

Studi Analisis Statik Pallet Plastik untuk Aplikasi Logistik Menggunakan

Metode *Finite Element Analysis* (FEA)

Halim Mauludin^{a,1,*}, Dani Mardiyana^{a,2}.

^a Program Studi Teknik Mesin, Universitas Nusa Putra, Sukabumi, Jawa Barat, 43152, Indonesia

¹ halim.mauludin_tm20@nusaputra.ac.id*; ² dani.mardiyana@nusaputra.ac.id;

* Corresponding Author

ABSTRAK

Pallet plastik merupakan komponen penting dalam sistem logistik modern karena keunggulannya yang ringan, tahan lembab, dan ramah lingkungan. Namun, daya tahan strukturalnya terhadap beban statik masih menjadi perhatian utama dalam penggunaannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan dan ketahanan struktural pallet plastik berbahan *Polypropylene* (PP) menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Proses simulasi melibatkan pemodelan geometri 3D, penentuan material, kondisi batas, pembebanan, dan pembuatan mesh dalam lingkungan perangkat lunak Solidworks. Hasil simulasi menunjukkan nilai tegangan maksimum sebesar 1,79 MPa, dengan *displacement* maksimum 0,366 mm pada area tengah pallet. Faktor keamanan (*Safety Factor*) diperoleh sebesar 15,43 yang berada jauh di atas ambang aman (>1,5). Temuan ini mengindikasikan bahwa desain dan material pallet memiliki ketahanan struktural yang baik dan layak digunakan dalam sistem logistik tanpa risiko kegagalan. Studi ini juga memberikan landasan untuk pengembangan desain pallet yang lebih efisien dan kuat di masa depan.

KATA KUNCI

Finite Element Analysis
Pallet
Polypropylene
Von Mises Stress
Displacement
Safety Factor

1. Pendahuluan

Dalam dunia industri dan logistik modern, pallet merupakan salah satu komponen penting dalam sistem penyimpanan dan distribusi barang. Penggunaan pallet memungkinkan efisiensi dalam proses pemindahan, penyimpanan dan pengangkutan produk dalam skala besar. Seiring dengan berkembangnya teknologi material dan tuntutan efisiensi biaya, pallet plastik semakin banyak digunakan sebagai alternatif dari pallet kayu atau logam, terutama karena sifatnya yang ringan, tahan terhadap kelembapan, bebas hama serta ramah lingkungan [1]. Namun, meskipun memiliki banyak keunggulan, pallet plastik juga memiliki keterbatasan struktural yang perlu diperhitungkan, terutama dalam menahan beban statik dan dinamik selama proses logistik. Oleh karena itu diperlukan analisis teknis untuk mengevaluasi kekuatan dan ketahanan struktural dari desain pallet plastik agar dapat digunakan secara aman dan efisien dalam berbagai kondisi pembebanan [2].

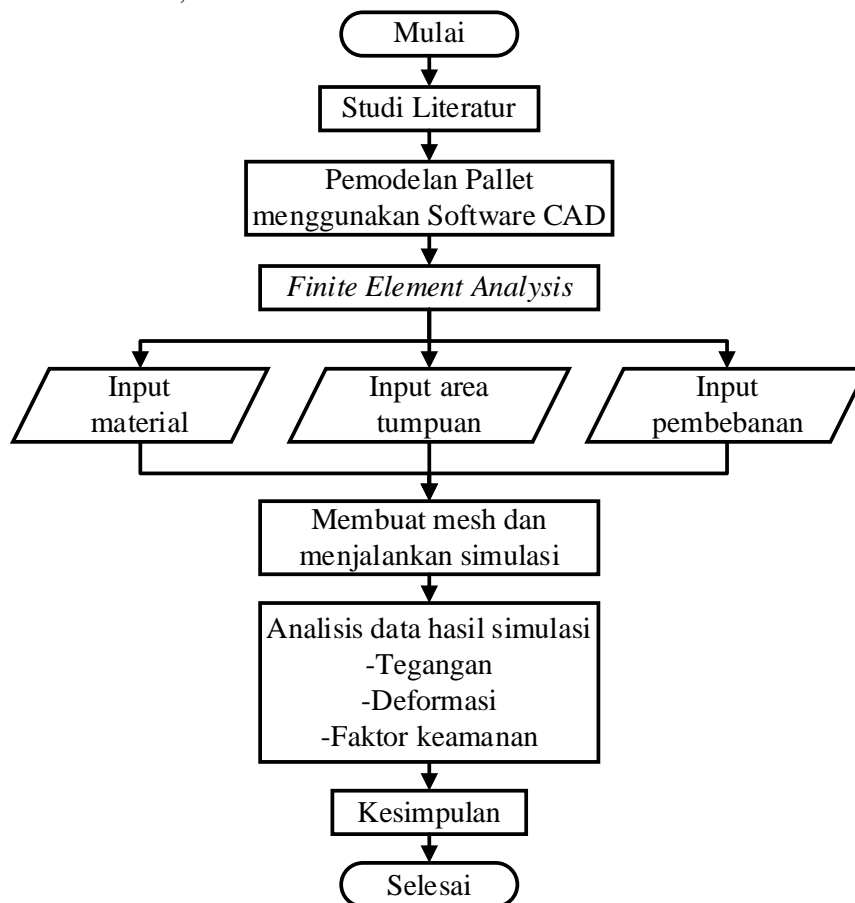
Salah satu metode analisis yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kekuatan dan ketahanan pallet tersebut yaitu *Finite Element Analysis* (FEA) yang merupakan metode numerik dengan cara memecah struktur kompleks menjadi elemen-elemen kecil. Metode ini sangat efektif dalam menganalisis perilaku struktural suatu komponen dibawah kondisi pembebanan tertentu. Dengan menggunakan FEA, distribusi tegangan, deformasi serta potensi titik lemah pada struktural pallet dapat diketahui secara detail tanpa harus melalui proses uji coba fisik yang memakan biaya dan waktu [3][4].

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis statik terhadap struktur pallet plastik menggunakan metode FEA, dengan fokus pada aplikasi sistem logistik. Studi ini akan mengidentifikasi area kritis pada desain pallet, serta memberikan dasar bagi pengembangan atau optimasi desain dimasa depan.

2. Metode dan Material

Penelitian ini menerapkan metode *Finite Element Analysis* (FEA) sebagai pendekatan utama untuk menganalisis perilaku struktural pallet plastik dibawah pembebanan statik. FEA merupakan teknik numerik berbasis komputer yang efektif untuk menyelesaikan masalah teknik kompleks dengan membagi objek menjadi elemen-elemen kecil sehingga memungkinkan simulasi yang akurat terhadap respon struktural suatu objek [5]. Alur penelitian ini diuraikan melalui gambar 2.1 diagram alir yang menggambarkan proses penelitian menggunakan metode FEA yang melibatkan beberapa tahapan yaitu

studi literatur, pemodelan geometri, penentuan properti material, mendefinisikan kondisi batas dan area pembebanan, pembuatan mesh, melakukan simulasi serta analisis hasil simulasi.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

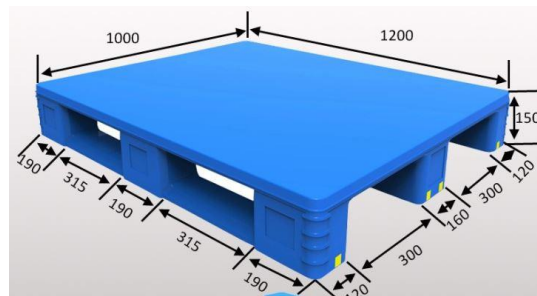
2.1 Finite Element Analysis

Finite Element Analysis (FEA) adalah metode numerik yang digunakan secara luas dalam rekayasa teknik untuk menyelesaikan permasalahan yang kompleks, khususnya yang melibatkan struktur, material dan sistem mekanik yang pertama kali muncul pada awal 1940-an yang awalnya digunakan untuk analisis tegangan pada struktur pesawat dan jembatan, namun seiring perkembangannya FEA digunakan dalam aplikasi teknik dan sains seperti biomekanik, elektroteknik hingga nanoteknologi [6]. FEA memecah masalah struktur kontinu menjadi elemen-elemen diskrit yang saling berhubungan melalui node, dan kemudian menyelesaikan sistem persamaan numerik untuk memprediksi respons mekanik, termal, maupun fisik lainnya dari sistem tersebut.

Metode FEA terdiri dari beberapa tahap yaitu tahap pembuatan model geometri, pembuatan mesh dan menentukan kondisi batas serta properti material, dan tahap visualisasi atau menampilkan hasil simulasi berupa distribusi tegangan, deformasi dan faktor keamanan. FEA memiliki kelemahan dimana keakuratan dari hasil simulasi sangat tergantung pada kualitas input seperti mesh, parameter material dan kondisi batasnya [7].

2.2 Pemodelan Geometri Pallet

Pada tahap ini, proses pemodelan geometri pallet dilakukan menggunakan perangkat lunak Solidworks, sebuah software CAD (*Computer Aided Design*) yang banyak digunakan dalam bidang teknik untuk membuat model 3D secara presisi. Pallet yang dimodelkan disesuaikan dengan dimensi dan bentuk nyata yang digunakan dalam sistem logistik dengan dimensi pallet seperti pada gambar 2, yang selanjutnya akan dilakukan simulasi pembebanan statik.



Gambar 2. Model 3D Pallet

2.3 Material Pallet

Dalam studi ini, material yang digunakan untuk proses simulasi pada pallet plastik adalah *Polypropylene (PP)*, suatu jenis polimer termoplastik yang dikenal karena sifat mekaniknya yang baik, ringan serta tahan terhadap bahan kimia dan kelembapan. PP banyak digunakan dalam aplikasi logistik karena kemampuannya menahan beban dan ketahanan terhadap deformasi permanen. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Liao dan Tsai (2022), PP daur ulang yang dipakai sebagai material pallet plastik menunjukkan stabilitas dimensi yang baik dan ketahanan terhadap deformasi pada struktur pallet berukuran besar [1][8]. adapun properti material *Polypropylene (PP)* yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Properti Material Polypropylene (PP)

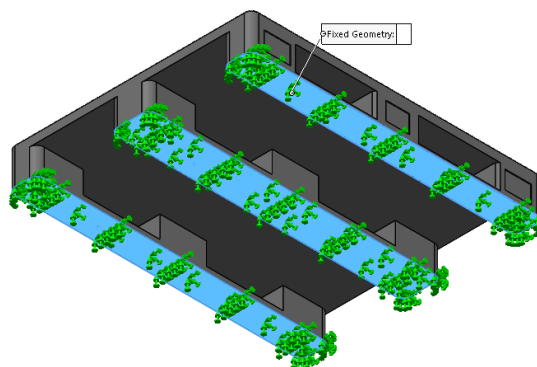
Properti	Nilai
<i>Density</i>	0,9 g/cm ³
<i>Elongation at Break</i>	12%
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	23 Mpa
<i>Young's Modulus</i>	1,1 GPa
<i>Flexural Strength</i>	31 Mpa
<i>Flexural Modulus</i>	1,3 GPa

2.4 Setup Kondisi Batas

Dalam analisis struktur menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)*, setup kondisi batas sangat krusial agar simulasi dapat mencerminkan kondisi aktual saat pallet digunakan dalam sistem logistik. Setup kondisi batas ini mencakup penentuan area yang menjadi tumpuan utamanya serta menentukan area yang terkena beban langsung.

2.4.1 Mendefinisikan Area Tumpuan

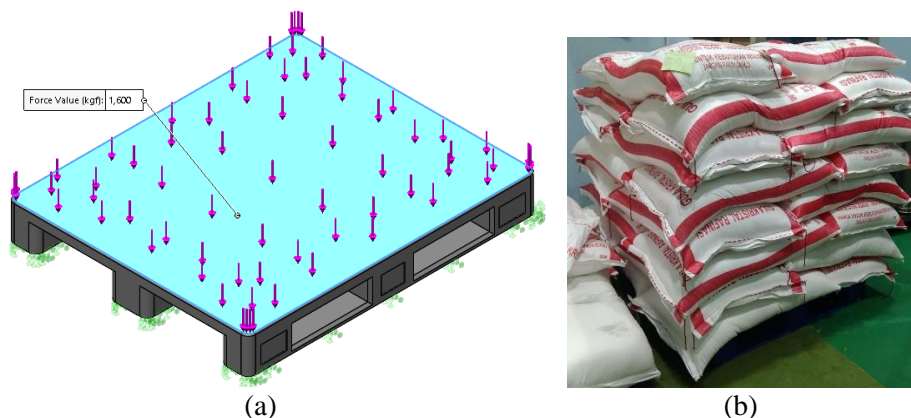
Penentuan area tumpuan (Support) pada pallet berada pada bagian bawah pallet yang bersentuhan langsung dengan lantai atau alat angkut seperti forklif dan area tersebut dianggap sebagai area *Fixed Support*, sehingga pergerakan pada arah vertikal dan horizontal dikunci. Hal ini dilakukan untuk meniru kondisi nyata di mana bagian bawah pallet yang menahan beban tanpa ada pergeseran.



Gambar 3. Menentukan Area Tumpuan

2.4.2 Mendefinisikan Area Pembebanan

Beban diterapkan pada area permukaan atas pallet dalam bentuk beban merata (*uniform distributed load*), yang menggambarkan distribusi massa dari barang yang diletakkan di atas. Beban ini dinyatakan dalam satuan gaya (N) dan diarahkan vertikal ke bawah. Penempatan beban diatur dengan sedemikian rupa agar mendekati distribusi aktual pada kondisi nyata. Beban yang diterapkan pada simulasi disesuaikan dengan beban aktualnya, di mana satu pallet biasa menahan beban total sebesar 1.600 kg atau 15690.64 N seperti pada gambar 4 (b)



Gambar 4. Menentukan Area Pembebanan

2.5 Pembuatan Mesh

Setelah pemodelan geometri dan kondisi batas ditentukan, tahap berikutnya adalah pembuatan mesh, yaitu proses membagi model menjadi elemen-elemen kecil (*finite elements*) untuk menyelesaikan persamaan numerik dari respon mekanis struktur. Ukuran mesh disesuaikan karena mesh yang terlalu kasar dapat menghasilkan hasil yang kurang akurat, sedangkan mesh yang terlalu halus dapat memakan waktu komputasi yang jauh lebih besar, oleh karena itu pemilihan ukuran mesh dapat mempertimbangkan keseimbangan antara akurasi dan efisiensi komputasi. Dalam studi ini dilakukan pembuatan mesh dengan spesifikasi sebagai berikut.

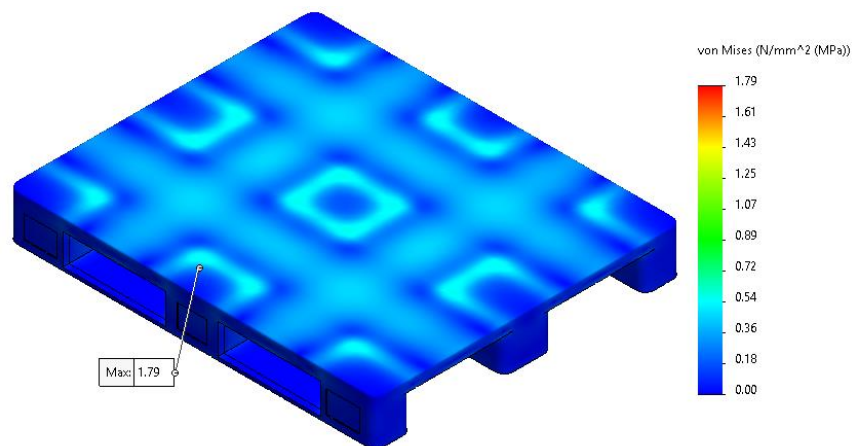
Tabel 2. Spesifikasi Mesh

Properti	Nilai
<i>Mesh Type</i>	<i>Solid Mesh</i>
<i>Element Size</i>	21,3 mm
<i>Mesh Quality</i>	<i>High</i>
<i>Total Nodes</i>	93928
<i>Total Elements</i>	57273

3. Hasil dan Pembahasan

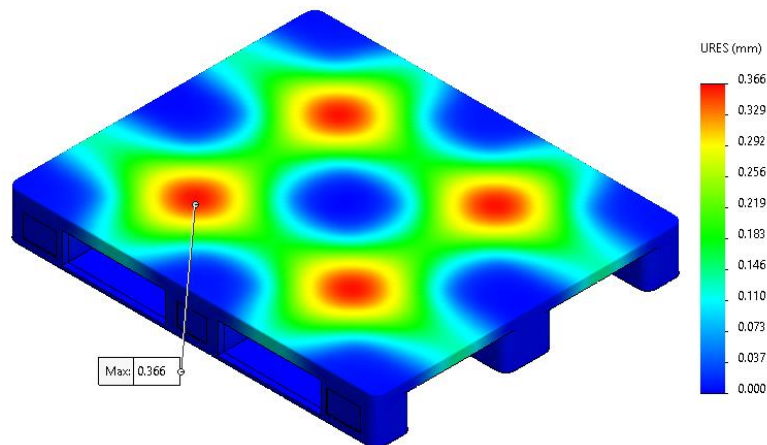
3.1 Tegangan

Hasil simulasi menggunakan metode *Finite Elements Analysis (FEA)* menghasilkan distribusi tegangan Von Mises pada struktur pallet berbahan *Polypropylene (PP)*, dari hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada area di bawah yang berdekatan dengan bagian struktur penyangga pallet, terutama di titik-titik sambungan atau sudut dalam pallet dengan nilai tegangan maksimum sebesar 1,79 MPa. Distribusi tegangan yang merata dan tidak menunjukkan konsentrasi ekstrim menandakan bahwa desain geometri pallet memiliki stabilitas yang cukup baik.



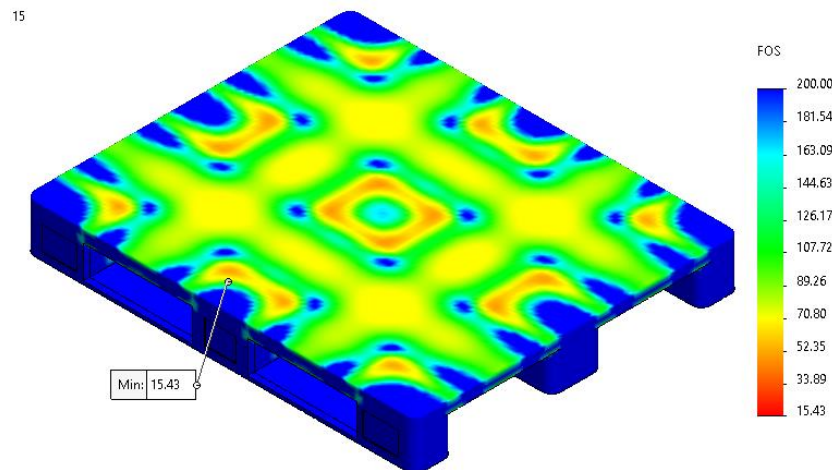
3.2 Displacement

Displacement atau perpindahan maksimum akibat beban yang diberikan juga dianalisis dalam simulasi ini. Nilai *displacement* tertinggi terjadi pada area tengah atas permukaan pallet, yaitu area dengan titik terjauh dari tumpuan dengan nilai defleksi maksimum sebesar 0,366 mm. Meskipun terdapat deformasi, nilai perpindahan pada pallet masih tergolong cukup kecil dan tidak mengganggu fungsi pallet dalam menahan dan menjaga kestabilan beban. Ini menunjukkan bahwa *Stiffness* material *Polypropylene* dan struktur geometri pallet cukup baik dalam menahan deformasi di bawah beban kerja maksimum.



3.3 Faktor Keamanan

Faktor keamanan dihitung berdasarkan perbandingan antara kekuatan maksimum material dan tegangan maksimum hasil simulasi. Dari hasil simulasi, nilai faktor keamanan (SF) berada di atas ambang minimum yang direkomendasikan, yaitu > 1.5 , yaitu sebesar 15,43 yang menandakan bahwa desain pallet masih berada dalam batas aman terhadap kemungkinan kegagalan struktural. Faktor keamanan yang tinggi juga menunjukkan bahwa struktur pallet masih mampu menahan beban lebih besar dari kondisi simulasi tanpa mengalami kerusakan, meskipun tetap disarankan tidak melampaui kapasitas kerja agar umur pakai tetap optimal.



4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis statik menggunakan metode *Finite Elements Analysis (FEA)*, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan maksimum yang terjadi pada struktur pallet plastik berbahan Polypropylene (PP) adalah sebesar 1,79 MPa, yang masih jauh di bawah kekuatan tarik material, sehingga tidak menunjukkan potensi kegagalan struktural. Serta tegangan yang terjadi tidak menunjukkan konsentrasi ekstrem, membuktikan bahwa desain geometri pallet stabil dan efisien secara struktural.
2. *Displacement* maksimum yang terjadi akibat pembebanan statik sebesar 1.600 kg adalah sebesar 0,366 mm, yang tergolong kecil dan tidak mengganggu fungsi utama pallet dalam menahan beban.
3. Faktor keamanan (*Safety Factor*) yang diperoleh dari simulasi adalah 15,43, jauh melebihi ambang minimum aman yaitu 1,5. Ini menandakan bahwa struktur pallet sangat aman digunakan bahkan untuk beban yang lebih besar.
4. Metode Finite Element Analysis (FEA) efektif digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktural pallet, serta dapat menjadi landasan optimasi desain pada pengembangan produk selanjutnya.

Daftar Pustaka

- [1] C. Der Cheng, Y. L. Liao, and H. H. Tsai, "Investigation of the Warpage of a High-Density Polyethylene Pallet by Plastic Injection Compression Molding: Part I—Numerical Approach," *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 7, 2022, doi: 10.3390/polym14071437.
- [2] C. Kung, S. Yong Chen, T. Tan Liao, and T. Ming Chou, "Finite Element Modeling to a Pallet with Repeated Lattice Pattern," *Trans Tech Publications, Ltd.*, vol. 145, pp. 88–92, 2011.
- [3] T. M. Arief, "Analisis Kekuatan Struktur Pallet Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 7, no. 1, pp. 63–72, 2015.
- [4] R. Waluyo, A. R. Ahmad, G. E. Pramono, and F. Fahrulrizal, "Perancangan dan Analisis Kekuatan Rangka Cetakan Komposit Kayu-Plastik Menggunakan Finite Element Analysis," *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 5, no. 1, p. 63, 2020, doi: 10.31544/jtera.v5.i1.2019.63-72.
- [5] 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.
- [6] W. K. Liu, S. Li, and H. S. Park, "Eighty years of the finite element method: Birth, Evolution, and Future," pp. 1–30, 2018.
- [7] L. Hotma *et al.*, "Mesh Convergence Test By Using Finite Element Analysis (Fea) in Shaft

-
- Loading of 2 Kw Induction Motor,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 3, pp. 1271–1280, 2024, doi: 10.21776/jrm.v15i3.1516.
- [8] Y. Liao and H. Tsai, “A Comparison of Numerical and Actual Measurements of Large-Scale Rib-Structured Pallet Flatness Using Recycled Polypropylene in Injection Molding,” 2022.