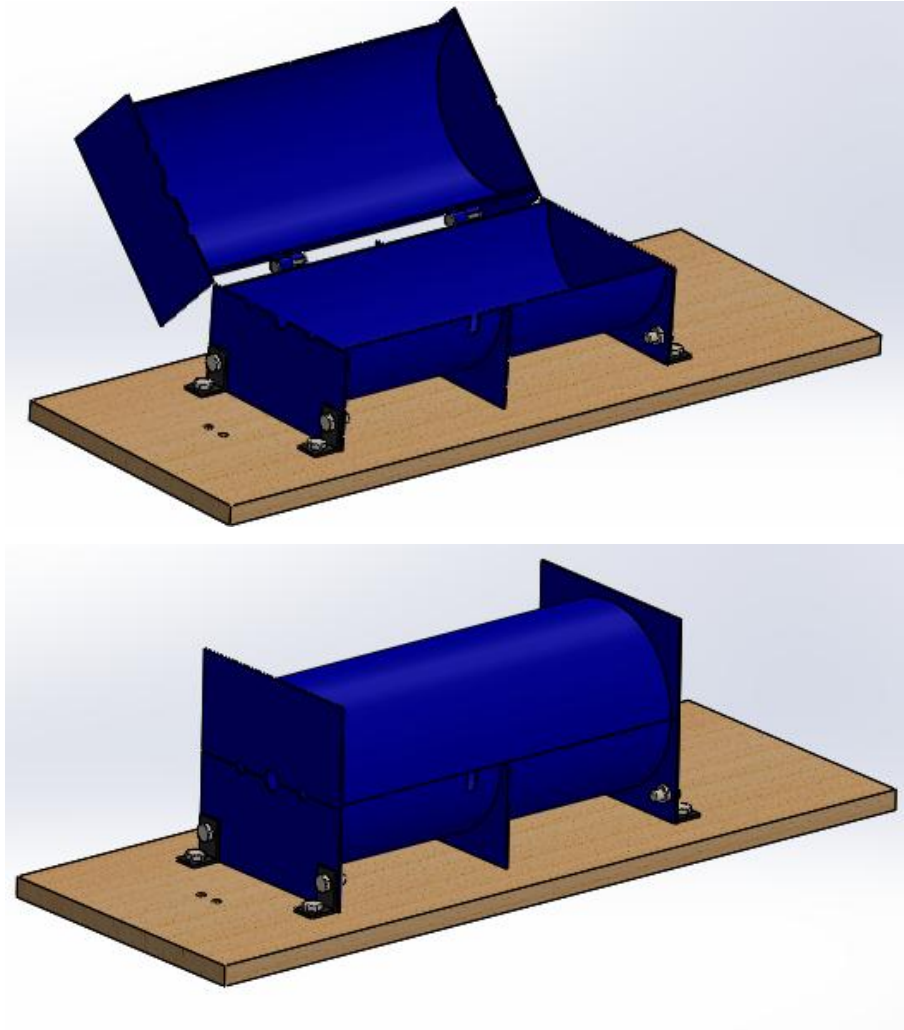
Meskipun metode FEM telah luas diterapkan pada berbagai struktur teknik, studi secara khusus membahas deformasi dan kekuatan struktur rangka pada alat uji konduktivitas termal masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian lebih berfokus pada performa termal dan karakteristik perpindahan panas, sementara aspek kekuatan struktur sering kali diasumsikan aman tanpa analisis mendalam.

Berdasarkan pemaparan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan dan kekakuan struktur rangka pada alat uji konduktivitas termal menggunakan metode elemen hingga. Analisis difokuskan pada evaluasi deformasi total dan distribusi tegangan akibat pembebanan kerja, sehingga dapat diketahui apakah desain rangka yang digunakan telah memenuhi kriteria kekuatan dan kekakuan struktural. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar evaluasi dan pengembangan desain alat uji konduktivitas termal yang lebih aman, andal, serta layak digunakan jangka panjang untuk keperluan penelitian maupun pengujian material.

METODE

Jenis penelitian ini ada kuantitatif dengan pendekatan simulasi numerik berbasis Finite Element Method (FEM) pada software ANSYS Workbench 2025. Tahapan penelitian meliputi perancangan model rangka alat, penentuan properti material, pemberian kondisi batas dan pembebanan, serta analisis hasil simulasi deformasi dan tegangan. Data yang diperoleh dari simulasi berupa nilai deformasi total dan nilai tegangan equivalent (Equivalent Stress).

Desain penelitian berupa analisis struktur statik untuk mengevaluasi respons rangka terhadap pembebanan mekanik. Geometri rangka dimodelkan menggunakan SolidWorks dan diimpor ke ANSYS untuk proses simulasi.



Gambar 2 Desain Rangka Alat Uji Konduktivitas Termal

Objek penelitian ini adalah struktur rangka alat uji konduktivitas termal yang menggunakan material baja karbon rendah AISI 1010. Analisis dilakukan melalui simulasi numerik dengan menerapkan kondisi batas berupa penggunaan tipe mesh tetrahedral, *fixed support* pada baut-baut penyangga, serta pembatasan *displacement* pada penyangga kanan dan kiri serta pada bagian luar rangka bawah dan rangka atas. Data penelitian diperoleh dari hasil simulasi yang meliputi nilai deformasi total dan tegangan ekuivalen (*equivalent stress*). Adapun properti material baja AISI 1010 yang digunakan dalam simulasi mengacu pada data material yang diperoleh dari basis data MatWeb.

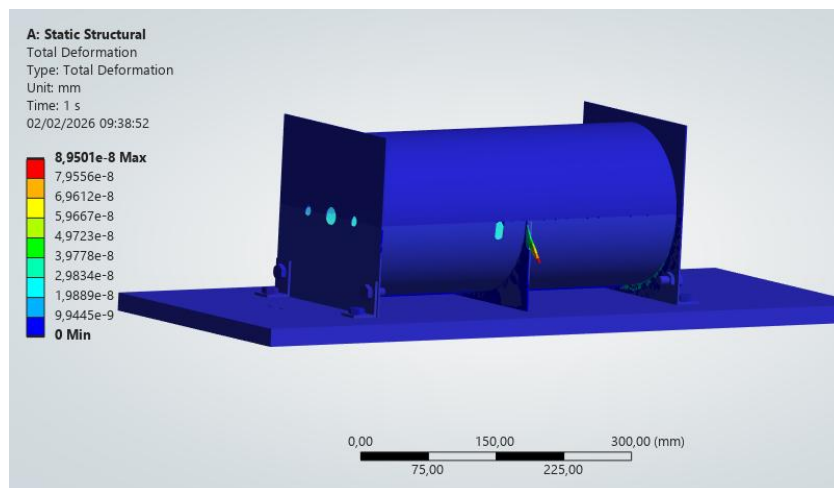
Tabel 1. Material Property Baja AISI 1010

Property	Value	Unit
Densitas (ρ)	7870	kg/m ³
Modulus Elastisitas (E)	200	GPa

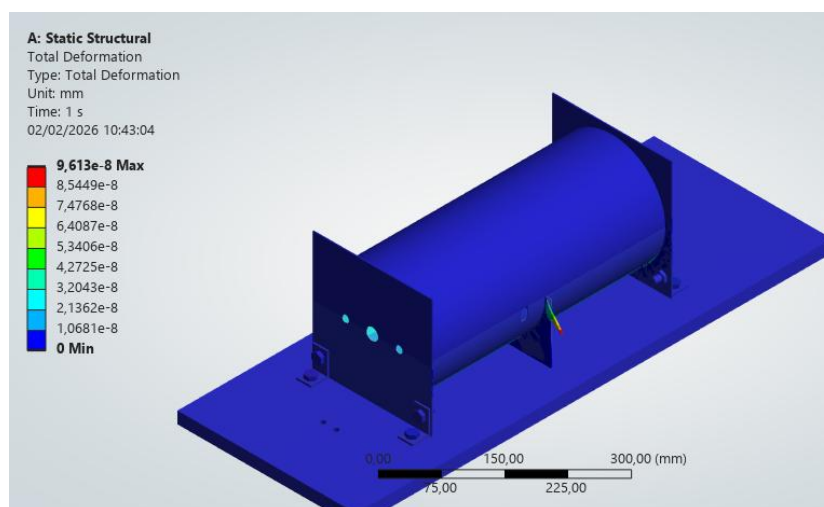
Property	Value	Unit
Yield Strength (σ_{yield})	305	MPa
Tensile Ultimate Strength	365	MPa
Konduktivitas Termal (k)	51,9	W/m.K
Koefisien Ekspansi Termal	11,8	($\times 10^{-6}/K$)
Poisson ratio (ν)	0.29	-

Analisis data dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan nilai tegangan maksimum hasil simulasi terhadap yield strength material guna menentukan tingkat keamanan struktur, serta analisis data dari hasil deformasi total untuk mengevaluasi perubahan bentuk rangka akibat beban yang bekerja.

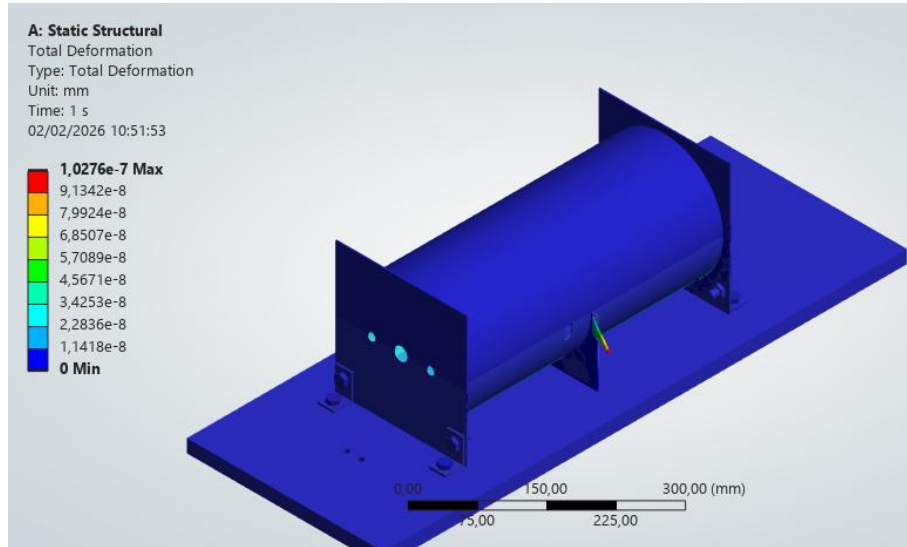
HASIL



Gambar 3 Deformasi Total Akibat Force 135 N Pada Struktur Rangka



Gambar 4 Deformasi Total akibat Force 145 N Pada Struktur Rangka



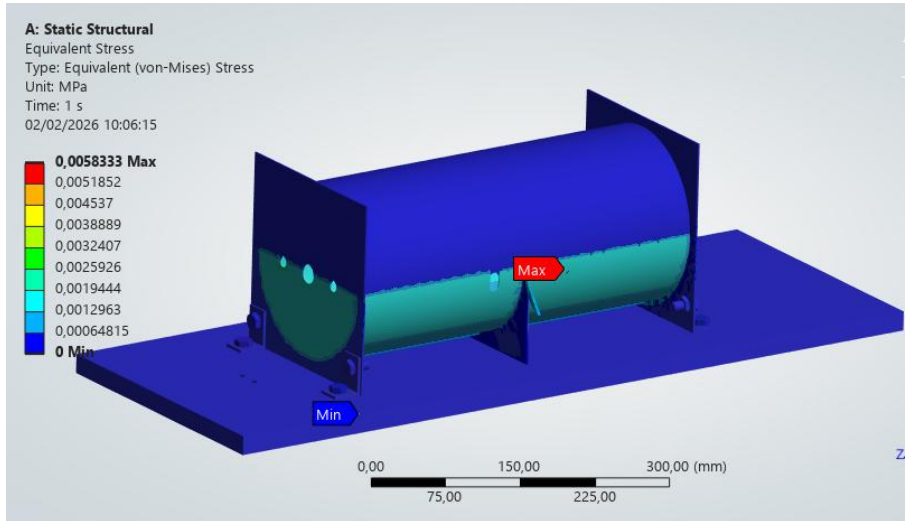
Gambar 5 Deformasi Total Akibat Force 155 N Pada Struktur Rangka

Berdasarkan hasil simulasi Static Structural menggunakan ANSYS Workbench 2025, deformasi total pada struktur rangka akibat pembebanan ditampilkan pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5. Hasil simulasi menunjukkan bahwa deformasi maksimum terlokalisasi pada area dudukan tengah rangka, sedangkan bagian lain dari struktur mengalami deformasi yang sangat kecil dan mendekati nol. Nilai deformasi total untuk setiap variasi pembebanan disajikan pada Tabel 2.

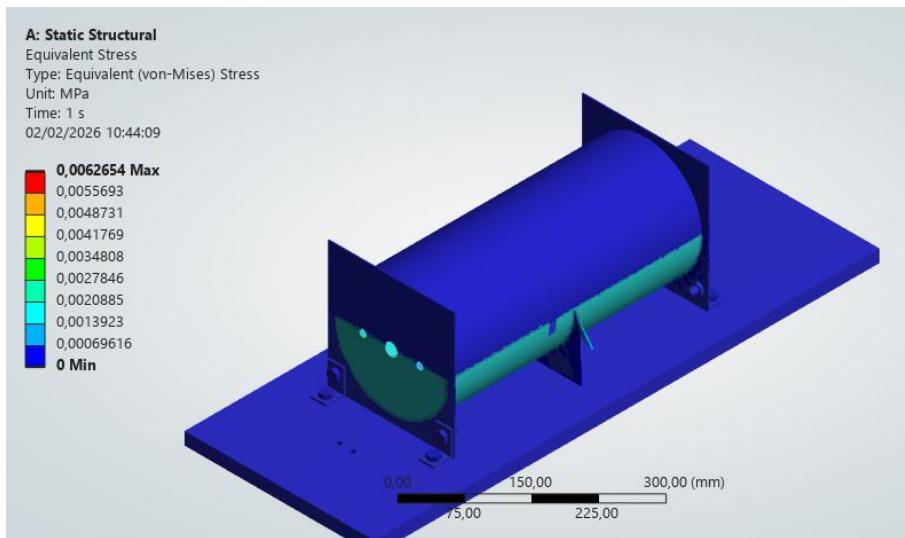
Tabel 2. Nilai Deformasi Total Simulasi

Total Beban	Deformasi Total (mm)	Deformasi Minimum (mm)
135 N	0,000000089501	0
145 N	0,00000009613	0
155 N	0,00000010276	0

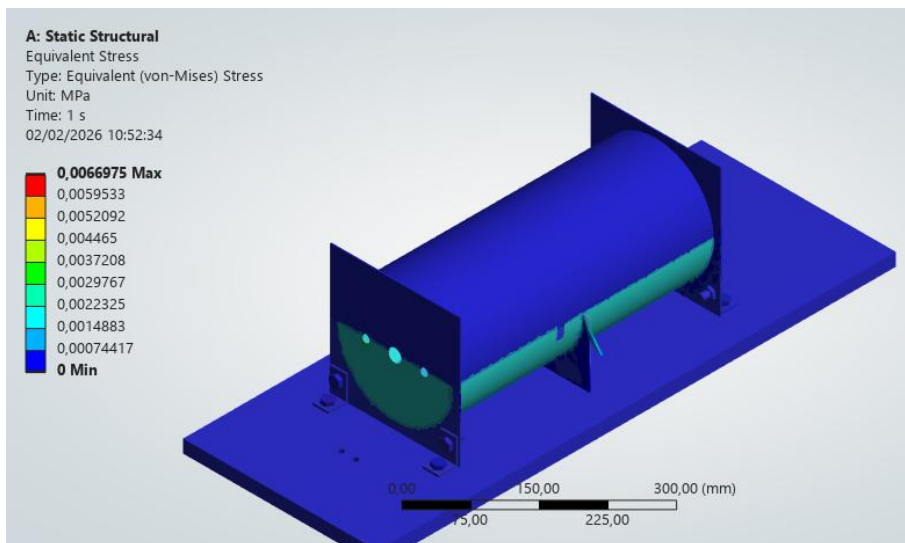
Berdasarkan data pada Tabel 2, terlihat bahwa nilai deformasi total maksimum meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan. Meskipun demikian, besarnya deformasi yang terjadi masih berada pada skala yang sangat kecil untuk seluruh variasi pembebanan.



Gambar 6 Tegangan Equivalent Akibat Force 135 N Pada Struktur Rangka



Gambar 7 Tegangan Equivalent Akibat Force 145 N Pada Struktur Rangka



Gambar 8 Tegangan Equivalent Akibat Force 155 N Pada Struktur Rangka

Hasil simulasi tegangan ekuivalen (*equivalent stress*) pada struktur rangka alat uji ditunjukkan pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8. Dari hasil simulasi tersebut terlihat bahwa tegangan tertinggi terlokalisasi pada bagian atas rangka, khususnya di sekitar sambungan antara dudukan sampel dan pelat vertikal penahan. Sementara itu, tegangan minimum teramati pada area *base plate*. Nilai tegangan ekuivalen hasil simulasi untuk setiap variasi pembebanan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Tegangan Ekuivalen Simulasi

Total Beban	Tegangan Maximum (Mpa)	Tegangan Minimum (Mpa)
135 N	0,00583	0
145 N	0,0062654	0
155 N	0,0066975	0

Berdasarkan data pada Tabel 3, terlihat bahwa nilai tegangan ekuivalen maksimum meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan. Distribusi tegangan maksimum terkonsentrasi pada area sambungan rangka bagian atas, sedangkan bagian lain dari struktur menunjukkan nilai tegangan yang relatif rendah.

PEMBAHASAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur rangka memiliki tingkat kekakuan yang sangat baik dalam menahan beban kerja yang diberikan. Deformasi maksimum teridentifikasi pada area dudukan tengah rangka yang berfungsi sebagai titik penerima beban utama. Kondisi ini mengindikasikan bahwa distribusi beban menghasilkan momen lentur terbesar pada elemen tersebut, sehingga respons deformasi terlokalisasi pada zona dengan konsentrasi gaya tertinggi. Fenomena ini sejalan dengan prinsip dasar teori elastisitas struktur yang menyatakan bahwa deformasi maksimum terjadi pada elemen yang mengalami kombinasi momen lentur dan tegangan terbesar akibat pembebanan terpusat.

Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Erzsébet Bärnkopf (2023) serta konsep mekanika struktur yang dikemukakan oleh Hibbler (2011), yang menjelaskan bahwa pada sistem rangka dengan pembebanan terfokus, respons deformasi akan terakumulasi pada titik transfer beban utama atau pada elemen dengan kekakuan relatif lebih rendah. Keselarasan ini menunjukkan bahwa perilaku mekanik struktur dalam penelitian ini mengikuti

karakteristik umum struktur rangka elastis, sehingga memvalidasi pendekatan analisis yang digunakan.

Distribusi tegangan memperlihatkan adanya konsentrasi tegangan yang dominan pada area sambungan rangka. Hal ini merupakan karakteristik khas struktur rangka akibat terjadinya diskontinuitas geometri serta perubahan arah aliran gaya internal pada titik sambungan. Pola ini sejalan dengan berbagai studi analisis struktur yang menyatakan bahwa sambungan merupakan zona kritis yang paling rentan terhadap akumulasi tegangan. Meskipun demikian, nilai tegangan maksimum yang diperoleh masih berada jauh di bawah batas luluh material, yang mengindikasikan bahwa seluruh struktur bekerja dalam domain elastis dan belum mengalami risiko deformasi permanen.

Implikasi dari hasil penelitian ini adalah tersedianya dasar evaluasi struktural yang kuat untuk pengembangan dan optimasi desain alat uji dengan kapasitas beban yang lebih besar. Informasi mengenai lokasi deformasi maksimum dan zona konsentrasi tegangan dapat digunakan sebagai acuan dalam perkuatan elemen struktural atau modifikasi desain guna meningkatkan faktor keamanan dan umur pakai struktur. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi praktis dalam perancangan sistem rangka yang lebih efisien dan andal.

Keterbatasan penelitian ini terletak pada penggunaan skema pembebanan statik yang belum merepresentasikan kondisi operasional sebenarnya secara menyeluruh. Pengaruh beban dinamik, getaran, serta variasi temperatur kerja berpotensi memengaruhi respons mekanik struktur dalam jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan analisis dinamik dan termal guna memperoleh gambaran performa struktur yang lebih komprehensif dan realistis.

KESIMPULAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur rangka memiliki tingkat kekakuan yang sangat baik. Deformasi maksimum terjadi pada area dudukan tengah rangka sebagai titik penerima beban utama, dengan nilai berkisar antara 0,000000089501 mm hingga 0,00000010276 mm. Kondisi ini sejalan dengan teori mekanika struktur yang menyatakan bahwa deformasi terbesar terjadi pada elemen yang menerima beban terpusat. Distribusi tegangan menunjukkan adanya konsentrasi tegangan pada area sambungan rangka, yang merupakan karakteristik umum pada struktur rangka, dengan nilai berkisar antara 0,00583

MPa hingga 0,0066975 MPa. Rendahnya nilai tegangan tersebut menunjukkan bahwa struktur bekerja sepenuhnya dalam daerah elastis dan berada jauh di bawah batas luluh material.

Penelitian ini memberikan kontribusi berupa validasi penggunaan metode elemen hingga dalam menganalisis kekakuan dan distribusi tegangan pada struktur rangka alat uji, serta menyediakan acuan kuantitatif yang dapat digunakan sebagai dasar evaluasi dan pengembangan desain struktur dengan kapasitas beban yang lebih besar dan tingkat keamanan yang lebih baik.

Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mempertimbangkan pengaruh pembebanan dinamik, variasi temperatur kerja, serta kondisi sambungan yang lebih mendekati kondisi operasional sebenarnya agar hasil analisis yang diperoleh menjadi lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Bárnkopf, E., Kövesdi, B., & Dunai, L. (2023). Investigation of stress concentration zones in FEM-based design of welded plated structures. *Buildings*, 13(4), 1057. <https://doi.org/10.3390/buildings13041057>
- Duran, J. E. E. G., González-Rodríguez, O. J., Zamora-Antuñano, M. A., Rodríguez-Reséndiz, J., Méndez-Lozano, N., Meléndez, D. J. G., & García, R. G. (2020). Finite element method and cut bar method-based comparison under 150, 175 and 310 °C for an aluminium bar. *Applied Sciences*, 10(1), 296. <https://doi.org/10.3390/app10010296>
- Firdaus, M. M. (2024). Pengujian Kekuatan Rangka Sepeda Tipe Diamond Frame Material AISI 4130 dan Metode Finite Element. *Jurnal Permadi: Perancangan, Manufaktur, Material Dan Energi*, 6(3), 306–312. <https://doi.org/10.52005/permadi.v6i03.149>
- Gazanata, M. E., & Irfani, R. (2025). Simulasi Rangka Gudang terhadap Pembebanan Hoist Crane Double Grider 2 Ton Divisi GSCM PT. Xx: Warehouse Frame Simulation Against Double Grider 2 Ton Hoist Crane Loading GSCM Division PT. Xx. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 13(2), 224–234. <https://doi.org/10.23887/jptm.v13i2.92901>
- Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2009). *Mechanics of materials* (7th ed.). Cengage Learning.
- Gonzalez Duran, J. E. E., González-Rodríguez, O. J., Zamora-Antuñano, M. A., Rodríguez-Reséndiz, J., Méndez-Lozano, N., Gómez-Meléndez, D. J., & García-García, R. (2020). Finite element method and cut bar method-based comparison under 150, 175 and 310 °C for an aluminium bar. *Applied Sciences*, 10(1), 296. <https://doi.org/10.3390/app10010296>
- Hibbeler, R. C. (2011). *Mechanics of materials* (8th ed.). Prentice Hall.
- Incropera, F. P., et al. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer* (7th ed.). Wiley.

- Kováčik, J., Emmer, Š., & Bielek, J. (2015). Thermal conductivity of Cu-graphite composites. *International Journal of Thermal Sciences*, 90, 298–302. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2014.12.017>
- Kristianto, S. B., Adhitya, M., Haryanto, B., Pama, L., Azis, U. A., Dwimansyah, R., & Sumarsono, D. A. (2025). Experimental stress analysis on frame structure of a 70-passengers electric bus. *Automotive Experiences*, 8(2), 401–414. <https://doi.org/10.31603/ae.13757>
- Lawolo, S. G., Nugraha, I. G., Setiawan, R., Tabayyun, C., & Arum, A. (2025). Analisis Kekuatan Frame Trailer Menggunakan Finite Element Methode (FEA). *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)*, 4(2), 148–157. <https://ejournal.uniramalang.ac.id/metrotech/article/view/7138>
- Muhajir, A. N., Androva, A., Mukhtar, A., Malik, M., Burhanuddin, A., & Ma'mun, H. (2025). Studi Pengaruh Jumlah, Ukuran, Bentuk Mesh terhadap Hasil Simulasi Rangka Sepeda Motor Listrik Menggunakan Metode Finite Element Analysis (Fea). *Jurnal Media Informatika*, 6(6), 2720–2731. <https://doi.org/10.55338/jumin.v6i6.6168>
- Pasaribu, F. I. (2021). Penentuan Hot Point dan Monitoring Peralatan Menggunakan Thermal Imagers Fluke dengan Metode Thermovisi. *Journal of Electrical and System Control Engineering*, 4(2), 113–128. <https://doi.org/10.31289/jesce.v4i2.4814>
- Rohmannudin, T. N., Sulistijono, S., Amrulloh, M. F., & Fachri, M. (2024). Pelayanan Pengujian Polyurethane di Laboratorium Korosi dan Baterai Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS. *Jurnal KeDayMas: Kemitraan dan Pemberdayaan Masyarakat*, 4(2), 28–46. <https://doi.org/10.14414/keDaymas.v7i1.4628>
- Santoso, B., Rusnaldy, R., Paryanto, P., & Toriq, S. (n.d.). Analisis Densitas, Laju Keausan, dan Konduktivitas Termal Brake Pad Berbasis Tembaga untuk Kereta Api Cepat 160 Km/Jam Menggunakan Test Rig. *ROTASI*, 27(2), 1–10. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/rotasi/article/view/74890/0>
- Santoso, E. T. F., Anwar, C., & Heryana, G. (2020). Analisis Kegagalan Produk Presered Concrete Girder I akibat Deformasi Cetakan dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknologika*, 10(2), 27–36. <https://doi.org/10.51132/teknologika.v10i2.79>
- Sumartin, R., Zaenudin, M., & Saleh, Y. K. P. (2025). Perancangan Alat Uji Gesek Sederhana untuk Pengujian Kampas Rem Sepeda Menggunakan Metode CAD-CAE. *Integrated Mechanical Engineering Journal*, 3(2), 58–66. <https://journal.jgu.ac.id/index.php/imejour/article/view/149>
- Trianto, G., Burhanuddin, A., & Setyoadi, Y. (2026). Analisis Perancangan Casis Mobil Listrik dan Pembebanan Statik dengan Menggunakan SolidWorks. *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)*, 5(1), 67–73. <https://ejournal.uniramalang.ac.id/metrotech/article/view/8426>
- Xing, C., Jensen, C., Folsom, C., Ban, H., & Marshall, D. W. (2014). An optimal guarding scheme for thermal conductivity measurement using a guarded cut-bar technique, part 1: Experimental study. *Applied Thermal Engineering*, 62(2), 850–857. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.09.064>
- Yang, R., Zhang, W., Li, S., Xu, M., Huang, W., & Qin, Z. (2023). Finite element analysis and optimization of hydrogen fuel cell city bus body frame structure. *Applied Sciences*, 13(19), 10964. <https://doi.org/10.3390/app131910964>

- Yao, C., & Yang, M. (2021). Analysis of strength stiffness and modes for bus body frame. *Journal of Physics: Conference Series*, 1748(6), 062073. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1748/6/062073>
- Zhao, D., Qian, X., Gu, X., Jajja, S. A., & Yang, R. (2016). Measurement techniques for thermal conductivity and interfacial thermal conductance of bulk and thin film materials. *Journal of Electronic Packaging*, 138(4), 040802. <https://doi.org/10.1115/1.4034605>