



ANALISIS STATIK LINEAR STRUKTUR CRANE MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA BERBASIS SIMULASI BEAM PADA BERBAGAI MATERIAL DAN KONDISI PEMBEBANAN

An-Nisa Magnolia^{1,*}

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brodjonegoro, No.1, Gedung Meneng, Bandar Lampung, 35145, Indonesia

* e – mail : annisa.magnolia@eng.unila.ac.id

Received : 24-11-2025, Accepted : 07-12-2025

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur crane menggunakan metode elemen hingga berbasis *SimScale*. Fokus penelitian ini adalah pada evaluasi distribusi tegangan *Von Mises* dan deformasi yang disebabkan oleh variasi material, kondisi batas, dan pembebanan statik linear. Model *crane* 3D dianalisis dengan konfigurasi *fixed support* dan gaya eksternal yang diterapkan pada titik beban utama. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum tetap berada di bawah batas kekuatan luluh material baja, dengan displacement terbesar terjadi pada titik *hook crane*. Analisis multi-material mengungkapkan bahwa baja lebih optimal dibandingkan aluminium dan beton untuk aplikasi beban tinggi. Optimasi desain melalui penambahan *stiffener* lokal efektif menurunkan tegangan dan memperpanjang umur struktur. Penelitian ini membuktikan efektivitas metode elemen hingga sebagai alat rekayasa, validasi, dan optimasi struktur *crane*, yang mendukung kebutuhan industri dalam merancang *crane* yang lebih efisien dan aman.

Kata Kunci: Crane; Elemen Hingga; Von Mises; Simulasi Numerik; Struktur Teknik.

Abstract

This study aims to analyze the crane structure using the Finite Element Method based on SimScale. The focus of this research is on evaluating the distribution of Von Mises stress and deformation caused by variations in material, boundary conditions, and linear static loading. A 3D crane model is analyzed with a fixed support configuration and external force applied at the main load point. The simulation results show that the maximum stress remains below the yield strength limit of steel material, with the largest displacement occurring at the crane hook point. Multi-material analysis reveals that steel is more optimal compared to aluminum and concrete for high-load applications. Design optimization through the addition of local stiffeners effectively reduces stress and extends the structural lifespan. This research demonstrates the effectiveness of the Finite Element Method as a tool for engineering, validation, and optimization of crane structures, supporting the industrial need for more efficient and safer crane designs.

Keywords: Crane; Finite Element; Von Mises; Numerical Simulation; Structural Engineering.

1. PENDAHULUAN

Crane merupakan alat penting di industri konstruksi, manufaktur, dan logistik karena mampu memindahkan beban berat secara vertikal maupun horizontal. Untuk mencegah kegagalan struktur dan kecelakaan kerja, desain *crane* harus mengikuti standar keselamatan internasional. Pada penelitian [1] menyebutkan bahwa kebutuhan kapasitas angkat yang semakin besar membuat desain crane modern menjadi lebih kompleks, sehingga analisis beban statik, dinamis, dan siklik perlu

dilakukan dengan lebih cermat. Kemajuan metode numerik telah mendorong penggunaan *Finite Element Method* (FEM) sebagai alat utama dalam analisis *crane*. Pada penelitian [2] mengembangkan model *girder overhead crane* berbasis FEM untuk memprediksi tegangan, defleksi, dan distribusi gaya secara detail, sehingga titik lemah struktur dapat diidentifikasi sebelum proses fabrikasi.

Pembebanan statik tetap menjadi aspek penting dalam menilai respons elastis *crane*. Pada *jib tower crane Potain MD 900* menunjukkan bahwa redesign struktur mampu menurunkan tegangan maksimum dari 149,488 MPa menjadi 78,444 MPa, sekaligus meningkatkan umur kelelahan dari 910.377 menjadi 2.602.671 siklus. Pemilihan material juga berpengaruh besar pada performa *crane*. Pada penelitian [3] menegaskan bahwa baja struktural lebih unggul dibanding material lainnya karena memiliki redaman getaran yang baik, kekuatan tinggi, dan lebih efisien untuk proses fabrikasi dan adaptasi desain.

Penentuan *boundary condition* pada simulasi sangat memengaruhi akurasi analisis. Pada penelitian [4] menunjukkan bahwa penggunaan *fixed support* dan pemberian beban hingga 13.100 kg pada jarak 60 meter memberikan gambaran distribusi tegangan yang realistis terhadap kondisi lapangan. Kelelahan material (*fatigue*) menjadi isu penting pada *crane* yang bekerja dengan siklus pengangkatan berulang. Analisis *fatigue* pada RTG *crane* menggunakan metode *Palmgren-Miner* menghasilkan estimasi umur struktur hingga 128 tahun, menunjukkan perlunya evaluasi kelelahan untuk memastikan keamanan jangka panjang.

Aspek mekanika dan energi kinetik juga memengaruhi tegangan dan displacement, terutama pada sling dan member utama. Simulasi menunjukkan bahwa kecepatan angkat 0,28 ft/s dapat menghasilkan tegangan hingga 24,57 ksi, sehingga kontrol percepatan dan kecepatan pengangkatan sangat diperlukan. Optimasi topologi menjadi strategi baru dalam desain *crane*. Pada penelitian [5] membuktikan bahwa optimasi material dapat mengontrol gaya aksial, geser, dan momen secara lebih efektif, serta mengurangi risiko kegagalan lokal maupun global akibat perubahan pusat massa. Pada sisi bangunan pendukung *crane*, Pada penelitian [6] menunjukkan bahwa struktur beton bertulang dapat menahan gaya geser dan gempa hingga 277,352 kN tanpa melampaui batas desain. Integrasi analisis gempa dan beban *crane* diperlukan untuk memastikan keselamatan struktur *workshop* secara keseluruhan.



Gambar 1. Lengan dan Hook Crane

Lengan dan *hook crane* merupakan komponen utama yang memerlukan perhatian khusus dalam proses perancangan. Analisis FEM pada hook crane harus memastikan distribusi tegangan berada di bawah batas luluh material melalui evaluasi bentuk geometri dan desain penampang. Studi oleh [7] menunjukkan bahwa hook standar dengan pembebanan 9.000 kg masih berada dalam batas aman untuk baja struktural.

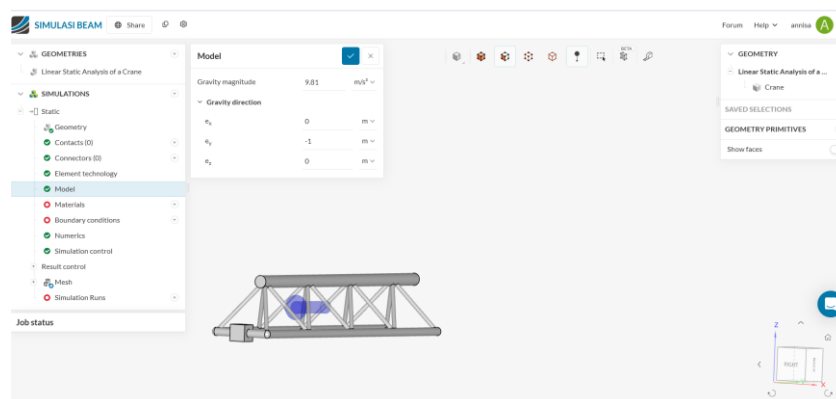
Pada *tower crane*, memasukkan pengaruh pembebanan dinamis dan gaya ayun langsung ke dalam model simulasi. Dengan mempertimbangkan massa, jarak, gaya angkat, angin, dan fatigue, model matematika yang dikembangkan mampu memprediksi gaya ayun dan kondisi kerja riil di lapangan secara lebih akurat [8]. Validasi antara simulasi dan hasil pengujian nyata menjadi langkah penting dalam menentukan faktor keamanan *crane*. Pada penelitian [2] membuktikan bahwa perbandingan

tegangan dan defleksi antara model numerik dan uji lapangan diperlukan untuk mengevaluasi kapasitas maksimum serta potensi kegagalan struktur. Faktor lingkungan seperti gempa, suhu, dan angin juga harus diperhitungkan, sebagaimana dibuktikan oleh [9] yang menemukan bahwa gaya gempa lateral dapat memengaruhi distribusi tegangan pada struktur beton bertulang yang menopang beban *crane*.

Kemajuan algoritma optimasi dan integrasi perangkat simulasi modern semakin memungkinkan desain *crane* yang lebih efisien dan adaptif. Kombinasi optimasi berbasis FEM, analisis gaya dinamis, validasi *fatigue*, dan simulasi gempa mampu memperpanjang umur pakai struktur dan meningkatkan keandalannya. Berdasarkan tinjauan tersebut, penelitian ini memodelkan dan menganalisis statik linear rangka *crane* menggunakan metode elemen hingga dengan mempertimbangkan variasi material, kondisi tumpuan, serta pembebanan. Tujuannya adalah menghasilkan distribusi tegangan dan deformasi yang representatif sebagai dasar pengembangan desain *crane* yang lebih kuat dan aman untuk kebutuhan industri modern.

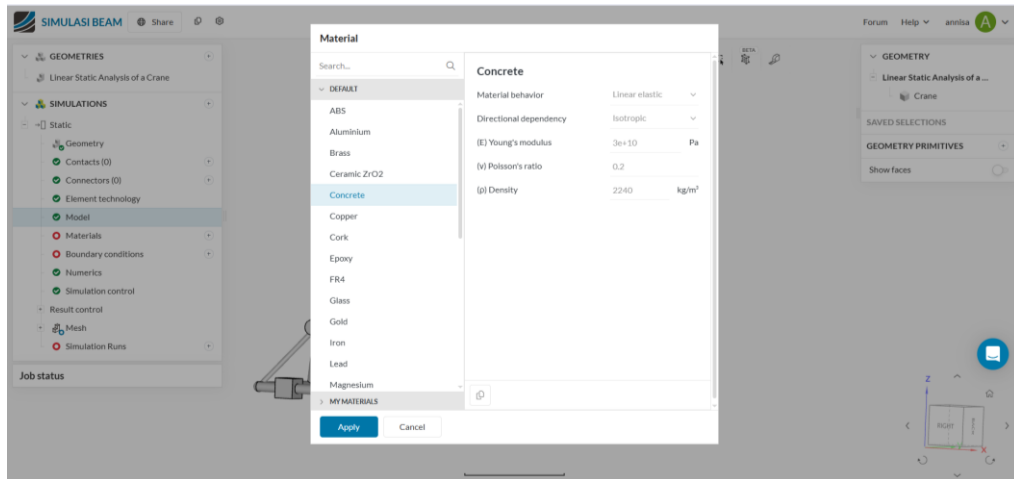
2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara statik linear dan distribusi tegangan pada struktur *crane* menggunakan pendekatan simulasi numerik berbasis *Finite Element Method* (FEM). Aplikasi *SimScale* digunakan sebagai perangkat simulasi untuk menganalisis respons elastis struktur *crane*, di mana FEM memungkinkan pemetaan tegangan *Von Mises* dan deformasi yang terjadi akibat variasi material, boundary condition, serta pembebanan pada *crane*. Tahapan awal penelitian ini mencakup studi literatur terkait penerapan FEM dalam analisis struktur *crane*, diikuti dengan pemodelan geometri rangka truss *crane* yang mengacu pada standar Japan Industrial Standards (JIS) dan spesifikasi teknis *crane* yang umum digunakan dalam industri konstruksi dan manufaktur. *SimScale*, sebagai platform berbasis *cloud*, memungkinkan simulasi yang cepat dan akurat tanpa memerlukan perangkat keras yang kompleks. Dengan menggunakan *SimScale*, model struktur *crane* yang telah ditentukan dapat dianalisis untuk mengevaluasi distribusi tegangan, respons elastisitas, serta deformasi pada berbagai kondisi pembebanan. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas tentang kinerja struktural *crane*, serta mendukung perancangan *crane* yang lebih efisien dan aman dalam menghadapi kondisi operasional yang beragam.



Gambar 2. Input nilai gravitasi

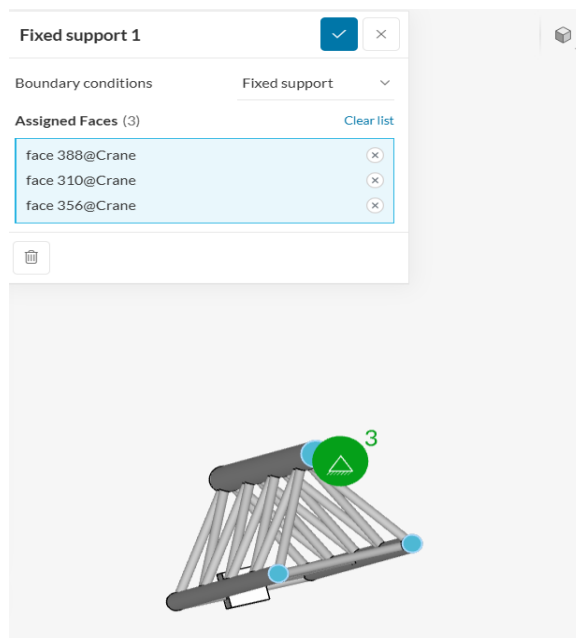
Pemilihan material sangat menentukan karakteristik dan performa mekanik struktur *crane*. Material yang digunakan dalam simulasi, seperti mild steel atau baja struktural, merujuk pada hasil penelitian [11], karena memiliki sifat elastisitas tinggi dan *yield strength* yang baik dalam menahan tegangan multi-aksial. Dalam beberapa studi, material pembanding seperti aluminium dan beton juga digunakan untuk menguji variasi respons struktur terhadap gaya eksternal.



Gambar 3. Penerapan dan pemilihan material

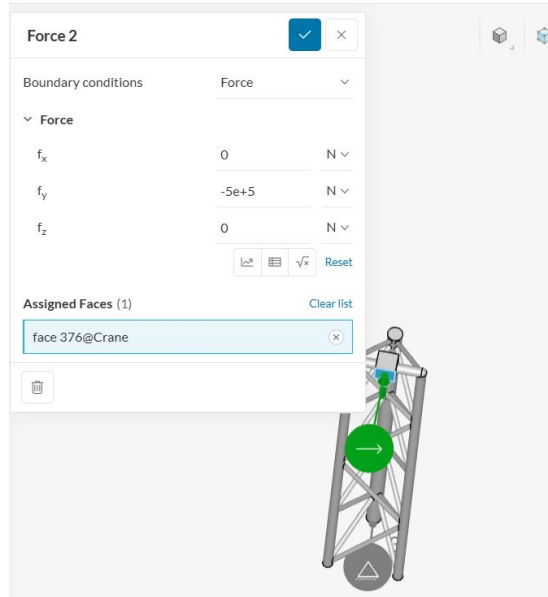
Proses pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak simulasi berbasis FEM, salah satunya *Autodesk Inventor Professional* dan *Ansys Workbench 16.2*. Model 3D *crane* dibuat dengan pemisahan elemen batang, node sambung, serta penentuan penampang (*cross section*) sesuai kebutuhan analisis. Setiap elemen didefinisikan agar dapat merespon gaya aksial, *shear*, serta momen yang diterima pada waktu simulasi.

Langkah penting berikutnya adalah konfigurasi mesh pada model *crane*. Mesh berfungsi membagi objek menjadi elemen-elemen kecil sehingga distribusi tegangan pada titik-titik *node* dapat dihitung secara numerik. Variasi *mesh* (*fine* dan *coarse*) diuji agar didapatkan keseimbangan antara akurasi hasil dan waktu komputasi. Ukuran elemen *mesh* diatur sesuai rekomendasi perangkat lunak [11].



Gambar 4. Penentuan kondisi batas

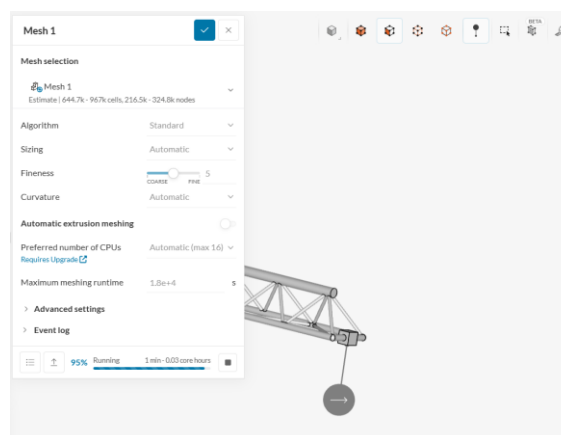
Boundary condition atau batasan sangat penting untuk mensimulasikan kondisi kerja nyata. *Fixed support* diterapkan pada kaki utama *crane* dan tumpuan lain yang relevan. Dalam simulasi [11], area tumpuan difokuskan pada empat titik utama agar struktur tetap berada pada posisi stabil selama proses pembebanan. Sementara itu, gaya eksternal diberikan pada titik *hook* atau bagian *deck* sesuai kebutuhan simulasi.



Gambar 5. Penerepan kondisi batas pembebanan

Penentuan beban kerja dilakukan dengan mengacu pada kapasitas operasional desain *crane*, biasanya antara 10 sampai 30 ton. Simulasi yang dikembangkan memvariasikan besaran beban, sudut angkat, dan posisi beban pada struktur dengan tujuan mengevaluasi semua kemungkinan konfigurasi operasional. Menekankan pentingnya menguji beban pada sudut serta elevasi berbeda untuk memahami perilaku tegangan dan deformasi maksimum yang terjadi [10], [12].

Validasi siklus pembebanan juga menjadi tahap penting dalam penelitian ini. Dengan membandingkan hasil simulasi beban statik dan siklik pada variasi *mesh* dan material, peneliti dapat memetakan area kritis yang rawan terkena kelelahan (*fatigue*) maupun kegagalan (*failure*). Analisis *fatigue* diperlukan untuk menentukan usia pakai *crane* serta kemungkinan terjadinya retakan pada titik-titik sambung struktur.



Gambar 6. Penentuan titik distribusi

Parameter keluaran yang dianalisis meliputi tegangan *Von Mises*, tegangan geser, deformasi maksimum, *displacement* total, dan regangan luluh. Hasil simulasi dievaluasi untuk memastikan nilai tegangan masih berada di bawah batas *yield strength* material serta *displacement* tidak mengganggu kinerja maupun keamanan struktur *crane*. Interpretasi dilakukan melalui visualisasi grafis dan tabel pada perangkat lunak FEM. Keamanan struktur

dihitung menggunakan *safety factor* sesuai standar BKI dan standar internasional, dengan membandingkan tegangan simulasi terhadap tegangan izin. Penilaian ini menentukan apakah rancangan crane memenuhi syarat operasional di lapangan.

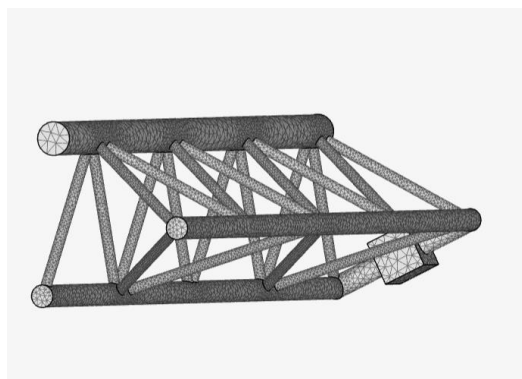
Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dan data eksperimen, sebagaimana direkomendasikan [3], [13] terutama pada parameter deformasi dan tegangan. Pendekatan ini membantu penyempurnaan desain seperti modifikasi geometri, penambahan *stiffener*, dan perbaikan area rawan kegagalan. Studi multivariat dilakukan pada berbagai konfigurasi crane, termasuk variasi beban, sudut angkat, dan *boundary condition*, untuk memperoleh pola respons tegangan dan deformasi yang lebih komprehensif. Data set yang dihasilkan dianalisis secara statistik untuk mengidentifikasi kecenderungan dan area kritis.

Integrasi teknik optimasi topologi digunakan untuk mencapai desain *crane* yang lebih efisien secara material. Optimasi mampu memperbaiki distribusi tegangan dan *displacement* tanpa peningkatan berat struktur secara signifikan [9]. Tahap akhir penelitian menghasilkan rekomendasi desain ulang pada area kritis dengan penyesuaian material, modifikasi penampang, atau penambahan stiffener untuk meningkatkan kapasitas beban dan keamanan crane. Seluruh tahapan pemodelan, penentuan parameter, analisis hasil, hingga evaluasi akhir didokumentasikan secara sistematis untuk memastikan integritas ilmiah penelitian.

Penelitian ini dirancang sesuai temuan studi sebelumnya, memberikan analisis yang komprehensif dan rekomendasi aplikatif bagi pengembangan desain *crane* modern serta menjadi dasar untuk penelitian lanjutan dan penerapan industri konstruksi dan alat berat.

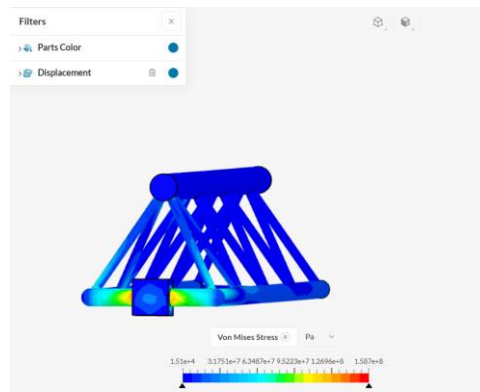
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi struktur *crane* dengan metode elemen hingga menunjukkan distribusi mesh yang sangat terstruktur di seluruh elemen batang dan hubungan *node*, memungkinkan analisis tegangan yang detail pada berbagai bagian *crane*. Penerapan *mesh* dengan kerapatan optimal seperti pada gambar memperlihatkan bahwa setiap volume elemen telah tersegmentasi untuk pelacakan tegangan dan deformasi yang presisi.



Gambar 7. Meshing

Distribusi tegangan *Von Mises* dihasilkan dan divisualisasikan dalam bentuk gradasi warna, di mana warna biru menandakan tegangan rendah dan warna merah menunjukkan area dengan tegangan tertinggi. Sesuai data simulasi, daerah sambungan langsung pada titik tumpuan serta area di sekitar base *crane* mengalami konsentrasi tegangan yang paling signifikan.



Gambar 9. Hasil analisis

Analisis kuantitatif menunjukkan tegangan *Von Mises* maksimum sekitar 1.51×10^8 Pa, dengan distribusi tegangan yang semakin rendah menuju bagian tengah rangka. Zona hijau pada visualisasi mengindikasikan sebagian besar area berada pada tingkat tegangan aman dan jauh di bawah *yield strength* baja. Elemen diagonal dan vertikal yang tidak memikul beban utama juga menunjukkan tegangan rendah di bawah 50 MPa, menandakan transfer gaya yang efisien dan desain rangka yang mampu menghindari konsentrasi tegangan pada area non-kritis.

Displacement terbesar terjadi pada titik *hook crane*, terutama pada arah sumbu y sesuai arah pembebanan. Penerapan *fixed support* pada tumpuan utama terbukti efektif menjaga stabilitas dan mengurangi deformasi, khususnya di bagian kaki dan sambungan. Pemilihan mesh halus memberikan hasil tegangan yang lebih detail dan akurat, meski memerlukan waktu komputasi lebih panjang.

Perbandingan material menegaskan bahwa baja memberikan distribusi tegangan paling stabil tanpa *overstress*, sedangkan beton menghasilkan *displacement* lebih besar dan tegangan tinggi pada bagian base. Validasi *safety factor* menunjukkan semua tegangan berada pada rentang aman (SF 1.5–2.5), menandakan desain layak menahan beban statik.

Analisis fatigue mengidentifikasi sambungan dan tumpuan sebagai zona rentan akibat pembebanan berulang. Optimasi topologi dengan penambahan *stiffener* mampu menurunkan tegangan dan displacement hingga 20%. Variasi posisi hook dan beban turut memengaruhi pola distribusi tegangan, menunjukkan fleksibilitas desain terhadap berbagai kondisi kerja.

Secara keseluruhan, hasil simulasi membuktikan bahwa pengaturan *mesh* yang tepat, pemilihan material baja, serta konfigurasi *boundary condition* yang optimal menghasilkan struktur *crane* yang aman, efisien, dan sesuai untuk aplikasi beban berat.

4. KESIMPULAN

Analisis statik linear pada struktur *crane* menggunakan metode elemen hingga (FEM) berhasil memetakan distribusi tegangan *Von Mises* dan deformasi secara akurat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum serta deformasi pada area sambungan utama dan titik *base crane* masih berada dalam batas aman, sehingga desain dinyatakan mampu menahan beban operasional tinggi. Penggunaan *mesh* yang optimal dan konfigurasi *boundary support* yang tepat menghasilkan evaluasi tegangan yang presisi serta menjaga stabilitas keseluruhan struktur.

Analisis multi-material memperlihatkan bahwa baja merupakan material paling optimal untuk aplikasi beban tinggi dibandingkan aluminium maupun beton, baik dari segi distribusi tegangan maupun ketahanan deformasi. Proses optimasi topologi melalui penambahan *stiffener* pada area *high-stress* terbukti meningkatkan faktor keamanan serta memperpanjang umur struktur. Evaluasi *fatigue* juga menunjukkan bahwa area sambungan dan kaki utama *crane* berpotensi mengalami kelelahan jangka panjang, sehingga memerlukan penguatan tambahan pada kondisi operasi yang intensif. Secara keseluruhan, hasil simulasi memenuhi standar keamanan internasional dan memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan desain *crane* yang lebih aman dan efisien.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Lampung, rekan sejawat, serta seluruh pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam pelaksanaan dan penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. S. Mahardi, "Analisis Kekuatan Struktur Base Crane pada Floating Crane," UPN Veteran Jakarta, 2020.
- [2]. C. Wang, Y. Zhang, J. Li, and H. Liu, "Finite Element Model Establishment and Strength Analysis of Crane Boom," in Proc. 5th Int. Conf. Mechatronics, Control and Electronic Engineering, 2020. <https://doi.org/10.2991/icmcee.k.200813.002>
- [3]. Mulyanto, "Analisa Kekuatan Struktur Pondasi Crane pada Kapal Kontainer 100 TEUS dengan Metode Elemen Hingga," Jurnal Teknik Perkapalan Universitas Negeri Jakarta, vol. 11, no. 2, pp. 55–61, 2025.
- [4]. Kharisma and E. Pramono, "Static Analysis of Gantry Crane—Preliminary Study," DPI Journal Engineering Technology Research, vol. 10, no. 1, pp. 13–21, 2023.
- [5]. H. Khan, Y. Tian, J. Guo, H. Long, and M. R. Khan, "Comparative Study of Nonlinear Static and Time-History Analysis Procedures for Seismic Response of Container Cranes," The Structural Design of Tall and Special Buildings, vol. 27, no. 9, pp. 1–15, 2020. <https://dpi.org/10.1002/tal.1586>
- [6]. D. Setiawan, "Desain dan Analisis Tegangan Double Crane Hook Kapasitas 5 Ton Menggunakan Metode Elemen Hingga," J. ReTII ITNY, vol. 5, no. 2, pp. 33–42, 2023.
- [7]. P. A. Ndruru, "Metode Pelaksanaan Pemasangan dan Perhitungan Struktur Lengan Tower Crane," Universitas Medan Area, 2023.
- [8]. S. Zainullah, "Analisa Kekuatan Struktur Deck Crane Kapal Tanker 6500 DWT Menggunakan Metode Elemen Hingga," E-Jurnal Undip, vol. 2, no. 3, 2024.
- [9]. F. Fajrina, A. Rachman, and N. Sari, "Analisis Struktur Beton Bertulang dengan Beban Crane," E-Proceeding of Engineering (ITENAS), vol. 10, no. 2, pp. 3386–3394, 2024.
- [10]. L. A. N. Wibawa, "Desain dan Simulasi Elemen Hingga Gantry Crane Kapasitas 9 Ton," Jurnal Manutech Polman Babel, vol. 8, no. 1, pp. 83–92, 2023.
- [11]. M. S. Ramamurthi and B. N. Nagababu, "Modeling and Analysis of Gantry Crane with Finite Element Method," Journal of Failure Analysis and Prevention, vol. 14, no. 1, pp. 76–86, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11668-019-00720-z>
- [12]. S. Ariosuko, "Analisis Kekuatan Struktur dan Estimasi Fatigue Life pada Konstruksi Container Crane Tipe RTG Menggunakan Metode Elemen Hingga," DINAMIKA: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, vol. 8, no. 1, pp. 52–61, 2020.
- [13]. S. Dönerkaya, "New Generation Ingot Crane Design, Finite Element Analysis (FEA) and Prototype Manufacturing," The European Journal of Research and Development, vol. 16, no. 3, pp. 224–234, 2023.



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY).