

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR TRUCK MOUNTED CRANE MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Muhammad Al Hazman ^{1*}, Alwi Sina Khaqiqi ², Indri Ika Widyastuti ³, Muhammad Rizki Andika Saputra ⁴ Nur Imam Prakoso Ramadhani ⁵, Siti Rahayuningsih⁶

^{1,2,3,4,5} Jurusan Teknik Bangunan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,
Jl. Teknik Kimia, Keputih, Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60111

*email : al.hazman@ppns.ac.id

(Received: 11-02-2026; Reviewed: 21-02-2026; Accepted: 08-03-2026)

Abstrak

Truck mounted crane adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan benda dari suatu tempat ke tempat yang lain dalam jangkauan operasi yang terbatas dengan keunggulan mobilisasi beban berat dan kapasitas angkut kargo dalam satu unit kendaraan. Crane pada truk tersebut dilengkapi dengan lengan – lengan panjang yang dapat diperpanjang atau dipendekkan secara otomatis agar dapat menyesuaikan kebutuhan, serta dapat menyesuaikan tinggi dengan mengubah sudut elevasi. Penelitian ini mengkaji tentang analisis kekuatan boom crane dalam dua skenario panjang 8,178 meter dan 5,478m menggunakan metode elemen hingga. Dalam setiap skenario pengujian dilakukan empat variasi sudut elevasi yaitu, 90°, 100°, 110°, dan 120°, serta mengangkat tiga variasi pembebanan yaitu, 2 ton, 2,5 ton, dan 3 ton. Pada skenario pertama dengan panjang 8,178 meter didapatkan deformasi terbesar pada saat pembebanan 3 Ton dan sudut elevasi 90°, nilai von mises terbesar pada pembebanan 3 Ton dan sudut 120°, serta safety factor terbesar pada saat pembebanan 2 Ton dan sudut 90°. Sedangkan pada skenario kedua dengan panjang boom crane 5,478 meter didapatkan deformasi terbesar pada saat pembebanan 3 Ton dan sudut 90°, nilai von mises terbesar pada pembebanan 3 Ton dan sudut 120°, serta safety factor terbesar pada saat pembebanan 2 Ton dan sudut 90°.

Kata Kunci: Crane, elemen hingga, deformasi, von mises, safety factor

1. PENDAHULUAN

Truk mounted crane adalah suatu pesawat angkat yang terdiri dari struktur atas (upper structure) berupa crane yang dipasang di atas sasis truk (carrier) untuk memindahkan suatu benda dari suatu tempat ke tempat lain dalam jangkauan operasi yang terbatas, sekaligus memberikan mobilitas tinggi (Rambe. 2009). Berbeda dengan mobile crane konvensional yang didedikasikan sepenuhnya untuk operasi pengangkatan, truck mounted crane menawarkan keunggulan ganda, yaitu kemampuan mobilisasi beban berat dan kapasitas angkut kargo dalam satu unit kendaraan. Alat ini menjadi solusi populer di sektor konstruksi perkotaan, distribusi logistik, dan manajemen limbah karena menggabungkan kemampuan angkat crane dengan mobilitas truk (Santoso & Hidayat, 2021). Dalam operasinya, komponen utama yang menerima beban terbesar saat operasi pengangkatan adalah boom teleskopik. Struktur ini bekerja dengan prinsip hidrolis untuk memanjangkan (extend) dan memendekkan (retract) lengan guna menjangkau radius kerja. Oleh karena itu, truck mounted crane dituntut memiliki stabilitas tinggi untuk mencegah tipping (terguling) dan kegagalan struktur pada boom akibat momen lentur yang berlebih (Santoso & Hidayat, 2021).

Integrasi mekanisme pengangkatan yang kompleks ke dalam sasis truk komersial menghadirkan tantangan rekayasa yang unik dan berat terkait keterbatasan ruang dan berat. Loader crane harus dirancang seringan mungkin agar tidak memangkas kapasitas muat truk secara signifikan, namun tetap harus mampu menahan momen angkat yang besar. Hal ini krusial karena kegagalan struktur pada bagian boom sering terjadi akibat kelebihan beban (overloading) atau kelelahan material. Kegagalan tersebut sangat bergantung pada tegangan yang dialami struktur, yaitu resistansi internal per satuan luas ($\sigma = F/A$) akibat beban eksternal. Tegangan ini menentukan apakah material mengalami deformasi elastis—di mana material baja mematuhi Hukum Hooke ($\sigma = E \times \epsilon$) atau plastis. Apabila tegangan melampaui batas luluh (yield stress), material akan mengalami deformasi permanen. Deformasi yang berlebihan pada boom mengindikasikan rendahnya kekakuan (stiffness) material di bawah pembebanan, yang dapat menyebabkan ketidakstabilan dan kegagalan fungsi angkat secara fatal.

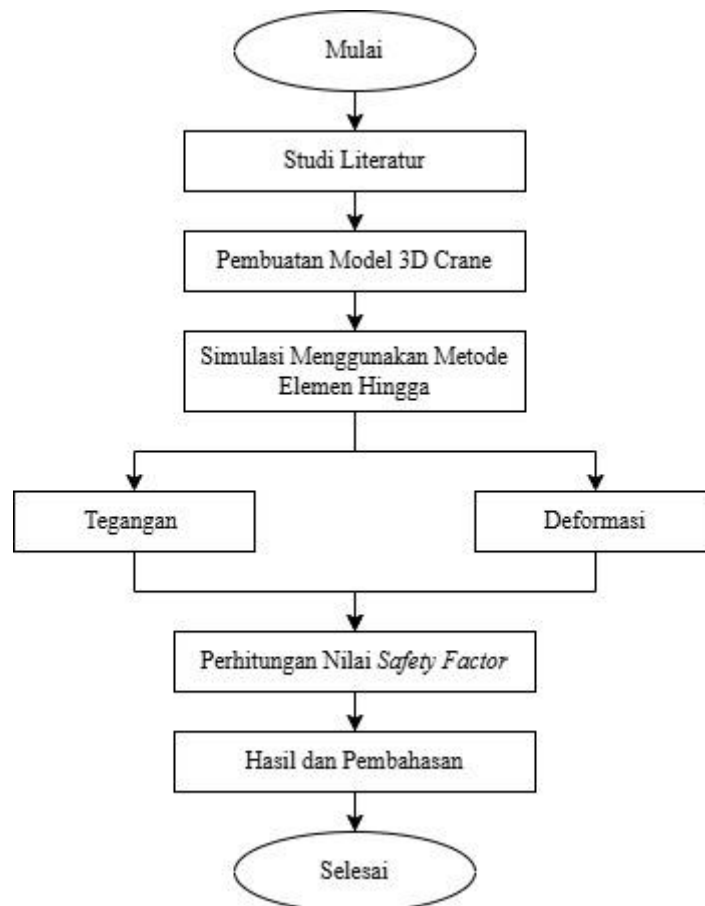
Analisis kekuatan struktur secara manual untuk menghindari deformasi seringkali memiliki keterbatasan dalam memprediksi distribusi tegangan pada geometri yang kompleks. Oleh karena itu, penggunaan metode berbasis komputer menjadi krusial. Analisis numerik menggunakan Metode Elemen Hingga (MEH) terbukti efektif untuk memvalidasi desain alat berat sebelum fabrikasi, sehingga dapat menghemat biaya dan waktu (Pratama & Wijaya, 2022). MEH merupakan teknik yang memecahkan masalah rekayasa dengan membagi domain menjadi bagian-bagian kecil (elemen) yang dihubungkan oleh titik simpul (nodes). Akurasi hasil simulasi MEH ini sangat bergantung pada kualitas meshing, penentuan kondisi batas (boundary conditions), dan pembebanan yang sesuai dengan kondisi nyata (Pratama & Wijaya, 2022). Hasil dari analisis ini kemudian dievaluasi menggunakan Faktor Keamanan (Safety Factor). Nilai ini diperoleh dari perbandingan antara tegangan luluh material (yield strength) dengan tegangan maksimum yang terjadi (Von Mises) untuk memastikan bahwa desain optimal dan aman digunakan sesuai standar yang diizinkan.

Berdasarkan pemaparan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik tegangan Von Mises, deformasi total, dan faktor keamanan (Safety Factor) pada boom Truck Mounted Crane saat menerima variasi beban statis, yaitu 2 ton, 2,5 ton, dan 3 ton. Diharapkan hasil penelitian ini mampu memberikan rekomendasi terkait faktor keamanan pada pembebanan statis yang divariasikan, sehingga operasi alat dapat berjalan aman dan selaras dengan standar yang berlaku di Indonesia.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar beban yang dapat diangkat oleh crane dengan aman dengan menggunakan parameter tegangan von mises, deformasi, dan safety factor. Penelitian ini dimulai dengan pembuatan 3D model dari struktur *Boom Truk Mounted Crane*. Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak CAD (*Computer-Aided Design*) dengan dimensi dan bentuk yang disesuaikan dengan spesifikasi teknis yang direncanakan. Model yang telah siap kemudian diimpor kedalam perangkat lunak berbasis Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*). Pada tahap ini dilakukan proses *pre-processing* yang meliputi penentuan tumpuan (*Fixed Support*), pemberian beban (load) sesuai dengan variasi yang telah ditentukan, dan pembagian elemen (*Meshing*). Setelah proses *Solving* selesai, simulasi tersebut akan menghasilkan dua data keluaran utama secara paralel yaitu distribusi tegangan Von Mises dan Deformasi

(Displacement). Data maksimum dari tegangan Von Mises selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai faktor keamanan (*Safety Factor*). Perhitungan ini dilakukan dengan membandingkan kekuatan luluh (*Yield Strength*) material terhadap tegangan maksimum yang terjadi. Tahap ini sangat krusial untuk menentukan apakah desain tersebut aman digunakan pada beban kerja yang diberikan. Hasil analisis kemudian dibahas untuk menarik kesimpulan mengenai kekuatan struktur *Boom Truck Mounted Crane* tersebut sebelum penelitian ini dinyatakan selesai. Tahapan penelitian disajikan dalam gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2. 1 Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan simulasi elemen hingga yang telah dilakukan, pengujian struktur crane dievaluasi berdasarkan tiga parameter utama, yaitu Tegangan Von Mises (Von Mises Stress), Faktor Keamanan (Safety Factor), dan Deformasi (Displacement). Simulasi ini dilakukan pada dua skenario panjang lengan crane 8,178 m dan 5,478 m. Pada setiap skenario menggunakan empat variasi sudut elevasi yaitu, 90°, 100°, 110°, dan 120° serta tiga skenario pembebanan, yaitu 2 ton, 2,5 ton, dan 3 ton. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan didapat peningkatan tegangan Von Mises yang sejalan dengan penambahan panjang lengan *crane* dan variasi pembebanan ini terjadi karena membesarnya momen lentur pada struktur utama. (Wibawa, 2020) dalam penelitiannya menyatakan bahwa distribusi tegangan ekuivalen pada struktur alat angkat akan berpusat pada tumpuan dan meningkat secara signifikan seiring bertambahnya beban operasional. Selain itu, temuan

mengenai nilai *Safety Factor* yang berbanding terbalik dengan peningkatan tegangan Von Mises memvalidasi prinsip dasar kriteria kegagalan struktur ulet, di mana semakin tinggi tegangan yang dialami akibat variasi sudut dan beban, maka margin keamanan struktur akan semakin menyusut (Imran & Kadir, 2017).

3.1 Skenario Variasi Panjang Crane 8,178 m

3.1.1 Tegangan Von Misses

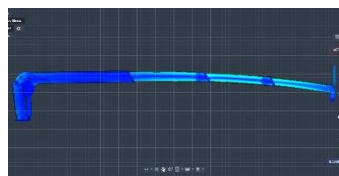
Tegangan Von Mises digunakan untuk memprediksi kegagalan material dengan membandingkan tegangan ekuivalen terhadap kekuatan luluhnya, material dinyatakan aman jika tegangan ini tidak melampaui batas luluh tersebut. Berikut adalah hasil dari simulasi tegangan von misses menggunakan metode elemen hingga yang disajikan dalam tabel dibawah ini dengan menyesuaikan 3 skenario pembebanan yaitu, 2 ton, 2,5 ton, dan 3 ton.

Tabel 3.1. Hasil Simulasi dari Tegangan Von Misses

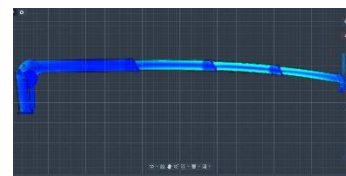
Beban	SUDUT	VON MISSES STRESS	
		MAX	MIN
2 Ton	90	321.78	0.000689
	100	338.696	0.002000
	110	427.132	0.000713
	120	460.934	0.000347
2,5 Ton	90	402.225	0.000860
	100	457.045	0.002000
	110	537.796	0.000907
	120	576.454	0.000426
3 Ton	90	482.67	0.001000
	100	548.454	0.003000
	110	645.367	0.001000
	120	691.744	0.000511



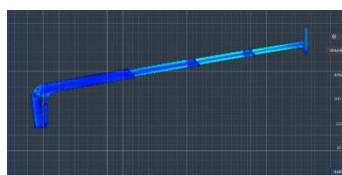
Gambar 3.1.1. simulasi von misses dengan sudut 90° dan beban 2 ton



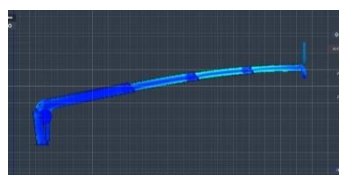
Gambar 3.1.2 simulasi von misses dengan sudut 90° dan beban 2,5 ton



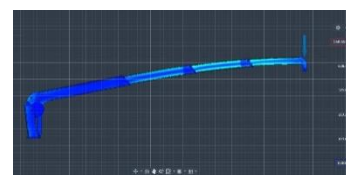
Gambar 3.1.3 simulasi von misses dengan sudut 90° dan beban 3 ton



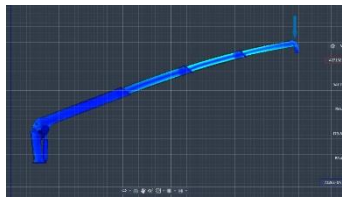
Gambar 3.1.4. simulasi von misses dengan sudut 100° dan beban 2 ton



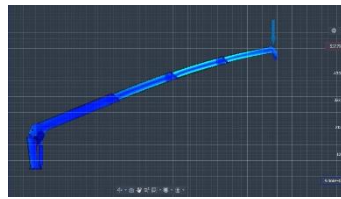
Gambar 3.1.5. simulasi von misses dengan sudut 100° dan beban 2,5 ton



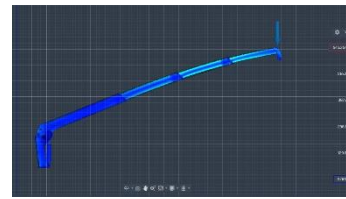
Gambar 3.1.6. simulasi von misses dengan sudut 100° dan beban 3 ton



Gambar 3.1.7. simulasi von misses dengan sudut 110° dan beban 2 ton



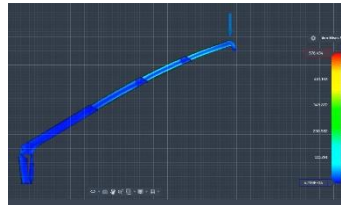
Gambar 3.1.8. simulasi von misses dengan sudut 110° dan beban 2,5 ton



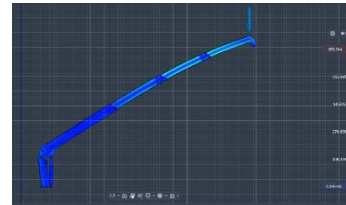
Gambar 3.1.9. simulasi von misses dengan sudut 110° dan beban 3 ton



Gambar 3.1.10. simulasi von misses dengan sudut 120° dan beban 2 ton



Gambar 3.1.11. simulasi von misses dengan sudut 120° dan beban 2,5 ton



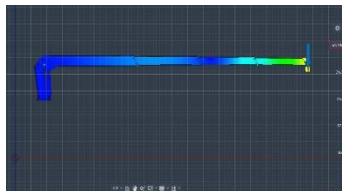
Gambar 3.1.12. simulasi von misses dengan sudut 120° dan beban 3 ton

3.1.2 Deformasi

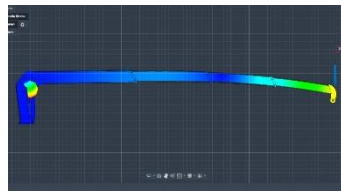
Berbeda dengan tegangan, deformasi maksimal pada boom mounted crane justru menunjukkan penurunan angka seiring bertambahnya sudut elevasi dari 90° hingga 120°. Berikut adalah hasil dari simulasi deformasi yang terjadi menggunakan metode elemen hingga yang disajikan dalam tabel dibawah ini dengan menyesuaikan 3 skenario pembebanan yaitu, 2 ton, 2,5 ton, dan 3 ton.

Tabel 3.2. Hasil Simulasi dari Deformasi

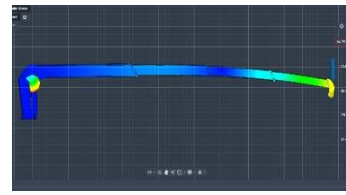
Beban	SUDUT	DEFORMASI	
		MAX	MIN
2 Ton	90	43.396	0.00
	100	42.502	0.00
	110	40.209	0.00
	120	32.509	0.00
2,5 Ton	90	53.995	0.00
	100	53.128	0.00
	110	50.26	0.00
	120	40.656	0.00
3 Ton	90	64.793	0.00
	100	63.753	0.00
	110	60.312	0.00
	120	48.787	0.00



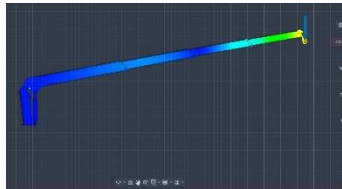
Gambar 3.2.1 simulasi deformasi dengan sudut 90° dan beban 2 ton



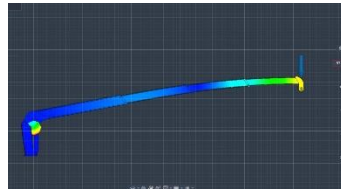
Gambar 3.2.2. simulasi deformasi dengan sudut 90° dan beban 2,5 ton



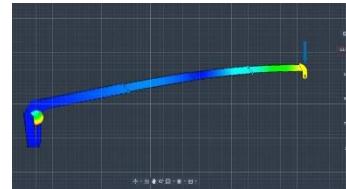
Gambar 3.2.3. simulasi deformasi dengan sudut 90° dan beban 3 ton



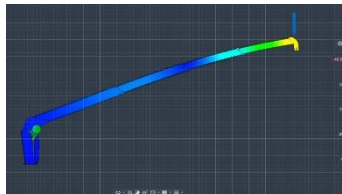
Gambar 3.2.4. simulasi deformasi dengan sudut 100° dan beban 2 ton



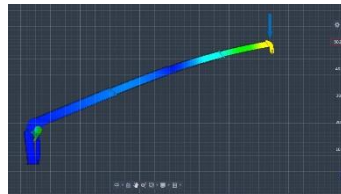
Gambar 3.2.5. simulasi deformasi dengan sudut 100° dan beban 2,5 ton



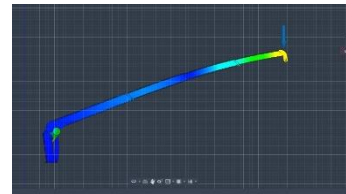
Gambar 3.2.6. simulasi deformasi dengan sudut 100° dan beban 3 ton



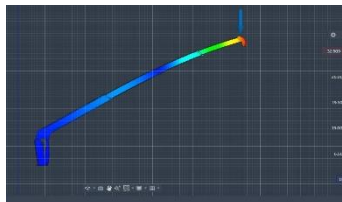
Gambar 3.2.7. simulasi deformasi dengan sudut 110° dan beban 2 ton



Gambar 3.2.8. simulasi deformasi dengan sudut 110° dan beban 2,5 ton



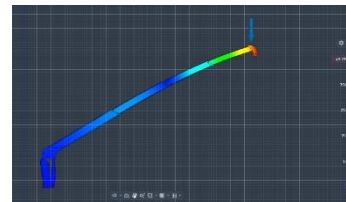
Gambar 3.2.9. simulasi deformasi dengan sudut 110° dan beban 3 ton



Gambar 3.2.10. simulasi deformasi dengan sudut 120° dan beban 2 ton



Gambar 3.2.11. simulasi deformasi dengan sudut 120° dan beban 2,5 ton



Gambar 3.2.12. simulasi von mises dengan sudut 120° dan beban 3 ton

3.1.3 Safety Factor

Faktor keamanan berbanding terbalik dengan beban dan sudut elevasi; semakin besar beban dan sudut, semakin kecil nilai *Safety Factor* (SF) minimum yang dihasilkan. Berikut adalah hasil dari simulasi safety factor menggunakan metode elemen hingga yang disajikan dalam tabel dibawah ini dengan menyesuaikan 3 skenario pembebanan yaitu, 2 ton, 2,5 ton, dan 3 ton.

Tabel 3.3. Hasil Simulasi dari safety factor

Beban	SUDUT	SAFETY FACTOR
2 Ton	90	0.6433
	100	0.6112
	110	0.4846
	120	0.4491
2,5 Ton	90	0.5146
	100	0.4529
	110	0.3849
	120	0.3591
3 Ton	90	0.4289
	100	0.3774
	110	0.3207
	120	0.2992

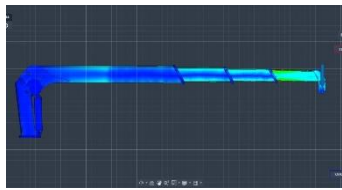
3.2 Skenario Variasi Panjang Crane 5,478 m

3.2.1 Tegangan Von Misses

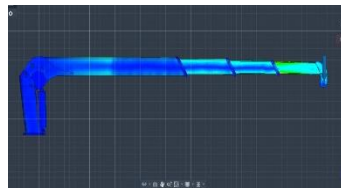
Secara umum, crane dengan lengan yang lebih pendek (5.478 m) mendistribusikan tegangan yang relatif lebih rendah dibandingkan crane 8.178 m pada sudut yang sama. Namun, tren peningkatannya tetap sama seiring membesarnya sudut elevasi. Berikut adalah hasil dari simulasi tegangan von misses menggunakan metode elemen hingga yang disajikan dalam tabel dibawah ini dengan menyesuaikan 3 skenario pembebanan yaitu, 2 ton, 2,5 ton, dan 3 ton.

Tabel 3.4. Hasil Simulasi dari Tegangan Von Misses

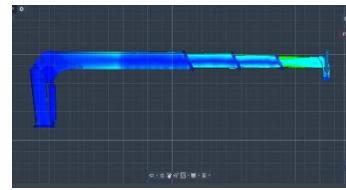
Beban	SUDUT	VON MISSES STRESS	
		MAX	MIN
2 Ton	90	117.093	0.000800
	100	200.055	0.000753
	110	297.895	0.000373
	120	340.322	0.000263
2,5 Ton	90	145.336	0.001000
	100	250.069	0.000889
	110	372.367	0.000470
	120	383.536	0.000353
3 Ton	90	175.639	0.001000
	100	300.083	0.001000
	110	446.84	0.000564
	120	460.243	0.000423



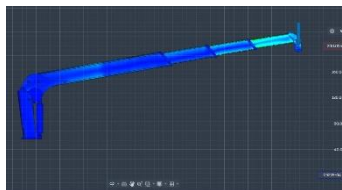
Gambar 3.3.1. simulasi von misses dengan sudut 90° dan beban 2 ton



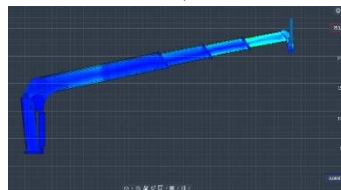
Gambar 3.3.2 simulasi von misses dengan sudut 90° dan beban 2,5 ton



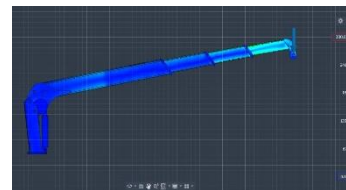
Gambar 3.3.3 simulasi von misses dengan sudut 90° dan beban 3 ton



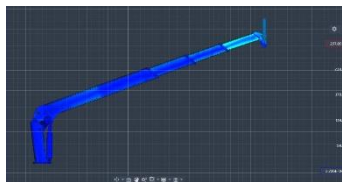
Gambar 3.3.4. simulasi von misses dengan sudut 100° dan beban 2 ton



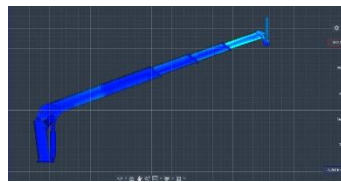
Gambar 3.3.5. simulasi von misses dengan sudut 100° dan beban 2,5 ton



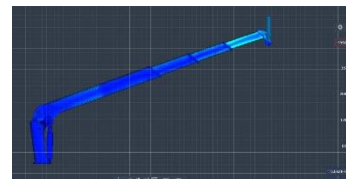
Gambar 3.3.6. simulasi von misses dengan sudut 100° dan beban 3 ton



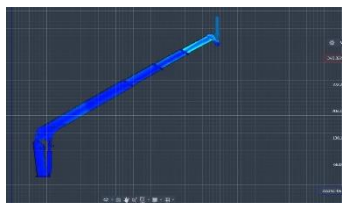
Gambar 3.3.7. simulasi von misses dengan sudut 110° dan beban 2 ton



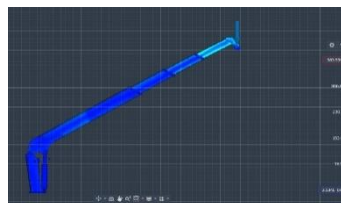
Gambar 3.3.8. simulasi von misses dengan sudut 110° dan beban 2,5 ton



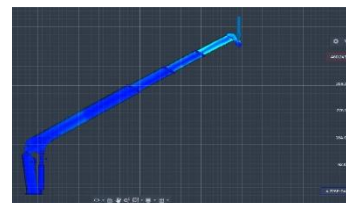
Gambar 3.3.9. simulasi von misses dengan sudut 110° dan beban 3 ton



Gambar 3.3.10. simulasi von misses dengan sudut 120° dan beban 2 ton



Gambar 3.3.11. simulasi von misses dengan sudut 120° dan beban 2,5 ton



Gambar 3.3.12. simulasi von misses dengan sudut 120° dan beban 3 ton

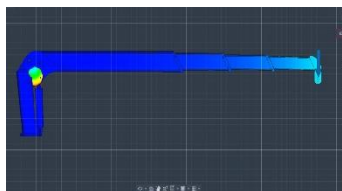
3.2.2 Deformasi

Sama halnya dengan variasi sebelumnya, deformasi (*displacement*) terbesar terjadi pada sudut 90° dan terus mengecil hingga sudut 120° . Berikut adalah hasil dari simulasi deformasi yang terjadi menggunakan metode elemen hingga yang disajikan dalam tabel dibawah ini dengan menyesuaikan 3 skenario pembebanan yaitu, 2 ton, 2,5 ton, dan 3 ton.

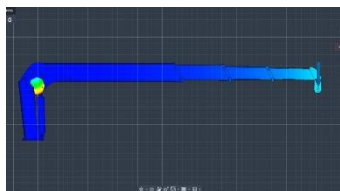
Tabel 3.2. Hasil Simulasi dari Deformasi

Beban	SUDUT	DEFORMASI	
		MAX	MIN
2 Ton	90	65.679	0.00

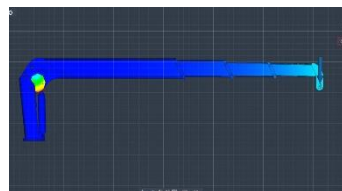
	100	62.371	0.00
	110	57.437	0.00
	120	41.513	0.00
2,5 Ton	90	82.099	0.00
	100	77.964	0.00
	110	71.797	0.00
	120	51.888	0.00
3 Ton	90	98.518	0.00
	100	93.557	0.00
	110	86.157	0.00
	120	62.265	0.00



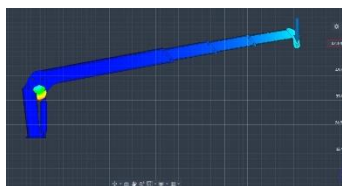
Gambar 3.4.1 simulasi deformasi dengan sudut 90° dan beban 2 ton



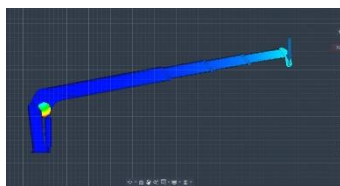
Gambar 3.4.2. simulasi deformasi dengan sudut 90° dan beban 2,5 ton



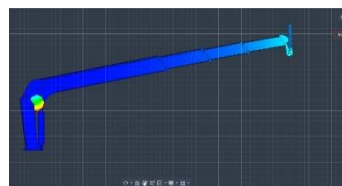
Gambar 3.4.3. simulasi deformasi dengan sudut 90° dan beban 3 ton



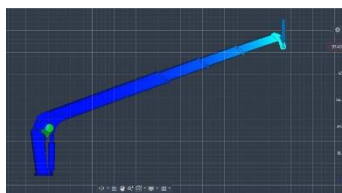
Gambar 3.4.4. simulasi deformasi dengan sudut 100° dan beban 2 ton



Gambar 3.4.5. simulasi deformasi dengan sudut 100° dan beban 2,5 ton



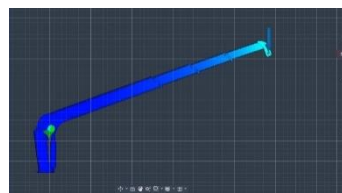
Gambar 3.4.6. simulasi deformasi dengan sudut 100° dan beban 3 ton



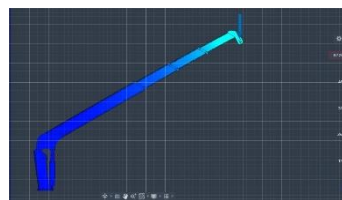
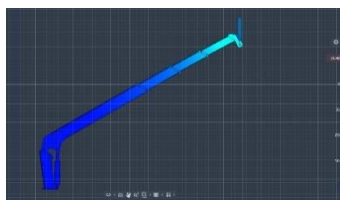
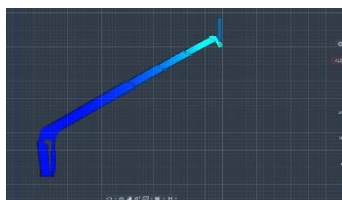
Gambar 3.4.7. simulasi deformasi dengan sudut 110° dan beban 2 ton



Gambar 3.4.8. simulasi deformasi dengan sudut 110° dan beban 2,5 ton



Gambar 3.4.9. simulasi deformasi dengan sudut 110° dan beban 3 ton



Gambar 3.4.10. simulasi deformasi dengan sudut 120° dan beban 2 ton

Gambar 3.4.11. simulasi deformasi dengan sudut 120° dan beban 2,5 ton

Gambar 3.4.12. simulasi von mises dengan sudut 120° dan beban 3 ton

3.1.3 Safety Factor

Pengurangan panjang lengan crane secara signifikan memperbaiki nilai *Safety Factor*. Berikut adalah hasil dari simulasi safety factor menggunakan metode elemen hingga yang disajikan dalam tabel dibawah ini dengan menyesuaikan 3 skenario pembebanan yaitu, 2 ton, 2,5 ton, dan 3 ton.

Tabel 3.3. Hasil Simulasi dari safety factor

Beban	SUDUT	SAFETY FACTOR
2 Ton	90	0.6433
	100	0.6112
	110	0.4846
	120	0.4491
2,5 Ton	90	0.5146
	100	0.4529
	110	0.3849
	120	0.3591
3 Ton	90	0.4289
	100	0.3774
	110	0.3207
	120	0.2992

4. KESIMPULAN

Dari seluruh skenario panjang lengan crane dan variasi yang disimulasikan, dapat disimpulkan bahwa penambahan beban 2 ke 3 ton dan pelebaran sudut elevasi 90° ke 120° merupakan kombinasi yang paling memberikan beban kritis terhadap struktur crane. Sudut 120° menghasilkan tegangan Von Mises tertinggi dan Safety Factor terendah di semua konfigurasi, sementara sudut 90° menyebabkan deformasi maksimal yang paling besar. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, tegangan yang terjadi pada kedua skenario menunjukkan nilai yang jauh melampaui kekuatan luluh material baja yang digunakan yaitu 207 MPa. Dalam analisis kekuatan desain nilai safety factor menjadi indikator keberhasilan atau kegagalan suatu struktur, jika nilai safety factor kurang dari 1,0 maka struktur dapat mengalami deformasi plastis dan tidak layak digunakan. (Rusydi, 2023). Dari hasil perhitungan safety factor didapat angka dibawah 1,0 pada mayoritas pembebanan dan variasi sudut, pada kondisi ini lengan *crane* dengan material eksisting ini mengalami deformasi plastis yang berisiko memicu patah (*fracture*) pada kombinasi sudut dan beban kritis tersebut. Sehingga desain struktur crane tidak direkomendasikan menggunakan material baja bertegangan luluh 207 MPa untuk beroperasi pada pembebanan 2 hingga 3 ton.

DAFTAR PUSTAKA

- Karmankar, R. G. (2017). Analysis of Von-Mises-Stress for Interference Fit and Pull-Out States by Using Finite Element Method. *International Research Journal of Engineering Technology*, 4(11): 1367-1374.
- Novriadin, A., Faisal, H., & Muh, S. M. (2022). Analisis Struktur Batang Truck Crane Dengan Beban 45 Ton.
- Perkasa, R. E., dkk. (2023). Analisis Pengaruh Penambahan Stiffener Terhadap Nilai Tegangan dan Defleksi Pada Rangka Sepeda Motor Listrik dengan Metode Elemen Hingga. *V-MAC: Virtual of Mechanical Engineering Article*, 8(1): 6-12.
- Pramudya, A. D., Fiveriati, A., Wahid, M. A., Sari, E. N., & Catrawedarma, I. G. N. B. (2024). Analisis kekuatan keranjang skylift truck crane menggunakan metode elemen hingga. *Journal of Scientech Research and Development*, 6(1), 1711-1718.
- Pranoto, S. H., & Mahardika, M. (2018). Design and Finite Element Analysis of Micro Punch CNC Machine Modeling for Medical Devices. *AIP Conference Proceedings*, 1941(1).
- Prasetyo, A. B., dkk. (2022). Analisis Frekuensi Natural Velg Ring 16 Menggunakan Finite Element Method. *Seminar Nasional ReTII Ke 17*. Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.
- Pratama, J., & Mahardika, M. (2018). Finite Element Analysis to Determine the Stress Distribution, Displacement and Safety Factor on a Microplate for the Fractured Jaw Case. *AIP Conference Proceedings*, 1941(1).
- Pratama, R., & Wijaya, H. (2022). Optimasi Desain Rangka Crane Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13(2), 112-120.
- Rambe, S. R. (2009). Analisa Perencanaan Truck Mounted Crane Dengan Kapasitas Angkat 5 Ton Dan Tinggi Angkat 8, 7 Meter (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- Rusydi, M. I. (2023). Analisis factor of safety pada alat cleaning mold. *Jurnal Ilmu Teknik Mesin*, 3(1), 7–15. Politeknik Gajah Tunggal. <https://jitm.poltek-gt.ac.id/ejournal/article/download/20/22/48>
- Santoso, B., & Hidayat, T. (2021). Tinjauan Kekuatan Struktur Truck Mounted Crane untuk Aplikasi Konstruksi Jalan Raya. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri*, 45-50.
- Wibawa, L. A. N. (2020). Desain dan Analisis Tegangan Struktur Crane Kapasitas 10 Ton Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran Dan Ilmu Kesehatan*, 4(2), 201–208. <https://doi.org/10.24912/jmstik.v4i2.7006>