



METALIK

JURNAL MANUFAKTUR, ENERGI, MATERIAL TEKNIK



ISSN 2828-3899



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA

METALIK

VOL: 4

No: 2

PAGE
58-97

9/25

E-ISSN:
2828-3899

Metalik: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik

Metalik: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik Vol 4 No 2; Sep 2025

Susunan Team Editor
METALIK : Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik

PENANGGUNG JAWAB:

Delvis Agusman S.T., M.Sc. (Ketua Program Studi Teknik Mesin UHAMKA)

KETUA EDITOR:
Yos Nofendri, S.Pd., MSME

DEWAN EDITOR:
Rifky, S.T. M.M.
Drs. Mohammad Yusuf D., M.T.
Agus Fikri S.T., M.T.
Pancatatva Hesti Gunawan, S.T., M.T.

MITRA BESTARI:
Prof. Dr. Erry Yulian Triblas Adesta (International Islamic University Malaysia)
Prof. Dr. Muhamad Yahya, M.Sc. (Institut Teknologi Padang)
Dr. Gusri Ahyar Ibrahim, M.T. (Universitas Lampung)
Dr. Yovial, M.T. (Universitas Bung Hatta)
Dr. Dan Mugisidi S.T., M.Si. (Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka)

ADMINISTRASI:
Herman

PENERBIT:
FT-UHAMKA Press
Fakultas Teknik – Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah PROF. DR. HAMKA
Telepon: +62-21-7873711 / +62-21-7270133
Email: jurnal.metalik@uhamka.ac.id
Website: <https://journal.uhamka.ac.id/index.php/metalik/index>

Metalik: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik

Metalik: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik Vol 4 No 2; Sep 2025

Daftar Isi

No	Judul / Penulis	Hal
1	Studi Eksperimentasi Posisi Pendingin Termoelektrik pada Kotak Pendingin terhadap Kinerja Sistem Pendingin bertenaga Panel Surya Rifky, Eki Hadi Setiawan, Delvis Agusman, Mohammad Mujirudin, Arry Avorizano	58-65
2	Perancangan dan Simulasi Mesin Pengayak Tepung Kapasitas 10 Kg Leo Van Gunawan, Adi Kusmayadi, Ihsan Ade Yoga	66-71
3	Analisis Kekuatan Rangka Pompa Seri Paralel Menggunakan Finit Element Method Dengan Software CATIA V5 Fatur Rohim, Wilarso	72-81
4	Rancang Bangun dan Pengujian Mesin Penggiling dan Pengaduk Bumbu Soto Mie Kapasitas 10 kg Candra Irawan, Claudha Alba Pradhana, Ahmad Farhan1, Tito Endramawan, Sukroni, Emin Haris	82-88
5	Kajian Polimer Biodegradable Dari Pati Biji Nangka Dengan Penambahan Gliserol Dan Asam Asetat Khairul Amal, Yovial Mahyoedin, Edi Septe, Firdaus	89-93
6	Analisa Dampak Emisi Gas Buang Pada Kualitas Udara Adi Nugroho, Johan Wirayudatama, Dan Mugsidi, Agus Fikri	94-97



Jurnal Artikel

Analisis Kekuatan Rangka Pompa Seri Paralel Menggunakan *Finite Element Method* Dengan Software CATIA V5

Fatur Rohim, Wilarso*

*Universitas Muhammadiyah Cileungsi, Perum PT. SC, Jl. Anggrek No. 25, Cileungsi, Bogor, Jawa-Barat-Indonesia 16820

*Corresponding author – Email: wilarso09@gmail.com

Artkel Info - : Received : 4 Oktober 2025; Revised : 14 Oktober 2025; Accepted: 15 Oktober 2025

Abstrak

Rangka merupakan komponen utama mesin yang berfungsi sebagai penopang dan penahan beban agar struktur tetap kuat dan stabil. Analisis rangka diperlukan untuk memastikan kekuatannya terhadap berbagai beban serta mengidentifikasi area yang rentan rusak agar dapat dilakukan perbaikan pada tahap desain dan konstruksi. Tujuan analisis ini adalah memastikan rangka memiliki kapasitas yang memadai untuk menahan beban maksimum selama masa pakainya. Selain itu, analisis ini juga bertujuan mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kinerja rangka, seperti material, bentuk (geometri), dan jenis sambungan, sehingga dapat dipilih konfigurasi yang paling optimal. Metode yang digunakan adalah Metode Elemen Hingga (Finite Element Method), yang memungkinkan simulasi perilaku rangka di bawah berbagai kondisi beban. Hasil analisis menunjukkan distribusi tegangan yang merata dan deformasi yang kecil, meskipun beberapa titik sambungan mengalami konsentrasi tegangan lebih tinggi dan memerlukan perhatian khusus pada desain ulang atau penguatan. Hasil pengujian menunjukkan nilai tegangan (Von Mises) sebesar 24,25 MPa, 39,24 MPa, dan 49,05 MPa untuk beban 50 kg, 80 kg, dan 100 kg. Nilai displacement masing-masing sebesar 8,17 mm, 13,06 mm, dan 17,00 mm, sedangkan faktor keamanan (safety factor) adalah 10,18; 6,37; dan 5,09. Berdasarkan hasil tersebut, rangka pompa seri paralel dinyatakan aman digunakan dan mampu menahan beban tanpa mengalami kegagalan atau deformasi yang signifikan.

Kata Kunci: Kerusakan structural; material; *finite element method*.

Abstract

The frame is a key component of the machine, supporting and supporting the load to ensure the structure remains strong and stable. Frame analysis is necessary to ensure its strength against various loads and to identify areas susceptible to damage so that repairs can be made during the design and construction stages. The purpose of this analysis is to ensure the frame has sufficient capacity to withstand maximum loads throughout its service life. Furthermore, this analysis also aims to identify factors that influence frame performance, such as material, shape (geometry), and connection type, so that the most optimal configuration can be selected. The method used is the Finite Element Method, which allows simulation of frame behavior under various load conditions. The analysis results show a uniform stress distribution and small deformation, although some connection points experience higher stress concentrations and require special attention for redesign or reinforcement. Test results show stress values (Von Mises) of 24.25 MPa, 39.24 MPa, and 49.05 MPa for loads of 50 kg, 80 kg, and 100 kg, respectively. The displacement values were 8.17 mm, 13.06 mm, and 17.00 mm, respectively, while the safety factors were 10.18, 6.37, and 5.09. Based on these results, the parallel series pump frame was declared safe for use and capable of withstanding the load without experiencing significant failure or deformation.



structural damage; material; *finite element method*

didistribusikan di bawah syarat dan ketentuan Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

1. Pendahuluan

Analisis kekuatan rangka merupakan proses evaluasi untuk menentukan kemampuan struktur dalam menahan beban dan tekanan tanpa mengalami kerusakan atau deformasi yang berlebihan [1]. Pengujian ini dapat dilakukan secara statis, dengan memberikan beban secara bertahap hingga batas kekuatan dicapai, maupun secara dinamis, yang mensimulasikan kondisi operasional nyata dengan beban berulang [2]. Selain itu, analisis juga dapat dilakukan menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) untuk memprediksi

perilaku struktur di bawah berbagai kondisi pembebanan [3]. Dalam penelitian ini, pembebanan yang diterapkan terdiri dari tiga variasi, yaitu 50 kg, 80 kg, dan 100 kg, dengan tujuan mengevaluasi kekuatan dan kestabilan rangka terhadap variasi beban serta menentukan batas maksimum beban sebelum terjadi kegagalan struktural. Hasil analisis ini diharapkan memberikan informasi penting mengenai kapasitas rangka dan ketahanannya terhadap pembebanan yang berbeda [4]. Kajian terhadap penelitian sebelumnya digunakan sebagai acuan dalam penyusunan model analisis. Pada penelitian yang dilakukan oleh [5]. hasil simulasi pada material hollow ASTM A500

menunjukkan nilai tegangan maksimum sebesar 2.663×10^5 N/m², displacement sebesar 3.828×10^{-2} m, dan faktor keamanan sebesar 94, yang menandakan konstruksi masih berada dalam kondisi aman.

Dalam proses pengujian kekuatan rangka, terdapat beberapa potensi permasalahan yang dapat memengaruhi akurasi hasil analisis. Salah satu kemungkinan kesalahan yang sering terjadi adalah ketidaktepatan dalam proses pemodelan simulasi. Kesalahan dalam mendefinisikan batas tumpuan, jenis pembebanan, maupun mesh pada perangkat lunak analisis dapat menyebabkan hasil perhitungan tegangan dan deformasi menjadi tidak realistis. Akibatnya, kemampuan sebenarnya dari rangka dalam menahan beban tidak dapat terprediksi secara akurat.

Selain itu, penggunaan material yang tidak sesuai dengan spesifikasi atau standar desain asli juga dapat memengaruhi hasil pengujian. Perbedaan sifat mekanik, seperti modulus elastisitas, kekuatan tarik, atau ketahanan terhadap tegangan geser, dapat menyebabkan rangka menunjukkan perilaku yang berbeda dari yang diharapkan. Oleh karena itu, verifikasi terhadap jenis material yang digunakan perlu dilakukan sebelum tahap simulasi atau pengujian fisik dimulai.

Faktor lain yang tidak kalah penting adalah kondisi sambungan antar komponen rangka. Kegagalan pada titik sambungan, seperti lasan atau baut, dapat menciptakan area lemah (weak point) yang sulit terdeteksi dalam simulasi jika tidak dimodelkan dengan benar. Kondisi ini berpotensi menyebabkan kegagalan struktural saat rangka menerima beban berlebih pada saat pengujian aktual.

Untuk memperoleh hasil yang akurat dan dapat dipercaya, pengujian rangka perlu disertai dengan analisis menyeluruh terhadap tegangan (stress), lentur (bending), dan geser (shear) yang terjadi pada setiap bagian struktur. Analisis ini bertujuan untuk memastikan tidak adanya deformasi berlebihan atau konsentrasi tegangan yang dapat memicu kerusakan material. Evaluasi juga harus memperhitungkan faktor keamanan (safety factor) yang memadai, sesuai dengan standar perancangan dan konstruksi yang berlaku, seperti SNI atau ASTM.

Melalui pendekatan analitis dan eksperimental yang komprehensif ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai perilaku rangka terhadap berbagai kondisi pembebanan. Dengan demikian, rancangan struktur yang dihasilkan tidak hanya kuat dan stabil, tetapi juga memiliki umur pakai yang panjang serta memenuhi aspek keselamatan dalam penggunaan di lapangan.

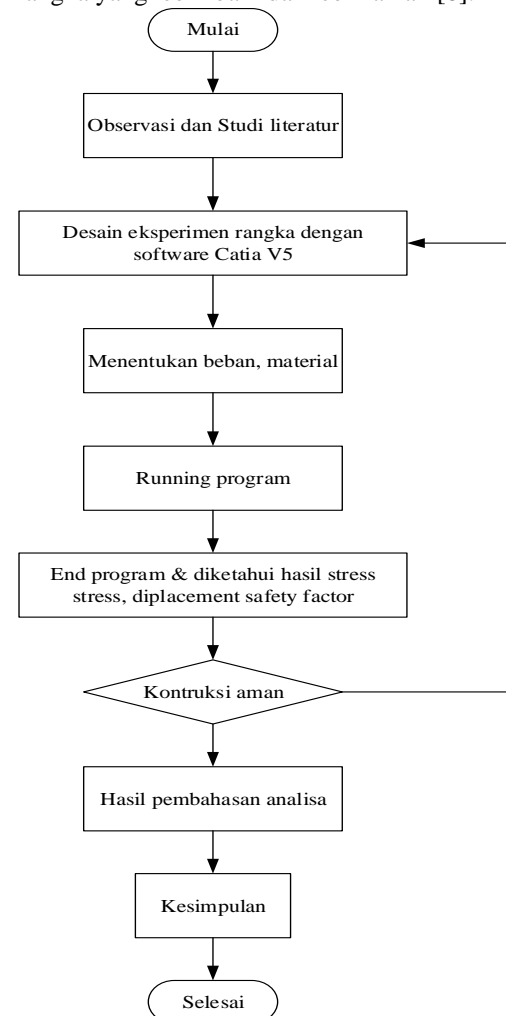
2. Metode

Untuk mengetahui kemampuan struktur rangka dalam menahan beban operasional yang termasuk beban dinamis dan statis yang mungkin terjadi selama proses pengujian. Proses analisis ini dimulai dengan pemodelan 3D rangka pada *software* CATIA V5, dilanjut dengan penerapan beban dan kondisi batas yang sesuai. Kemudian, dilakukan simulasi untuk menghitung

tegangan, *displacement* serta faktor keamanan pada rangka. Hasil dari simulasi ini akan memberikan gambaran apakah rangka tersebut memenuhi persyaratan kekuatan yang dibutuhkan atau memerlukan perbaikan lebih lanjut. Selanjutnya diagram alir akan digunakan untuk memvisualisasikan tahapan-tahapan proses analisis kekuatan rangka menggunakan *software* CATIA V5 [6].

FEM merupakan teknologi komputer digital yang memungkinkan dalam menyelesaikan sistem yang melibatkan ratusan persamaan simultan ini menjadikan FEM sangat efektif dalam menangani kompleksitas struktur modern dalam analisis kekuatan. FEM memberikan kemampuan kepada penguji untuk menentukan nilai tegangan *safety factor*, *displacement* dan *safety factor* pada struktur yang sangat penting untuk menilai apakah struktur tersebut mampu menahan beban yang diterapkan [7].

Hasil dari analisis ini dapat memberikan informasi yang mendalam mengenai distribusi tegangan dan deformasi pada rangka, serta mengidentifikasi titik-titik kritis yang memerlukan perhatian khusus. Dengan demikian, analisis kekuatan rangka tidak hanya berfungsi untuk memastikan keamanan dan efisiensi struktur, tetapi juga untuk meningkatkan daya tahan dan umur pakai dari rangka yang dirancang. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan desain rangka yang lebih baik dan lebih aman [8].



Gambar 1. Diagram Alir.

Diagram alir pada Gambar 1 suatu metode yang digunakan sebagai acuan agar suatu penelitian berjalan secara teratur dan

mendapatkan hasil yang maksimal. Observasi dan studi literatur pada rangka untuk memahami karakteristik dan perilaku struktur rangka dalam berbagai kondisi. Melalui observasi data empiris mengenai kekuatan, deformasi dan kegagalan rangka dapat dikumpulkan langsung dari pengujian simulasi. Sedangkan studi literatur memberikan landasan teoritis yang mendalam mengenai konsep desain, metode analisis, jenis material yang digunakan serta studi kasus yang relevan [9].

Desain eksperimen rangka menggunakan *software* CATIA V5 melibatkan pembuatan model digital dari struktur rangka yang akan di uji dengan merancang geometri rangka sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan termasuk dimensi, jenis sambungan dan material setelah pemodelan selesai selanjutnya dilakukan simulasi untuk mengevaluasi kinerja rangka di bawah berbagai kondisi beban tarik, tekan, atau puntir. Hasil dari simulasi ini digunakan untuk mengidentifikasi potensi titik lemah dalam desain dan memberikan rekomendasi untuk perbaikan jika diperlukan [10].

Menentukan beban material merupakan tahap krusial dalam desain dan analisis struktur, terutama untuk memastikan bahwa material yang digunakan mampu menahan beban yang akan diterimanya selama masa pakai. Proses ini melibatkan beban yang akan di uji yaitu 50kg, 80kg dan 100kg untuk memastikan material yang digunakan dapat berfungsi dengan aman dan efisien tanpa mengalami kegagalan atau deformasi berlebihan selama penggunaannya.

Running program tahapan eksekusi dalam simulasi atau analisis dimana model yang telah dirancang dijalankan menggunakan *software* CATIA V5 pada tahap ini setelah semua parameter seperti geometri, material, dan kondisi beban telah ditentukan, program akan memproses informasi tersebut untuk mensimulasikan bagaimana struktur akan berperilaku di bawah kondisi tertentu. Selama proses ini, *software* akan menghitung distribusi tegangan, deformasi dan respon dinamis dari struktur. Hasilnya berupa data numerik dan visual, seperti grafik tegangan-deformasi atau animasi perilaku struktur, yang dapat dianalisis lebih lanjut atau mengevaluasi kinerja desain dan menentukan apakah diperlukan modifikasi atau optimasi lebih lanjut.

End program diketahui hasil *stress analysis*, *displacement* dan *safety factor*. *End program* menandai selesainya proses simulasi dalam *software* CATIA V5 dimana semua analisis telah dilakukan. Setelah program selesai berjalan hasil-hasil penting seperti *stress analysis* (analisis tegangan) menunjukkan distribusi tegangan dalam struktur untuk membantu mengidentifikasi area dengan tegangan tinggi yang beresiko mengalami kegagalan, *displacement* (perpindahan atau deformasi) menggambarkan seberapa banyak struktur mengalami deformasi di bawah beban yang diberikan, yang penting untuk memastikan bahwa deformasi tersebut masih dalam batas yang dapat diterima, dan *safety factor* (faktor keamanan) memberikan ukuran seberapa jauh struktur dapat menahan beban sebelum mencapai titik kegagalan, dengan angka yang lebih tinggi menunjukkan keamanan yang lebih besar. Hasil-hasil ini digunakan untuk menilai apakah desain rangka sudah memadai atau memerlukan revisi.

Konstruksi aman kondisi dimana sebuah struktur dirancang dan dibangun untuk memenuhi standar keselamatan yang ketat, memastikan bahwa struktur tersebut mampu menahan semua beban yang di prediksi selama masa pakainya tanpa mengalami kegagalan. Apabila konstruksi tersebut

mengalami kegagalan maka akan kembali lagi pada pemodelan rangka menggunakan *software* CATIA V5.

2 Hasil dan Pembahasan

Mendesain Rangka Menggunakan Software CATIA V5

Desain tiga dimensi (3D) rangka pompa yang ditunjukkan pada [Gambar 2](#) dibuat menggunakan perangkat lunak CATIA V5. Struktur rangka ini dibangun dari sejumlah komponen individual yang dirakit secara virtual untuk membentuk model keseluruhan. Melalui proses pemodelan ini, setiap bagian dapat dianalisis dari segi dimensi, bentuk geometris, serta kesesuaian sambungan antar komponen. Desain 3D keseluruhan rangka atau *frame* pompa seri paralel menggunakan *software* CATIA V5 dapat dilihat pada [Gambar 2](#).



Gambar 2. Frame rangka.

Pembuatan model 3D bertujuan untuk mempermudah proses pemeriksaan desain secara visual maupun struktural sebelum dilakukan pembuatan fisik. Selain itu, model ini memungkinkan dilakukannya modifikasi desain secara **real time**, sehingga setiap perubahan pada ukuran atau konfigurasi komponen dapat langsung diuji dampaknya terhadap keseluruhan struktur. Dengan demikian, penggunaan CATIA V5 tidak hanya mempercepat proses perancangan, tetapi juga meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam tahap validasi desain rangka

Menentukan beban material

Dalam menentukan beban material yang digunakan pada pengujian ini diantaranya 50 kg, 80 kg dan 100 kg. Beban 50 kg: Pengujian kekuatan rangka dengan beban 50kg bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan rangka menahan tekanan atau gaya yang diberikan oleh beban tersebut. Dalam pengujian ini beban 50kg ditempatkan pada titik-titik tertentu secara merata disepanjang rangka untuk mensimulasikan kondisi operasional nyata. Selama pengujian respon rangka terhadap beban diamati termasuk deformasi lentur, atau potensi keretakan. Data dari pengujian ini penting untuk memastikan bahwa rangka memiliki kekuatan dan kestabilan yang cukup untuk beroperasi dengan aman dalam aplikasinya sebenarnya. Hasil pengujian ini juga digunakan untuk menentukan apakah rangka memerlukan penguatan tambahan atau modifikasi desain sebelum dilakukan pengujian.

Beban 80 kg: Pengujian kekuatan rangka dengan beban 80kg dilakukan untuk menilai seberapa baik rangka mampu menahan beban berat dalam kondisi tertentu. Selama pengujian beban 80kg di tempatkan pada bagian tertentu dari rangka secara merata untuk mensimulasikan tekanan yang mungkin dialami

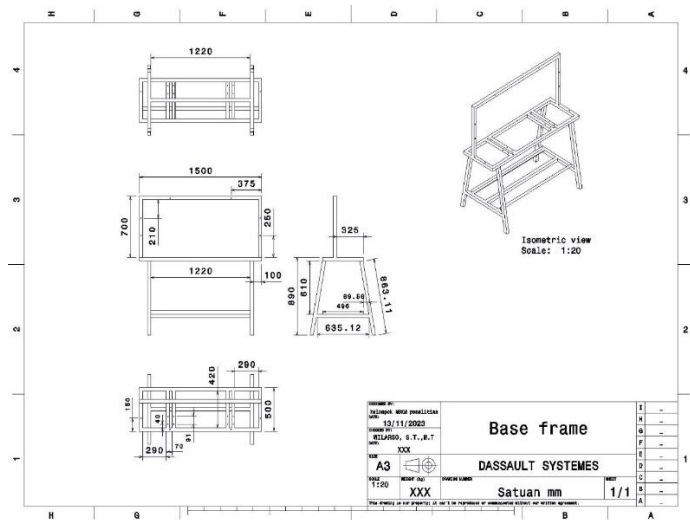
dala penggunaan nyata. Pengamatan difokuskan pada bagaimana rangka merespon termasuk adanya deformasi, defleksi atau potensi kerusakan. Pengujian ini penting untuk memastikan bahwa rangka memiliki kekuatan yang memadai dan dapat berfungsi dengan aman dalam aplikasi yang diharapkan.

Pengujian kekuatan rangka dengan beban 100 kg dilakukan untuk menilai ketahanan struktur terhadap pembebanan berat yang mewakili kondisi ekstrem dalam penggunaan sebenarnya. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa rangka tetap stabil dan tidak mengalami deformasi berlebihan saat menerima beban maksimum yang mungkin terjadi selama operasional.

Dalam proses pengujian, beban ditempatkan pada titik-titik kritis atau sepanjang area yang menerima gaya utama, guna mengevaluasi respon struktural rangka secara menyeluruh. Parameter utama yang diamati meliputi deformasi, lenturan, distribusi tegangan, serta kemungkinan munculnya retakan atau kegagalan material. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui apakah struktur masih berada dalam batas aman yang ditetapkan berdasarkan standar desain.

Running Program

Running program adalah proses menjalankan atau mengeksekusi intruksi-intruksi yang ada dalam sebuah perangkat lunak di komputer. Ketika program dijalankan, CPU membaca kode yang ditulis dalam bahasa pemrograman, menerjemahkannya kedalam bahasa mesin, dan melakukan operasi-operasi yang diminta seperti pengolahan data, perhitungan atau interaksi dengan perangkat keras. Hasil dari eksekusi ini dapat berupa output yang tampil di layar, perubahan pada *file*, atau tindakan lain yang diinginkan oleh pengguna atau sistem.



Gambar 3. Drawing frame.

Gambar 3 menunjukkan Desain ini dibuat menggunakan *software* CATIA V5, yang memungkinkan pembuatan model 3D dari rangka. Model 3D ini sangat penting karena memberikan gambaran yang jelas tentang struktur rangka, memudahkan dalam melakukan modifikasi, serta memungkinkan analisis lebih lanjut mengenai kekuatan dan stabilitas rangka sebelum pembuatan fisik. Dalam pengujian

analisis kekuatan rangka, drawing frame ini berfungsi sebagai dasar untuk melakukan simulasi dan pengujian menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*). Dengan menggunakan model ini, mahasiswa dapat mengevaluasi bagaimana rangka berperilaku dibawah beban 50Kg, 80Kg dan 100Kg. *Drawing frame* adalah langkah awal yang krusial dalam proses desain dan analisis agar memberikan visualisasi yang diperlukan untuk memahami dan mengoptimalkan struktur rangka pompa.

End Program dan mengetahui hasil dari stress analysis, displacement, dan safety factor

Sebelum membahas hasil pengujian yang telah dilakukan, penting untuk memahami terlebih dahulu konteks dan tujuan dari analisis kekuatan rangka ini. Dalam bidang rekayasa struktur, terutama pada tahap perancangan dan pengujian rangka, analisis kekuatan merupakan langkah krusial untuk memastikan bahwa struktur mampu menahan beban yang direncanakan tanpa mengalami kegagalan atau deformasi berlebihan.

Melalui analisis ini, dapat dievaluasi sejauh mana komponen rangka memenuhi persyaratan desain, seperti batas tegangan izin, faktor keamanan, serta kestabilan terhadap beban statis maupun dinamis. Pemahaman yang baik terhadap konteks analisis akan membantu dalam menafsirkan hasil pengujian secara tepat dan menentukan langkah perbaikan apabila ditemukan kelemahan pada struktur.

Analisis kekuatan rangka pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak **CATIA V5**, yang dikenal sebagai salah satu perangkat analisis berbasis komputer (Computer-Aided Engineering/CAE) dengan kemampuan tinggi dalam pemodelan dan simulasi struktur. Perangkat lunak ini dipilih karena mampu mengintegrasikan proses desain tiga dimensi (CAD) dengan analisis struktural menggunakan **metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM)** secara efisien.

Melalui metode FEM, geometri kompleks dari rangka dipecah menjadi sejumlah elemen kecil yang saling terhubung. Setiap elemen dianalisis untuk mengetahui distribusi tegangan, regangan, dan deformasi yang terjadi akibat pembebanan tertentu. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk memahami bagaimana setiap bagian dari rangka merespons beban, serta mengidentifikasi area kritis yang berpotensi mengalami konsentrasi tegangan atau kegagalan struktural.

Dengan demikian, penggunaan CATIA V5 dalam analisis ini memberikan gambaran yang akurat dan terukur mengenai perilaku mekanik rangka sebelum dilakukan pengujian fisik, sehingga dapat menjadi dasar evaluasi dan perbaikan desain secara lebih efektif.

Stress Analysis (Analisis Tegangan): Analisis tegangan bertujuan untuk mengevaluasi distribusi tegangan yang terjadi pada struktur ketika dikenakan beban. Hasil dari analisis ini memberikan informasi tentang : area yang mengalami tegangan tertinggi yang berpotensi menjadi titik kegagalan, material yang digunakan cukup kuat untuk menahan beban yang di terapkan, jika terdapat area dengan tegangan tinggi, mungkin perlu dilakukan modifikasi pada desain untuk meningkatkan kekuatan.

Displacement (perpindahan): *Displacement* mengukur seberapa banyak struktur mengalami deformasi akibat beban

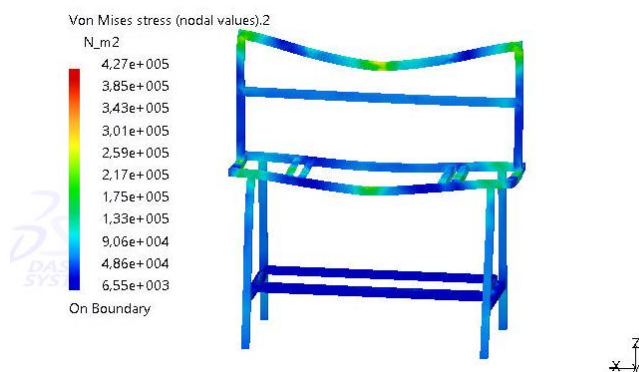
yang diterapkan. Ini penting untuk : memastikan bahwa deformasi yang terjadi tidak melebihi batas yang diizinkan yang dapat menyebabkan kerusakan atau kegagalan fungsi, dan memahami bagaimana struktur berperilaku di bawah kondisi beban yang berbeda dan apakah pergeseran tersebut masih dalam batas aman.

Safety factor (Faktor Keamanan): Faktor keamanan adalah rasio antara kekuatan material dan tegangan yang terjadi pada kondisi beban maksimum. Ini memberikan gambaran untuk : angka yang lebih tinggi menunjukkan bahwa struktur memiliki margin keamanan yang lebih besar sebelum mencapai titik kegagalan, menentukan apakah desain sudah memadai atau perlu dilakukan penguatan.

Sebelum saya menyampaikan hasil pengujian, perlu diketahui bahwa pengujian ini telah dilakukan dengan prosedur dan metode yang telah diterapkan sebelumnya. Semua parameter yang relevan telah diperhitungkan dan diuji dengan cermat untuk memastikan validitas hasil yang diperoleh. Dengan demikian, hasil yang akan disajikan berikut ini mencerminkan kondisi aktual selama proses pengujian berlangsung dan dapat digunakan sebagai dasar untuk evaluasi lebih lanjut.

Menghitung Stress Analysis

Dalam pengujian stress analysis dapat memberikan penjelasan umum tentang makna warna merah, kuning, hijau, dan biru dalam menganalisis pengujian material. Warna merah sering digunakan untuk menunjukkan area dengan tegangan maksimum atau kondisi kritis ini memberikan bahwa bagian tersebut mendekati atau melebihi batas kekuatan material yang menunjukkan potensi risiko kerusakan atau kegagalan, Warna kuning biasanya menunjukkan area dengan tegangan sedang berarti bagian tersebut masih dalam batas aman tetapi perlu diperhatikan karena mendekati batas toleransi, Warna hijau sering digunakan untuk menunjukkan area yang aman dan stabil ini menunjukkan bahwa bagian tersebut beroperasi di bawah batas kekuatan material dan tidak mengalami resiko deformasi atau kerusakan, dan Warna biru digunakan untuk menunjukkan area dengan tegangan rendah atau kondisi yang sangat aman ini menunjukkan bahwa bagian tersebut tidak hanya aman tetapi juga memiliki kapasitas yang cukup untuk menahan beban tambahan. Warna-warna ini membantu dalam visualisasi hasil analisis dan memudahkan identifikasi area yang memerlukan perhatian lebih lanjut dan memeberikan gambaran umum tentang kinerja struktur di bawah beban yang diberikan.



Gambar 4. Hasil pengujian stress analysis dengan beban 50 kg.

Hasil pengujian dengan beban 50 kg (500N). **Gambar 4** menunjukkan bagaimana tegangan terdistribusi diseluruh

struktur denngan area yang lebih gelap atau lebih terang mencerminkan tingkat tegangan yang berbeda untuk memberikan informasi tentang titik-titik lemah atau area yang lebih kuat dalam desain. Struktur rangka pompa tidak hanya mampu menahan beban 50 kg tetapi juga memiliki margin keamanan cukup besar untuk memastikan bahwa struktur rangka dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi operasional.

$$\text{Rumusnya: } \sigma = \frac{F}{A}$$

$$F = 50\text{Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 490,5\text{N}$$

$$\text{Jika luas penampang } 20 \text{ mm}^2 = 0,00002 \text{ m}^2$$

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{490,5 \text{ N}}{0,00002 \text{ m}^2} = 24,525 \text{ Mpa}$$

Hasil analisis *stress* dengan beban 50 kg menunjukkan bahwa struktur mampu menahan beban tersebut dengan baik, dimana nilai tegangan maksimum yang dihasilkan adalah 24,525 Mpa. Nilai ini jauh di bawah batas kekuatan *material mild steel* yang digunakan, yang memiliki *yield strength* sekitar 250 Mpa. Hal ini mengindikasi bahwa struktur tidak hanya aman untuk digunakan, tetapi juga memiliki margin keamanan yang cukup besar [1].



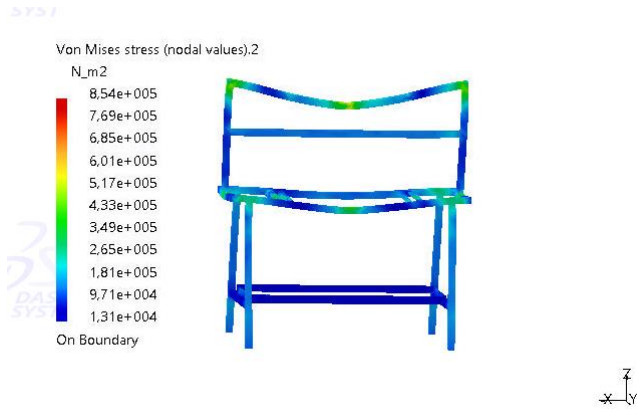
Gambar 5. Hasil pengujian stress analysis dengan beban 80 kg.

Hasil pengujian stress analysis dengan beban 80Kg (800N). **Gambar 5** memberikan informasi tentang distribusi tegangan diseluruh struktur dimana area dengan warna yang lebih gelap atau lebih terang mencerminkan tingkat tegangan yang berbeda. Hal ini dapat membantu mengindentifikasi titik-titik kritis yang mungkin mengalami konsentrasi tegangan lebih tinggi yang dapat menjadi perhatian dalam desain. Struktur rangka pompa mampu menahan beban 80Kg dengan baik dan memiliki margin keamanan cukup besar untuk memastikan bahwa struktur dapat berfungsi seacara efektif dalam berbagai kondisi operasional.

$$F = 80\text{Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 784,8\text{N}$$

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{784,8\text{N}}{0,00002\text{m}^2} = 39,24 \text{ Mpa}$$

Hasil analisis tegangan dengan beban 80 kg menunjukkan bahwa struktur tetap mampu menahan beban tersebut dengan baik, dimana nilai tegangan maksimum yang dihasilkan adalah 39,42 Mpa. Meskipun nilai ini lebih jauh di bawah batas kekuatan *material mild steel* yang memiliki *yield strength* sekitar 250 Mpa. Hal ini menegaskan bahwa struktur masih berada dalam kondisi aman dan tidak mengalami deformasi permanen.



Gambar 6. Hasil pengujian stress dengan beban 100 kg.

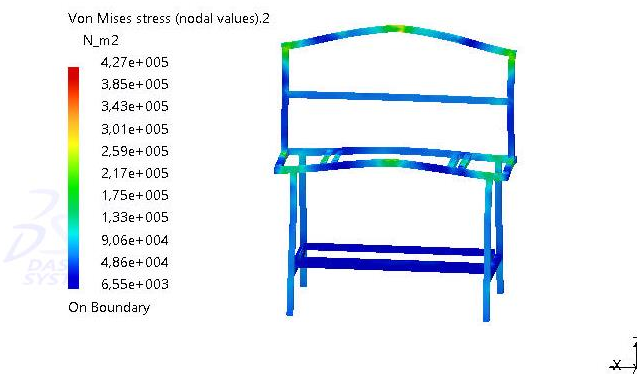
Hasil pengujian *stress analysis* dengan beban 100 kg (100N). **Gambar 6** menggambarkan distribusi tegangan diseluruh struktur dimana variasi warna dapat menunjukkan tingkat tegangan yang berbeda diberbagai bagian rangka area dengan tegangan lebih tinggi dapat diidentifikasi memberikan informasi penting tentang titik-titik kritis yang mungkin memerlukan perhatian lebih dalam desain. Struktur rangka pompa tidak hanya mampu menahan beban 100 kg tetapi memiliki margin keamanan yang signifikan untuk memastikan bahwa struktur rangka dapat beroperasi dengan baik dalam kondisi yang bervariasi dan tidak mengalami kerusakan.

$$F = 100\text{Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 981 \text{ N}$$

$$\text{Maka, } \sigma = \frac{981 \text{ N}}{0,00002\text{m}^2} = 49,05 \text{ Mpa}$$

Hasil analisis tegangan dengan beban 100 kg menunjukkan bahwa struktur rangka pompa seri paralel masih mampu menahan beban tersebut dengan baik, dimana nilai tegangan maksimum yang dihasilkan adalah 49,05 MPa. Meskipun ini adalah nilai tertinggi yang diukur dalam serangkaian pengujian, angka ini tetap jauh di bawah batas kekuatan *material mild steel*, yang memiliki *yield strength* sekitar 250 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa struktur tidak hanya aman untuk digunakan, tetapi juga memiliki kapasitas yang cukup untuk menahan beban yang lebih besar tanpa mengalami kerusakan deformasi permanen. Dengan margin keamanan yang signifikan, analisis ini memberikan keyakinan bahwa desain struktur dapat diandalkan dalam kondisi operasional yang bervariasi.

Menghitung Displacement



Gambar 7. Hasil pengujian displacement dengan beban 50 kg.

Hasil *displacement* dengan beban 50 kg. **Gambar 7** ini menunjukkan tentang bagaimana struktur rangka berperilaku di bawah beban yang lebih ringan *displacement* yang terukur mencerminkan kemampuan struktur untuk menyerap dan mendistribusikan beban dengan efektif sehingga mengurangi risiko kerusakan atau kegagalan agar struktur tetap berfungsi dengan baik dan tidak menunjukkan tanda-tanda deformasi yang permanen. Pengujian *displacement* dengan beban 50 kg ini untuk memastikan bahwa struktur dapat beroperasi dengan aman dalam kondisi yang bervariasi untuk mengevaluasi keamanan serta keandalan desain.

$$\text{Rumus: } \delta = \frac{(3 \times P \times L^3)}{E \times I}$$

$$P = 50\text{Kg} \times 9,81\text{m/s}^2 = 490,5 \text{ N}$$

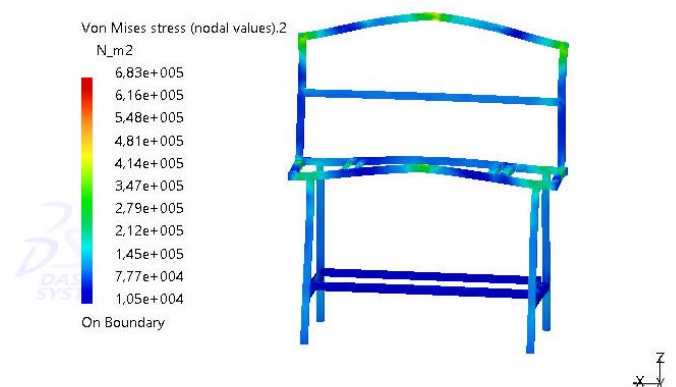
$$L = 1000 \text{ mm}$$

$$E = 200.000 \text{ N/mm}^2$$

$$I = 100 \text{ mm}^4$$

$$\text{Maka, } \delta = \frac{(3 \times 490,5 \times 1000^3)}{(200.000 \times 100)} = 8,17\text{mm}$$

Hasil analisis *displacement* dengan beban 50 kg menunjukkan bahwa struktur mengalami pergeseran sebesar 8,17 mm. Meskipun ada deformasi yang terukur, nilai ini masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk aplikasi spesifik, yang menunjukkan bahwa struktur tetap berfungsi dengan baik di bawah beban tersebut. *Displacement* sebesar 8,17 mm mencerminkan kemampuan struktur untuk menyerap dan mendistribusikan beban dengan efektif, sehingga mengurangi risiko kerusakan atau kegagalan. Ini juga menunjukkan bahwa desain rangka pompa seri paralel telah mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas dan kekuatan, sehingga dapat beroperasi dengan aman dalam kondisi beban yang lebih ringan. Analisis ini memberikan mengenai perilaku struktural di bawah beban, dan hasil analisis ini menunjukkan bahwa struktur tidak hanya aman, tetapi juga memiliki performa yang baik dalam menghadapi beban yang lebih rendah [5].



Gambar 8. Hasil pengujian displacement dengan beban 80 kg.

Hasil pengujian *displacement* dengan beban 80 kg. **Gambar 8** menunjukkan tentang bagaimana struktur mendistribusikan dan menyerap beban *displacement* yang terukur mencerminkan kemampuan struktur untuk menahan beban tanpa mengalami kerusakan atau deformasi permanen agar struktur tetap berfungsi dengan baik dan tidak

menunjukkan tanda-tanda kegagalan. Pengujian *displacement* dengan beban 80 kg ini penting untuk memastikan struktur dapat beroperasi dengan aman dalam kondisi dinamis untuk mengevaluasi keamanan serta keandalan desain.

$$P = 80 \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 784,8 \text{ N}$$

$$L = 1000 \text{ mm}$$

$$E = 200.000 \text{ N/mm}^2$$

$$I = 100 \text{ mm}^4$$

$$\text{Maka, } \delta = \frac{(3 \times 784,8 \times 1000^3)}{(200.000 \times 100)} = 13,06 \text{ mm}$$

Hasil analisis *displacement* dengan beban 80 kg menunjukkan bahwa struktur mengalami pergeseran sebesar 13,06 mm. Meskipun nilai ini menunjukkan adanya deformasi, penting untuk dicatat bahwa *displacement* tersebut masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk aplikasi spesifik. Hal ini menandakan bahwa struktur mampu menahan beban yang diterapkan tanpa mengalami kerusakan atau deformasi permanen yang signifikan. *Displacement* yang terukur memberikan wawasan penting mengenai perilaku struktural di bawah beban. Nilai 13,06 mm menunjukkan bahwa struktur memiliki kemampuan untuk mendistribusikan beban dengan baik, sehingga mengurangi risiko kegagalan.



Gambar 9. Hasil pengujian displacement dengan beban 100 kg.

Hasil pengujian displacement dengan beban 100Kg. **Gambar 9** menunjukkan bagaimana struktur mendistribusikan dan menyerap beban *displacement* yang terukur mencerminkan kemampuan struktur untuk menahan beban tanpa mengalami kerusakan atau deformasi permanen. Pengujian displacement dengan beban 100 kg ini penting untuk memastikan bahwa struktur dapat beroperasi dengan aman dalam kondisi dinamis untuk memberikan gambaran tentang respons struktural rangka pompa di bawah beban maksimum dan membantu dalam mengevaluasi keamanan serta keandalan desain.

$$P = 100 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$L = 1000 \text{ mm}$$

$$E = 200.000 \text{ N/mm}^2$$

$$I = 100 \text{ mm}^4$$

$$\text{Maka, } \delta = \frac{(3 \times 9,81 \times 1000^3)}{(200.000 \times 100)} = 17,00 \text{ mm}$$

Hasil analisis displacement dengan beban 100 Kg menunjukkan bahwa struktur mengalami pergeseran sebesar 17,00 mm. Meskipun nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan hasil pengujian untuk beban yang lebih rendah, penting untuk dicatat bahwa displacement ini masih berada dalam batas

toleransi yang dapat diterima untuk aplikasi spesifik. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun beban yang diterapkan cukup signifikan, struktur tetap dapat berfungsi dengan baik tanpa mengalami deformasi permanen yang dapat mempengaruhi kinerja. Displacement yang terukur memberikan informasi penting mengenai respons struktural terhadap beban yang diterapkan. Dalam konteks ini, nilai 17,00 mm menunjukkan bahwa struktural memiliki kemampuan untuk mendistribusikan beban dengan efektif, sehingga mengurangi risiko kerusakan.

Menghitung Safety Factor

Pada **Tabel 1** hasil pengujian *stress analysis*, *displacement* dan *safety factor* memberikan informasi penting mengenai kinerja struktur rangka dibawah beban tertentu. Analisis *stress* bertujuan untuk mengevaluasi distribusi tegangan yang terjadi pada struktur ketika dikenakan beban dengan hasil yang menunjukkan area yang mengalami tegangan tertinggi yang berpotensi menjadi titik kegagalan. *Displacement* mengukur seberapa banyak struktur mengalami deformasi akibat beban yang penting untuk memastikan bahwa deformasi tersebut tidak melebihi batas yang diizinkan yang dapat menyebabkan kerusakan atau kegagalan fungsi. Faktor keamanan yang merupakan rasio antara kekuatan material dan tegangan yang terjadi pada kondisi beban maksimum memberikan gambaran tentang seberapa besar margin keamanan yang dimiliki struktur sebelum mencapai titik kegagalan. **Tabel 1** ini memberikan gambaran sesuatu yang dapat dilihat dari segala sisi secara menyeluruh tentang kinerja rangka pompa dibawah beban yang diuji dan membantu dalam menentukan apakah desain yang ada sudah memadai atau perlu dilakukan modifikasi untuk meningkatkan kekuatan dan keamanan struktur. Dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil pengujian.

Beban	Tegangan (Mpa)	Displacement (mm)	Safety Factor
50 Kg	24,525	8,17	10,18
80 Kg	39,24	13,06	6,37
100 Kg	49,05	17,00	5,09

Hasil pengujian *safety factor* dengan Beban 50kg

$$\text{Rumus: } SF = \frac{\sigma_{\text{yield}}}{\sigma}$$

$$\sigma_{\text{yield}} = 250 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = 24,525 \text{ Mpa}$$

$$\text{Maka, } SF = \frac{250 \text{ MPa}}{24,525 \text{ MPa}} = 10,18$$

Hasil analisis *safety factor* dengan beban 50 kg menunjukkan bahwa struktur memiliki faktor keamanan sebesar 10,18. Nilai ini sangat mengesankan dan menunjukkan bahwa struktur di rancang dengan baik untuk menahan beban yang diterapkan. *Safety factor* yang tinggi ini mengindikasikan bahwa struktur mampu menahan beban lebih dari sepuluh kali lipat dari beban maksimum yang diharapkan sebelum mencapai titik kegagalan. Faktor keamanan sebesar 10,18 memberikan keyakinan yang kuat bahwa desain rangka pompa seri paralel tidak hanya memenuhi, tetapi juga melampaui standar keselamatan yang diperlukan. Analisis ini juga menunjukkan bahwa material yang digunakan dalam konstruksi memiliki kekuatan yang cukup untuk mendukung beban yang diterapkan,

sehingga mengurangi risiko deformasi permanen atau kegagalan struktural [11].

Hasil pengujian *safety factor* dengan beban 80 kg

$$\sigma_{\text{yield}} = 250 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = 39,24 \text{ Mpa}$$

$$\text{Maka, SF} = \frac{250 \text{ MPa}}{39,24 \text{ MPa}} = 6,37$$

Hasil analisis dengan beban 80 kg menunjukkan bahwa struktur rangka memiliki faktor keamanan sebesar 6,37. Nilai ini menandakan bahwa desain rangka pompa seri paralel masih memiliki margin keamanan yang baik, meskipun beban yang diterapkan lebih tinggi dari pengujian sebelumnya. Faktor keamanan sebesar 6,37 berarti rangka mampu menahan beban lebih dari enam kali lipat dari beban maksimum sebelum mengalami kegagalan. Nilai ini menunjukkan bahwa struktur memiliki ketahanan yang baik terhadap beban statis dan dinamis, serta tetap aman saat terjadi fluktuasi beban. Hasil ini juga memperlihatkan bahwa material yang digunakan cukup kuat untuk menahan beban tanpa mengalami deformasi permanen atau kerusakan struktural. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa rangka pompa dirancang dengan baik, kuat, dan andal untuk kondisi operasional yang berat.

Hasil pengujian *safety factor* dengan beban 100 kg

$$\sigma_{\text{yield}} = 250 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = 49,05 \text{ Mpa}$$

$$\text{Maka, SF} = \frac{250 \text{ MPa}}{49,05 \text{ MPa}} = 5,09$$

Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan beban 100 kg, struktur rangka memiliki faktor keamanan (*safety factor*) sebesar 5,09. Meskipun nilai ini sedikit lebih rendah dibandingkan pengujian sebelumnya, angka tersebut masih menunjukkan bahwa desain rangka pompa seri paralel memiliki margin keamanan yang memadai. Nilai faktor keamanan di atas 5,0 mengindikasikan bahwa struktur mampu menahan beban lebih dari lima kali lipat dari beban maksimum sebelum mengalami kegagalan. Hal ini membuktikan bahwa rangka memiliki ketahanan yang baik terhadap beban statis maupun dinamis, serta tetap stabil saat terjadi fluktuasi beban. Selain itu, hasil analisis juga memperlihatkan bahwa material konstruksi memiliki kekuatan yang cukup untuk mendukung beban maksimum tanpa mengalami deformasi permanen atau kerusakan struktural. Dengan demikian, rangka pompa dinyatakan aman dan andal untuk digunakan pada aplikasi yang memerlukan kekuatan serta stabilitas tinggi.

Hasil pengujian FEM

Analisis keamanan rangka pompa dilakukan berdasarkan hasil pengujian terhadap tegangan (*stress*), perpindahan (*displacement*), dan faktor keamanan (*safety factor*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa *safety factor* sebesar 2,06, menandakan struktur mampu menahan beban lebih dari dua kali lipat dari beban maksimum yang dirancang, sehingga aman digunakan pada kondisi dinamis. Nilai tegangan maksimum (*Von Mises*) sebesar 100,4 MPa masih jauh di bawah batas luluh (*yield*

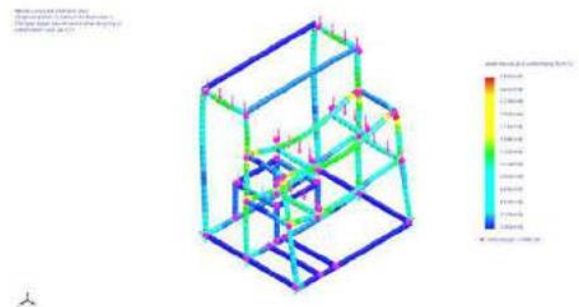
strength) material *mild steel* yaitu 250–400 MPa, sehingga struktur tidak mengalami deformasi permanen.

Pada beban 50 kg, diperoleh *displacement* sebesar 8,17 mm, yang masih dalam batas toleransi. Pengujian tambahan pada beban 80 kg dan 100 kg juga menunjukkan hasil aman, dengan nilai tegangan masing-masing 39,24 MPa dan 49,05 MPa, jauh di bawah batas kekuatan material. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa rangka pompa seri paralel aman dan stabil, mampu menahan beban tanpa mengalami kerusakan signifikan. Namun, pemantauan dan evaluasi berkala tetap diperlukan untuk memastikan keandalan struktur selama masa pakainya. Selain itu, pada komponen *Angle Iron*, diperoleh faktor keamanan sebesar 13 untuk beban 50 kg (500 N), sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 2. Hasil pengujian rangka.

Hasil pengujian Rangka							
No	Variabel	Stress		Displacement		Safety Factor	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	Hollow ASTM A500	0	2.633 X 10 ⁵ N/m ²	0	3.828 X 10 ⁻² mm	0	94
2	Angle Iron A36	0	1.899 X 10 ⁴ N/m ²	0	1.070 x 10 ¹ mm	0	13

Hasil *stress analysis* dengan material *Angle Iron A36* yaitu berada di angka 1,899x10⁴ N/m², bahwa nilai tersebut kecil jika akan digunakan untuk dibuat perancangan pada rangka mesin atau kurang baik jika segi nilai rangka karena nilai *stress analysis* di bawah *yield strength* 2.500x10⁵N/m. Dapat dilihat pada Gambar 10.



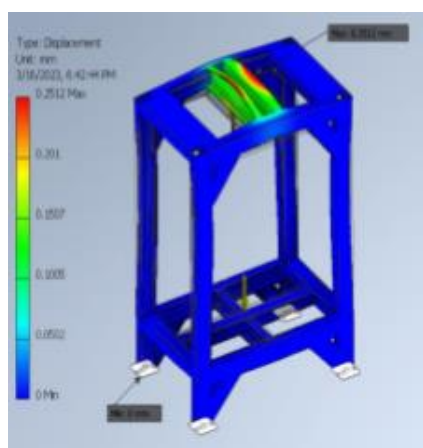
Gambar 10. Hasil pengujian menggunakan ASTM A500.

Pada penelitian [4]. dilakukan analisis terhadap parameter deformasi dan *displacement*. Material yang digunakan adalah *mild steel* dengan ukuran 880 mm × 545 mm × 1200 mm. Pengujian dilakukan dengan beban 1000 kg (≈ 9800 N), dan hasilnya menunjukkan bahwa struktur dinyatakan aman dengan *safety factor* sebesar 2,06, yang masih berada dalam rentang aman untuk pembebanan dinamis (2,0–3,0). Nilai tegangan maksimum *Von Mises* yang diperoleh pada pembebanan tersebut adalah 100,4 MPa, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai von mises stress maksimum.

Simulation type	Stress Analysis
Variabel beban	700 Kg (6864 N) 1000 Kg (9800 N) 1500 Kg (14709 N)
Average Element Size	0,1 mm
Min Element Size	0,1 mm
Safety Factor	Yield Strength
Jumlah Nodes	101.898
Jumlah Element	52.372

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada beban 1000 kg, rangka mesin pres batako mengalami displacement maksimum sebesar 0,36 mm. Sementara pada beban 1500 kg, nilai displacement maksimum meningkat menjadi 0,54 mm. Perbandingan hasil simulasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil pengujian menggunakan material mild steel.

Pengujian kekuatan rangka dilakukan untuk memastikan bahwa struktur dapat menahan beban tanpa mengalami kerusakan atau deformasi berlebihan, sehingga tetap aman dan andal saat digunakan. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui titik lemah desain, menilai kualitas material, serta memastikan bahwa rangka memenuhi standar keselamatan dan spesifikasi teknis yang berlaku [12].

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rangka mampu menahan beban sesuai batas yang diizinkan. Pada pengujian statis, tidak ditemukan retakan atau kerusakan signifikan, sedangkan analisis dinamis menunjukkan respon struktur yang baik terhadap beban berulang. Namun, terdapat beberapa titik lemah pada bagian sambungan yang perlu diperhatikan untuk perbaikan desain. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa rangka sudah memenuhi kriteria keselamatan dan kinerja yang diharapkan, meskipun evaluasi lanjutan tetap diperlukan untuk memastikan keandalan jangka panjang [13].

3 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, rangka pompa seri paralel terbukti mampu menahan beban dengan aman. Nilai safety factor sebesar 2,06 menunjukkan bahwa desain rangka sudah memenuhi

standar keamanan, karena mampu menahan beban lebih dari dua kali lipat dari beban maksimumnya. Nilai tegangan maksimum (Von Mises) yang tercatat sebesar 100,4 MPa masih jauh di bawah batas kekuatan luluh (yield strength) material *mild steel* yang berkisar antara 250–400 MPa, sehingga struktur tidak mengalami deformasi permanen. Selain itu, displacement pada beban 50 kg hanya 8,17 mm, masih dalam batas toleransi yang dapat diterima. Hasil uji dengan beban tambahan juga menunjukkan bahwa tegangan tetap berada dalam batas aman. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa rangka pompa seri paralel aman, kuat, dan dapat diandalkan untuk digunakan pada aplikasi struktural.

References

- [1] I. Ta. Maulana, "Maulana dkk, 2021," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 5, no. 2, pp. 83–89, 2021. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v5i2.894>
- [2] A. D. Prayitno and F. Rhozman, "Analisis Kekuatan Rangka Mesin Pencampur Irisan Bawang Merah Dengan Tepung Kapasitas 20 Kilogram," *Pros. SEMNAS INOTEK (Seminar Nas. Inov. Teknol.*, vol. 7, no. 3, pp. 1145–1158, 2023.
- [3] I. Dumyati and S. Nurhaji, "Modeling dan Simulasi Finite Element Analysis pada Segitiga T Sepeda Motor Menggunakan Software Ansys 2023," *Quantum Tek. J. Tek. Mesin Terap.*, vol. 5, no. 1, pp. 26–30, 2023, doi: 10.18196/jqt.v5i1.19012. <https://doi.org/10.18196/jqt.v5i1.19012>
- [4] A. Pratama and D. Agusman, "Desain dan Analisis Kekuatan Rangka Mesin Pres Batako Menggunakan Finite Element Method," *J. Asimetrik J. Ilm. Rekayasa Inov.*, vol. 5, pp. 221–230, 2023, doi: 10.35814/asiimetrik.v5i2.4658. <https://doi.org/10.35814/asiimetrik.v5i2.4658>
- [5] L. T. R. I. Kusuma, P. Studi, T. Mesin, F. Teknik, U. Nusantara, and P. Kediri, "Kacang Tanah Menggunakan Software," *NBER Work. Pap.*, p. 89, 2023.
- [6] M. Sean Hendito, D. Joachim, H. Tanujaya, and S. Yamin Lubis, "Analisis Kekuatan Rangka Batang Komponen Mesin Press Kemasan Minuman Logam Non Ferro," *Poros*, vol. 17, no. 2, pp. 105–110, 2021, doi: 10.24912/poros.v17i2.20044. <https://doi.org/10.24912/poros.v17i2.20044>
- [7] L. A. N. Wibawa, "Desain dan Analisis Kekuatan Rangka Tricycle Landing Gear UAV Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Mechanical*, vol. 9, no. 2, p. 33, 2019, doi: 10.23960/mech.v9.i2.201806. <https://doi.org/10.23960/mech.v9.i2.201806>
- [8] I. Sungkono, H. Irawan, and D. A. Patriawan, "Analisis Desain Rangka Dan Penggerak Alat Pembulat Adonan Kosmetik Sistem Putaran Eksentrik Menggunakan Solidwork," pp. 575–580, 1995.
- [9] F. Azharul, D. Ariyana, Wilarsa, Rahmawati, and Mujiarto, "Design and development of bending part band-42," in *AIP Conference Proceedings*, 2023. doi: 10.1063/5.0128303. <https://doi.org/10.1063/5.0128303>
- [10] Firmansyah Azharul, Mohammad Fadel, and Rahmawati, "MENGHITUNG TEGANGAN STATIK

- PADA STRUKTUR RANGKA SEPEDA BMX MENGGUNAKAN SOFTWARE CATIA,” *TEKNOSAINS J. Sains, Teknol. dan Inform.*, vol. 7, no. 2, 2020, doi: 10.37373/tekno.v7i2.28. <https://doi.org/10.37373/tekno.v7i2.28>
- [11] M. Fahmi, A. Armila, and R. Kurniawan Arief, “Analisis Kekuatan Rangka Mesin Pengupas Kulit Kopi Menggunakan Software Solidworks Dengan Metode Elemen Hingg,” *Ensiklopedia Res. Community Serv. Rev.*, vol. 1, no. 3, pp. 65–76, 2022, doi: 10.33559/err.v1i3.1238. <https://doi.org/10.33559/err.v1i3.1238>
- [12] A. Harahap, “Simulasi Pembebanan Pada Shackle Menggunakan Perangkat Lunak Ansys APDL 15.0,” *J. Mech. Eng. Manuf. Mater. Energy*, vol. 4, no. 1, pp. 74–84, 2020, doi: 10.31289/jmemme.v4i1.3811. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i1.3811>
- [13] D. Intifada, R. Setiawan, and I. Dirja, “Analisis Kekuatan Rangka Mesin Padi Menggunakan Software Solidwork 2022,” vol. IX, no. 3, pp. 9810–9818, 2024.