

ANALISIS STRUKTUR SISTEM *LIFTING* MEDIA SIMULATOR *ROUGH TERRAIN CRANE* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Muhammad Nouval Ramadhan^{1*}, Sriyono², Tatang Permana³, Yusep Sukrawan⁴

^{1,2,3,4}Pendidikan Teknik Otomotif, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudhi No. 229, Bandung, Jawa Barat

*email : nouvalm18@upi.edu

(Received: 01-07-2026; Reviewed: 03-07-2026; Accepted: 12-07-2026)

Abstrak

Sistem *lifting* merupakan komponen utama pada *rough terrain crane* yang berfungsi untuk mengangkat dan memindahkan beban sehingga memerlukan struktur yang mampu menahan pembebanan secara aman. Penelitian ini bertujuan menganalisis tegangan *Von Mises*, *displacement*, dan *safety factor* serta menentukan batas kemampuan angkat sistem *lifting* simulator *rough terrain crane* berbahan *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS). Metode penelitian menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA) pada *Autodesk Fusion 360* dengan variasi pembebanan sebesar 4,90 N, 9,81 N, dan 19,61 N. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan pembebanan menyebabkan tegangan *Von Mises* maksimum meningkat dari 44,348 MPa menjadi 177,484 MPa dan *displacement* maksimum meningkat dari 36,489 mm menjadi 146,030 mm. Nilai *safety factor* minimum mengalami penurunan dari 0,451 menjadi 0,113. Konsentrasi tegangan tertinggi pada seluruh variasi pembebanan terjadi pada daerah sambungan pangkal sistem *lifting*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur ABS yang digunakan belum memenuhi kriteria keamanan karena seluruh variasi pembebanan menghasilkan nilai *safety factor* di bawah 1 dan tegangan kerja melebihi *yield strength* material sebesar 20 MPa. Optimasi geometri struktur atau penggunaan material dengan kekuatan yang lebih tinggi diperlukan untuk meningkatkan kapasitas dan keamanan sistem *lifting*.

Kata kunci: *finite element analysis*, sistem *lifting*, *rough terrain crane*, *safety factor*, *von mises stres*, *displacement*

1. PENDAHULUAN

Rough terrain crane merupakan salah satu alat angkat yang banyak digunakan pada bidang konstruksi karena memiliki kemampuan beroperasi pada medan yang tidak rata serta mampu melakukan proses pengangkatan beban pada berbagai kondisi kerja. Sistem pengangkatan pada *rough terrain crane* bergantung pada kinerja *boom* sebagai komponen utama yang menerima dan menyalurkan beban selama proses *lifting*. Beban yang bekerja pada *boom* dapat menimbulkan tegangan, regangan, dan perubahan bentuk yang berpotensi memengaruhi performa struktur apabila tidak diperhitungkan dengan baik. Ariyobimo dan Rizkia (2025) menjelaskan bahwa analisis struktur lengan utama *crane* diperlukan untuk memastikan tegangan lentur dan defleksi yang terjadi masih berada dalam batas yang diizinkan. Kutipan tersebut menunjukkan bahwa evaluasi respons struktur menjadi tahapan penting dalam proses perancangan sistem pengangkatan guna memahami karakteristik struktur terhadap pembebanan yang diberikan.

Pembuatan media simulator *rough terrain crane* memerlukan desain struktur yang mampu merepresentasikan prinsip kerja alat sebenarnya sekaligus memiliki karakteristik mekanik yang sesuai dengan fungsi pembelajaran. Pembuatan simulator tanpa melalui proses evaluasi struktur dapat menyebabkan terjadinya respons berlebih maupun distribusi tegangan yang tidak sesuai

dengan kondisi perancangan. Nyemba (2026) menyatakan bahwa penyatuan desain dan simulasi komputer memungkinkan karakteristik suatu struktur diprediksi sebelum proses pembuatan dilakukan. Kutipan tersebut menunjukkan bahwa simulasi digital dapat digunakan untuk memperoleh informasi mengenai kinerja struktural suatu desain sehingga proses pengembangan produk dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien.

Perkembangan teknologi desain berbantuan komputer (*Computer Aided Design* atau CAD) memungkinkan proses perancangan dan evaluasi produk teknik dilakukan secara lebih efektif sebelum tahap manufaktur. Pemanfaatan CAD tidak hanya digunakan untuk menghasilkan model tiga dimensi, tetapi juga menjadi dasar dalam pelaksanaan analisis struktur menggunakan metode numerik. Musyono dkk. (2024) menjelaskan bahwa CAD berperan penting dalam mendukung proses perancangan dan meningkatkan kualitas pengembangan produk teknik. Sintesis dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa model CAD dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam melakukan evaluasi desain secara lebih sistematis sebelum produk direalisasikan. Metode elemen hingga (*Finite Element Analysis*) merupakan salah satu metode digital yang banyak digunakan untuk menganalisis respons struktur terhadap pembebanan. Metode ini mampu memberikan informasi mengenai distribusi tegangan, perubahan bentuk, regangan, serta *safety factor* pada suatu komponen. Halim dkk. (2025) menyatakan bahwa analisis elemen hingga pada rangka *box fermentasi* mampu menghasilkan informasi mengenai tegangan *Von Mises*, *displacement*, dan *safety factor* yang digunakan untuk mengevaluasi karakteristik struktur terhadap beban kerja. Temuan tersebut menunjukkan bahwa metode elemen hingga efektif digunakan untuk mengidentifikasi area yang mengalami konsentrasi tegangan sebelum proses pembuatan dilakukan. Keunggulan metode elemen hingga juga ditunjukkan pada penelitian yang dilakukan oleh Rizki Aulia Nanda dkk. (2022) terhadap *chassis* mobil robot penanaman bibit kangkung menggunakan *Autodesk Inventor*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa struktur yang dianalisis memiliki tegangan maksimum sebesar 38,03 MPa dan *safety factor* sebesar 5,4. Temuan tersebut menunjukkan bahwa parameter tegangan dan *safety factor* dapat digunakan untuk menggambarkan kemampuan struktur dalam menerima pembebanan. Penelitian lain yang dilakukan oleh Muhajir dkk. (2025) menunjukkan bahwa evaluasi tegangan, *displacement*, *strain*, dan *safety factor* mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai karakteristik struktur rangka sepeda motor listrik terhadap variasi beban. Sintesis dari kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode elemen hingga merupakan pendekatan yang efektif dalam menganalisis respon struktur pada berbagai aplikasi rekayasa.

Penggunaan material polimer pada pengembangan produk teknik semakin meningkat seiring berkembangnya teknologi *3D printing*. *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) merupakan salah satu material yang banyak digunakan karena memiliki ketahanan benturan yang baik, mudah diproses menggunakan teknologi pencetakan tiga dimensi, serta memiliki biaya produksi yang relatif rendah. Febriasta dkk. (2025) menjelaskan bahwa ABS memiliki kombinasi kekakuan dan ketahanan benturan yang baik sehingga banyak digunakan pada berbagai komponen teknik berbahan polimer. Penelitian Shabana dkk. (2019) menunjukkan bahwa ABS memiliki kekuatan lentur dan kemampuan perubahan bentuk yang lebih baik dibandingkan beberapa material termoplastik lainnya. Kemampuan material ABS dalam menerima pembebanan telah ditunjukkan pada berbagai penelitian berbasis metode elemen hingga. Emzain dkk. (2023) menyatakan bahwa model *wrist hand orthosis* berbahan ABS mampu menunjukkan distribusi tegangan dan perubahan bentuk yang masih dapat diterima pada variasi pembebanan tertentu. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa simulasi numerik dapat digunakan untuk mengevaluasi karakteristik mekanik produk berbahan ABS sebelum proses manufaktur dilakukan. Penelitian Emzain dkk. (2023) pada model prostetik lentur pergelangan kaki berbahan ABS juga menunjukkan bahwa struktur masih mampu mempertahankan integritas mekaniknya dengan nilai *safety factor* sebesar 1,63. Pernyataan tersebut mengindikasikan bahwa ABS memiliki kemampuan untuk menahan pembebanan tertentu sehingga berpotensi digunakan pada berbagai aplikasi rekayasa berskala ringan.

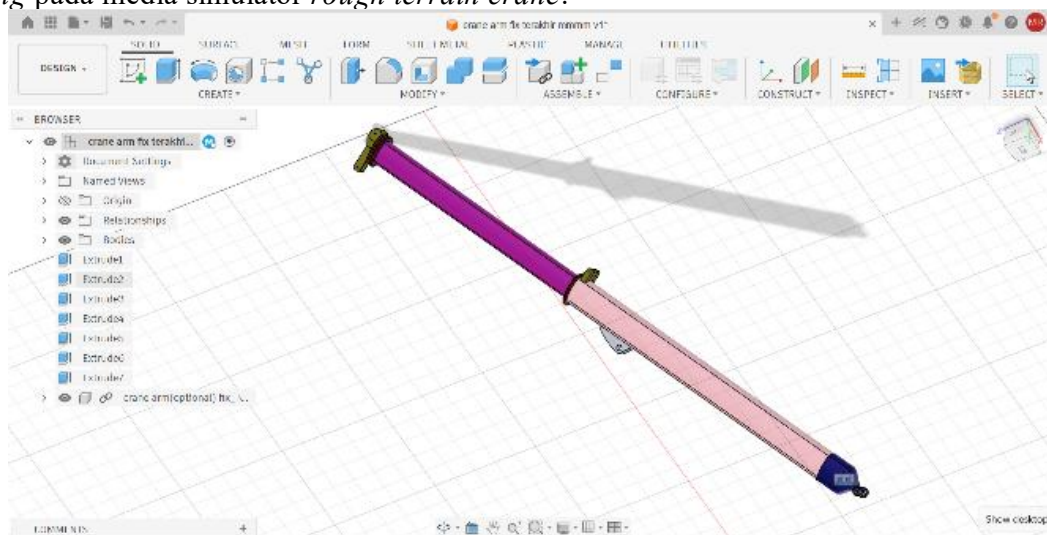
Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode elemen hingga telah banyak digunakan untuk menganalisis rangka kendaraan, perangkat biomekanik, dan komponen mekanik lainnya. Penelitian mengenai analisis struktur sistem *lifting simulator rough terrain crane* berbahan ABS masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada struktur logam, rangka kendaraan, maupun perangkat medis, sedangkan kajian mengenai distribusi tegangan *Von*

Mises, *displacement*, dan *safety factor* pada sistem *lifting* simulator *rough terrain crane* belum banyak dilakukan. Kannan dan Ramamoorthy (2020) menyatakan bahwa penelitian yang mengombinasikan karakterisasi mekanik dan evaluasi performa struktur secara menyeluruh masih relatif terbatas. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa informasi mengenai respons struktur terhadap pembebanan masih perlu dikaji lebih lanjut pada berbagai aplikasi rekayasa. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kebutuhan penelitian untuk menganalisis respons struktur sistem *lifting* terhadap variasi pembebanan sehingga karakteristik struktural komponen dapat dipahami sebelum proses pembuatan dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur sistem *lifting* pada media simulator *rough terrain crane* menggunakan metode elemen hingga. Analisis dilakukan terhadap parameter tegangan *Von Mises*, *displacement*, dan *safety factor* pada variasi pembebanan sebesar 4,90 N, 9,81 N, dan 19,61 N menggunakan material ABS. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai respon struktur dan kinerja struktural sistem *lifting* terhadap variasi pembebanan sebagai dasar pengembangan desain media simulator *rough terrain crane*.

2. METODOLOGI

2.1 Material

Objek penelitian berupa sistem *lifting* pada media simulator *rough terrain crane* yang dirancang menggunakan perangkat lunak *Autodesk Fusion 360*. Model tiga dimensi (*Computer Aided Design/CAD*) dibuat sesuai dimensi aktual simulator yang telah dikembangkan. Material yang digunakan adalah *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) yang diproduksi menggunakan teknologi *3D printing*. Material ABS dipilih karena memiliki karakteristik mekanik yang baik, mudah diproses menggunakan teknologi *3D printing*, serta banyak digunakan dalam pengembangan prototipe teknik. Syaefudin dkk. (2023) menjelaskan bahwa ABS merupakan salah satu material termoplastik yang banyak digunakan pada proses *3D printing* karena memiliki sifat mekanik yang baik dan mampu digunakan pada berbagai aplikasi simulator. Kutipan tersebut menunjukkan bahwa ABS memiliki karakteristik yang sesuai untuk digunakan sebagai material penyusun sistem *lifting* pada media simulator *rough terrain crane*.



Gambar 1. Model 3D Boom *Rough Terrain Crane*

Material yang digunakan dalam simulasi adalah *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS). Pemilihan material ABS didasarkan pada karakteristiknya yang ringan, mudah diproduksi menggunakan teknologi *3D printing*, serta memiliki sifat mekanik yang cukup baik untuk pembuatan simulator sistem mekanik. Data sifat material dimasukkan ke dalam *Autodesk Fusion 360* sebagai parameter simulasi elemen hingga. Karakteristik material ABS yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Material ABS

Parameter	Nilai
Massa jenis (<i>Density</i>)	$1,060 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}$

Modulus Elastisitas (<i>Young's Modulus</i>)	2,24 GPa
Rasio Poisson (<i>Poisson's Ratio</i>)	0,38
Kekuatan Luluh (<i>Yield Strength</i>)	20,00 MPa
Kekuatan Tarik Maksimum (<i>Ultimate Tensile Strength</i>)	29,60 MPa
Konduktivitas Termal (<i>Thermal Conductivity</i>)	$1,600 \times 10^{-4} \text{ W/(mm} \cdot ^\circ\text{C)}$
Koefisien Muai Termal (<i>Thermal Expansion Coefficient</i>)	$8,570 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
Kalor Jenis (<i>Specific Heat</i>)	1500 J/(kg $\cdot$ °C)

Sumber: Autodesk Fusion 360 Material Library

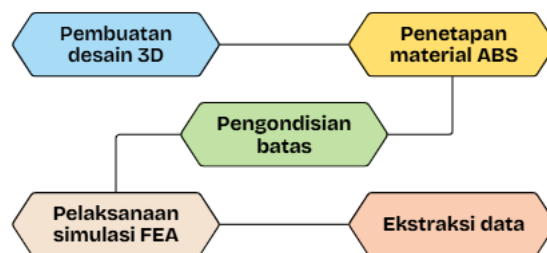
2.2 Metode

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan simulasi numerik berbasis *Finite Element Analysis* (FEA). Pendekatan tersebut digunakan untuk menganalisis respons struktur sistem *lifting* pada media simulator *rough terrain crane* terhadap variasi pembebanan statis. Analisis dilakukan untuk memperoleh nilai tegangan *Von Mises*, *displacement*, dan *safety factor* sebagai dasar dalam menentukan batas kemampuan angkat sistem *lifting*. Wibawa (2020) menjelaskan bahwa metode FEA mampu digunakan untuk menganalisis distribusi tegangan dan perubahan bentuk pada struktur *crane* secara akurat sehingga dapat membantu proses evaluasi desain dan keamanan struktur. Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa simulasi digital dapat digunakan sebagai pendekatan yang efektif untuk mengevaluasi perilaku struktur sebelum dilakukan proses pembuatan maupun pengujian. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah Autodesk Fusion 360 yang memiliki fasilitas simulasi statis berbasis metode elemen hingga untuk menganalisis respons struktur terhadap pembebanan.

2.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian diawali dengan proses perancangan model tiga dimensi menggunakan *Autodesk Fusion 360*. Model yang telah dibuat kemudian diberikan sifat material sesuai karakteristik ABS yang meliputi massa jenis, *modulus elastisitas*, rasio *Poisson*, dan *yield strength*. Tahap berikutnya adalah proses *meshing* yang bertujuan membagi model menjadi elemen-elemen kecil sehingga perhitungan digital dapat dilakukan secara lebih akurat. Budynas & Nisbett (2020) menjelaskan bahwa kualitas *mesh*, kondisi batas, dan pembebanan merupakan faktor yang memengaruhi ketelitian hasil analisis metode elemen hingga. Kutipan tersebut menunjukkan bahwa kualitas model simulasi sangat dipengaruhi oleh kesesuaian parameter yang diterapkan selama proses analisis.

Kondisi batas (*boundary condition*) diberikan pada bagian pangkal *boom* yang berfungsi sebagai titik tumpuan dan diasumsikan sebagai *fixed constraint*. Pembebanan diberikan pada ujung sistem *lifting* yang merepresentasikan titik pengangkatan beban. Variasi pembebanan yang digunakan terdiri atas 4,90 N, 9,81 N, dan 19,61 N yang setara dengan massa 500 gram, 1.000 gram, dan 2.000 gram. Xu dkk. (2022) menjelaskan bahwa pembebanan pada ujung struktur dan pemberian tumpuan tetap pada pangkal *boom* merupakan pendekatan yang umum digunakan dalam analisis struktur *crane* menggunakan metode elemen hingga. Kutipan tersebut menunjukkan bahwa pendekatan pembebanan statis dapat digunakan untuk menggambarkan perilaku sistem *lifting* terhadap beban kerja yang diterima.



Gambar 2. Prosedur Penelitian

2.4 Parameter Analisis

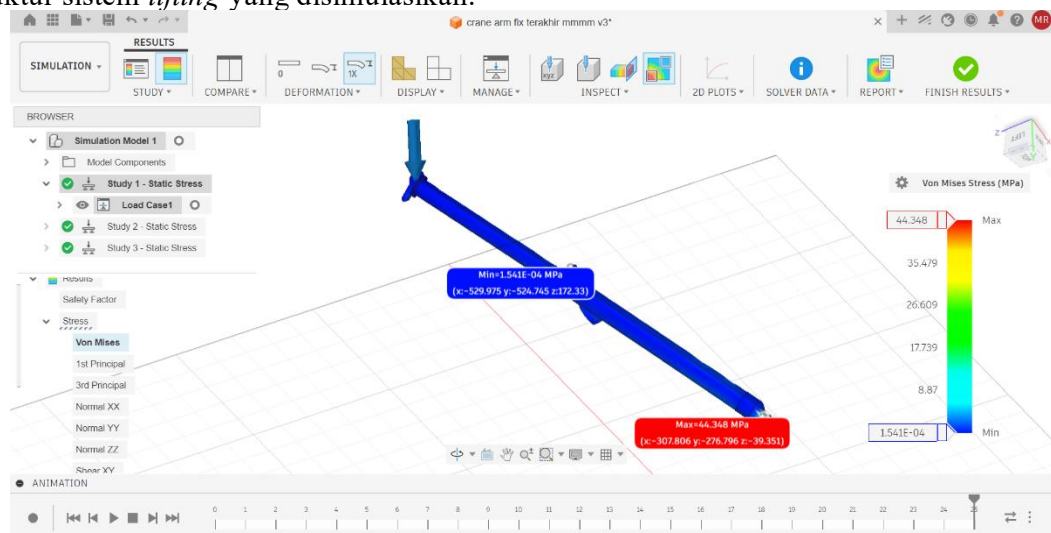
Hasil simulasi yang diperoleh berupa nilai tegangan *Von Mises*, *displacement*, dan *safety factor*. Tegangan *Von Mises* digunakan untuk mengidentifikasi distribusi tegangan yang terjadi pada struktur akibat pembebanan, sedangkan *displacement* digunakan untuk mengetahui besarnya perpindahan yang terjadi pada sistem *lifting*. Nilai *safety factor* digunakan untuk mengevaluasi tingkat keamanan struktur berdasarkan perbandingan antara kekuatan material dan tegangan kerja yang terjadi. Budynas & Nisbett (2020) menjelaskan bahwa evaluasi tegangan dan faktor keamanan merupakan tahapan penting dalam proses desain mekanik untuk memastikan struktur mampu bekerja sesuai kondisi pembebanan yang direncanakan. Kutipan tersebut menunjukkan bahwa ketiga parameter tersebut dapat digunakan untuk menggambarkan karakteristik struktur secara menyeluruh.

Data hasil simulasi dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai tegangan *Von Mises*, *displacement*, dan *safety factor* pada setiap variasi pembebanan. Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh peningkatan beban terhadap respons struktur sistem *lifting*. Hasil analisis kemudian digunakan untuk menentukan batas kemampuan angkat berdasarkan kecenderungan peningkatan tegangan dan perubahan bentuk serta penurunan nilai *safety factor* yang terjadi pada masing-masing variasi pembebanan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

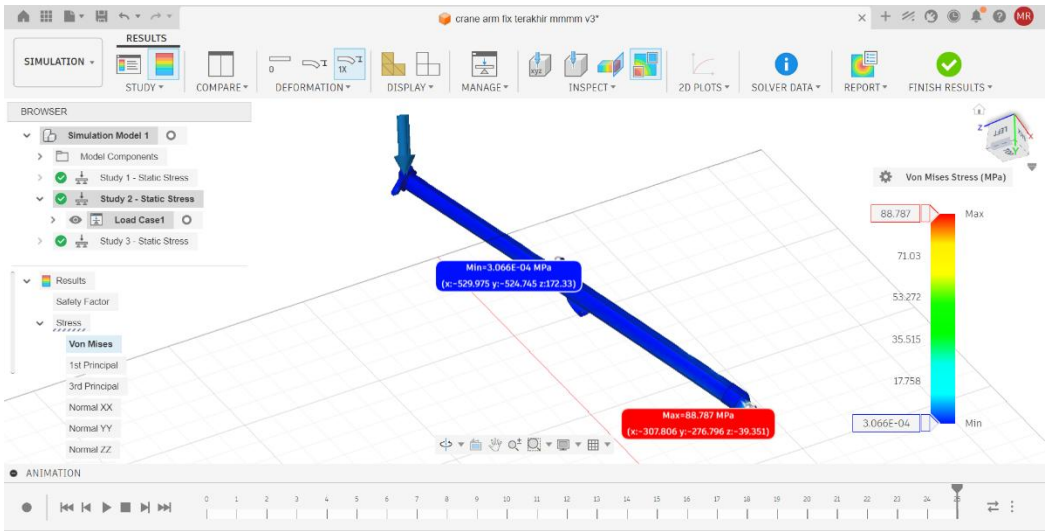
3.1 Analisis Tegangan *Von Mises*

Tegangan *Von Mises* digunakan untuk mengevaluasi kemampuan suatu struktur dalam menahan pembebanan berdasarkan teori energi distorsi. Nilai tegangan *Von Mises* yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan kekuatan luluh (*yield strength*) material untuk mengetahui potensi terjadinya kegagalan struktur. Material akan mengalami perubahan bentuk permanen apabila tegangan kerja melebihi batas luluhnya. Budynas & Nisbett (2020) menjelaskan bahwa kriteria *Von Mises* merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan untuk memprediksi kegagalan pada material akibat pembebanan kombinasi. Kutipan tersebut menunjukkan bahwa distribusi tegangan *Von Mises* dapat digunakan untuk mengidentifikasi lokasi serta mengevaluasi tingkat keamanan struktur sistem *lifting* yang disimulasikan.



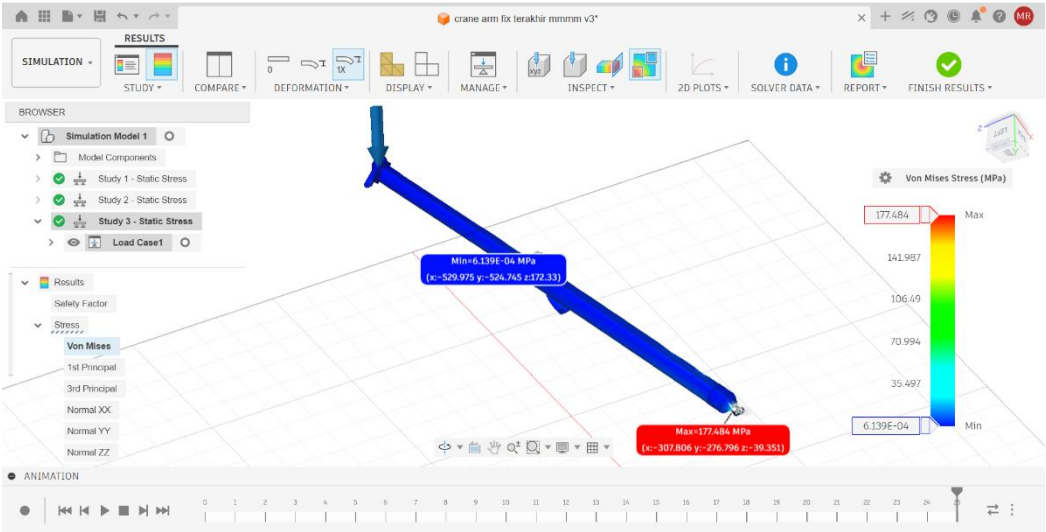
Gambar 3. Kontur Tegangan *Von Mises* pada Pembebanan 4,90 N

Hasil simulasi pada pembebanan 4,90 N menunjukkan nilai tegangan *Von Mises* maksimum sebesar 44,348 MPa. Tegangan maksimum terletak pada daerah sambungan pangkal sistem *lifting* yang berdekatan dengan kondisi pengekanan (*fixed constraint*). Distribusi warna kontur menunjukkan bahwa sebagian besar struktur mengalami tegangan rendah, sedangkan konsentrasi tegangan terjadi pada area sambungan akibat perubahan geometri dan akumulasi beban. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa daerah sambungan merupakan titik yang menerima momen lentur terbesar selama proses pembebanan.



Gambar 4. Kontur Tegangan *Von Mises* pada Pembebanan 9,81 N

Pada pembebanan 9,81 N diperoleh nilai tegangan *Von Mises* maksimum sebesar 88,787 MPa. Nilai tersebut meningkat hampir dua kali lipat dibandingkan pembebanan 4,90 N. Lokasi tegangan maksimum tetap berada pada daerah sambungan pangkal sistem *lifting*. Peningkatan tegangan terjadi akibat bertambahnya gaya eksternal yang menghasilkan momen lentur lebih besar pada struktur. Distribusi kontur memperlihatkan pola yang relatif sama dengan pembebanan sebelumnya, namun luas daerah yang mengalami tegangan tinggi menjadi lebih besar.



Gambar 5. Kontur Tegangan *Von Mises* pada Pembebanan 19,61 N

Pada pembebanan 19,61 N diperoleh tegangan *Von Mises* maksimum sebesar 177,484 MPa. Nilai tersebut menunjukkan peningkatan yang signifikan dibandingkan dua variasi pembebanan sebelumnya. Lokasi tegangan maksimum masih teridentifikasi pada daerah sambungan pangkal sistem *lifting*. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan beban secara langsung meningkatkan tegangan yang bekerja pada struktur, khususnya pada bagian yang mengalami konsentrasi tegangan akibat perubahan penampang dan kondisi pengekanan.

Tabel 2. Perbandingan Tegangan *Von Mises* Maksimum

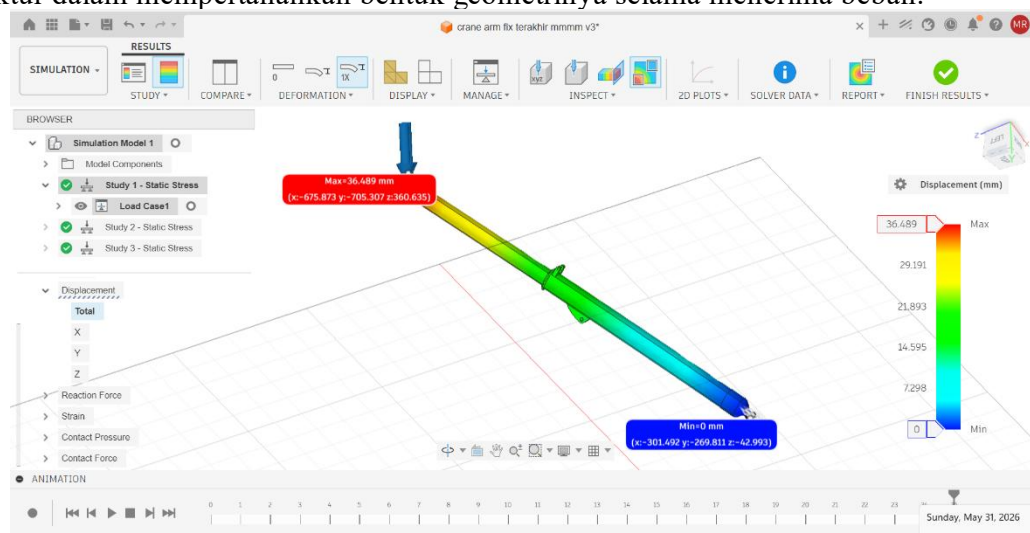
Beban (N)	Tegangan <i>Von Mises</i> Maksimum (MPa)
4,90	44,348
9,81	88,787
19,61	177,484

Berdasarkan Tabel 2, peningkatan beban menyebabkan kenaikan tegangan *Von Mises* yang hampir bersifat linier. Tegangan maksimum meningkat dari 44,348 MPa pada pembebanan 4,90 N menjadi 88,787 MPa pada pembebanan 9,81 N, kemudian mencapai 177,484 MPa pada pembebanan 19,61 N. Kenaikan tersebut menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diberikan, semakin besar pula tegangan yang harus ditahan oleh struktur sistem *lifting*. Hasil ini sesuai dengan teori mekanika material yang menyatakan bahwa peningkatan gaya pembebanan akan meningkatkan momen lentur sehingga tegangan yang terjadi pada struktur juga bertambah Budynas & Nisbett (2020). Pernyataan tersebut menunjukkan adanya hubungan berbanding lurus antara pembebanan dan tegangan yang dihasilkan. Hazman dkk. (2026) menyatakan bahwa peningkatan pembebanan pada struktur *crane* menyebabkan kenaikan tegangan ekuivalen akibat bertambahnya momen lentur yang bekerja pada struktur. Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa distribusi tegangan pada struktur pengangkat sangat dipengaruhi oleh besarnya beban yang diterima komponen.

Jika dibandingkan dengan karakteristik material ABS yang digunakan dalam simulasi, seluruh nilai tegangan maksimum telah melampaui kekuatan luluh (*yield strength*) material sebesar 20 MPa. Tegangan maksimum pada pembebanan 4,90 N mencapai 44,348 MPa atau sekitar 2,22 kali lebih besar daripada batas luluh material. Pada pembebanan 9,81 N dan 19,61 N, tegangan maksimum meningkat menjadi masing-masing 88,787 MPa dan 177,484 MPa. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa struktur berpotensi mengalami perubahan bentuk permanen apabila menerima pembebanan tersebut secara nyata. Temuan ini juga sejalan dengan penelitian Muhajir dkk. (2025) yang menyatakan bahwa daerah sambungan dan titik pengekangan merupakan lokasi utama terjadinya konsentrasi tegangan pada struktur yang menerima beban lentur. Berdasarkan hasil simulasi, daerah sambungan pangkal sistem *lifting* dapat diidentifikasi sebagai titik paling kritis karena secara konsisten menghasilkan nilai tegangan maksimum pada seluruh variasi pembebanan.

3.2 Analisis *Displacement*

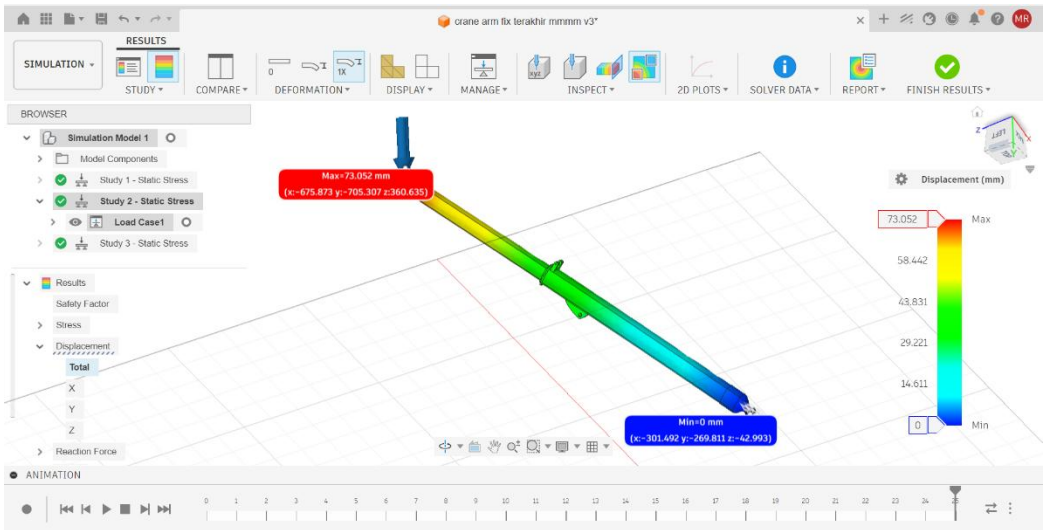
Displacement merupakan perpindahan posisi suatu titik pada struktur akibat adanya pembebanan eksternal. Analisis *displacement* digunakan untuk mengetahui tingkat perubahan bentuk yang terjadi pada sistem *lifting* sehingga dapat dievaluasi kekakuan (*stiffness*) struktur dalam menahan beban kerja. Semakin besar nilai *displacement* yang terjadi, semakin besar pula perubahan bentuk yang dialami struktur akibat pembebanan Budynas & Nisbett (2020). Kutipan tersebut menunjukkan bahwa nilai *displacement* dapat digunakan sebagai indikator kemampuan struktur dalam mempertahankan bentuk geometrinya selama menerima beban.



Gambar 6. Kontur *Displacement* Beban 4,90 N

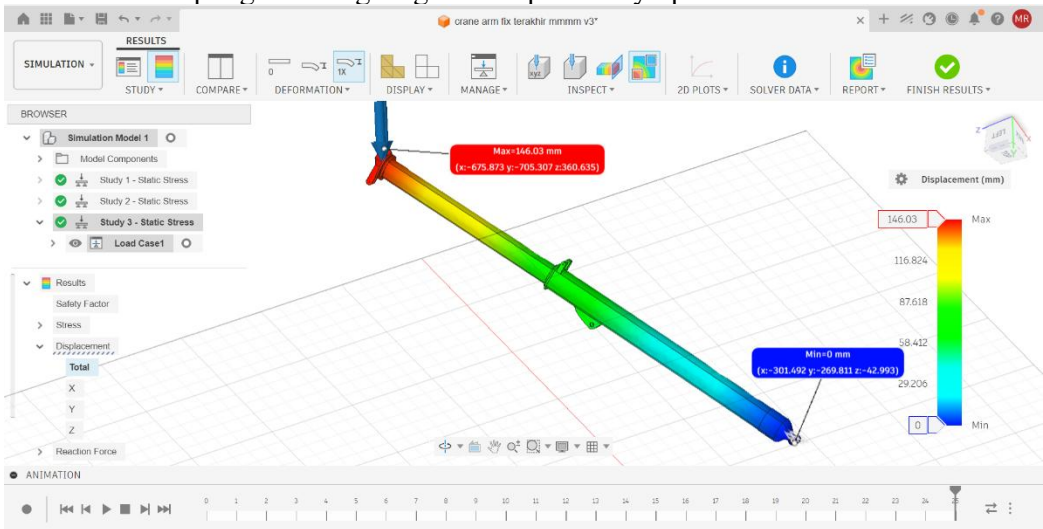
Hasil simulasi menunjukkan bahwa pembebanan sebesar 4,90 N menghasilkan nilai *displacement* maksimum sebesar 36,489 mm. Nilai perpindahan maksimum terjadi pada ujung sistem *lifting* yang merupakan lokasi terjauh dari titik pengekangan (*fixed constraint*). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa struktur mengalami perilaku lentur (*bending*) akibat beban yang

diberikan pada ujung lengan. Distribusi warna pada kontur simulasi memperlihatkan bahwa perpindahan meningkat secara bertahap dari daerah pangkal menuju ujung struktur.



Gambar 7. Kontur *Displacement* Beban 9.81 N

Peningkatan beban menjadi 9,81 N menghasilkan nilai *displacement* maksimum sebesar 73,052 mm. Nilai tersebut meningkat hampir dua kali lipat dibandingkan kondisi pembebanan 4,90 N. Pola distribusi perpindahan masih menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu perpindahan maksimum berada pada bagian ujung sistem *lifting*. Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan beban memberikan pengaruh langsung terhadap besarnya perubahan bentuk struktur.



Gambar 8. Kontur *Displacement* Beban 19,61 N

Pada pembebanan terbesar sebesar 19,61 N diperoleh nilai *displacement* maksimum sebesar 146,030 mm. Nilai tersebut merupakan yang tertinggi dari seluruh variasi pembebanan yang diuji. Besarnya perubahan bentuk menunjukkan bahwa struktur ABS mengalami lendutan yang signifikan ketika menerima beban yang lebih besar. Kondisi ini dapat memengaruhi kestabilan dan akurasi gerakan sistem *lifting* apabila diterapkan pada kondisi nyata.

Tabel 3. Perbandingan *Displacement* Maksimum

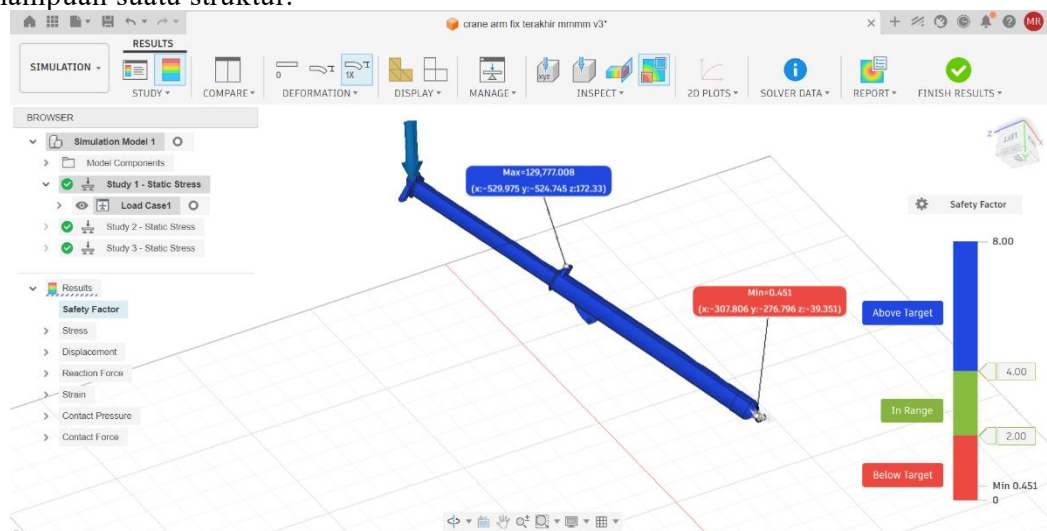
Beban (N)	<i>Displacement</i> Maksimum (mm)
4,90	36,489
9,81	73,052
19,61	146,030

Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa peningkatan beban menyebabkan peningkatan nilai *displacement* secara hampir linier. Ketika beban meningkat dua kali lipat dari 4,90 N menjadi 9,81 N, nilai *displacement* juga meningkat mendekati dua kali lipat. Kondisi serupa terjadi saat pembebanan dinaikkan menjadi 19,61 N.

Hasil tersebut sejalan dengan teori mekanika material yang menyatakan bahwa perubahan bentuk struktur akan meningkat seiring bertambahnya pembebanan yang diterima selama material masih bekerja pada daerah elastis (Budynas & Nisbett, 2020). Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan gaya pembebanan akan menghasilkan peningkatan lendutan struktur selama sifat material dan geometri struktur tetap konstan. Temuan ini juga menguatkan hasil penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa kenaikan beban pada struktur kantilever menyebabkan peningkatan perubahan bentuk secara proporsional akibat bertambahnya momen lentur pada sistem. Temuan ini sejalan dengan penelitian Muhajir dkk. (2025) yang menunjukkan bahwa peningkatan pembebanan menyebabkan bertambahnya *displacement* pada struktur akibat meningkatnya momen lentur yang bekerja pada rangka.

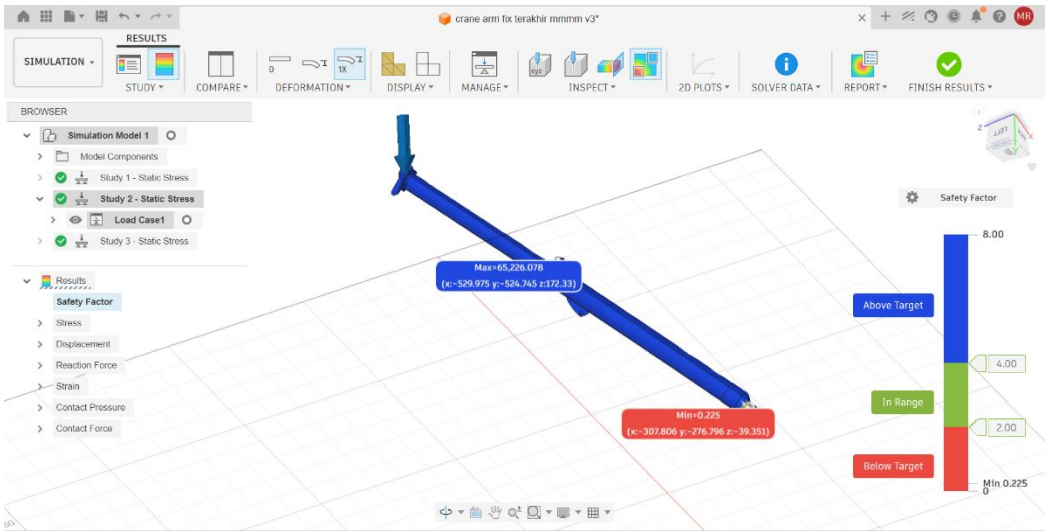
3.3 Analisis *Safety Factor*

Safety factor merupakan rasio antara kekuatan material terhadap tegangan kerja yang diterima struktur. Parameter ini digunakan untuk mengevaluasi tingkat keamanan suatu komponen ketika menerima pembebanan. Nilai *safety factor* yang semakin besar menunjukkan tingkat keamanan yang semakin baik, sedangkan nilai di bawah satu menunjukkan bahwa tegangan kerja telah melebihi kemampuan material dalam menahan beban (Budynas & Nisbett, 2020). Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa *safety factor* menjadi parameter penting dalam menentukan batas kemampuan suatu struktur.



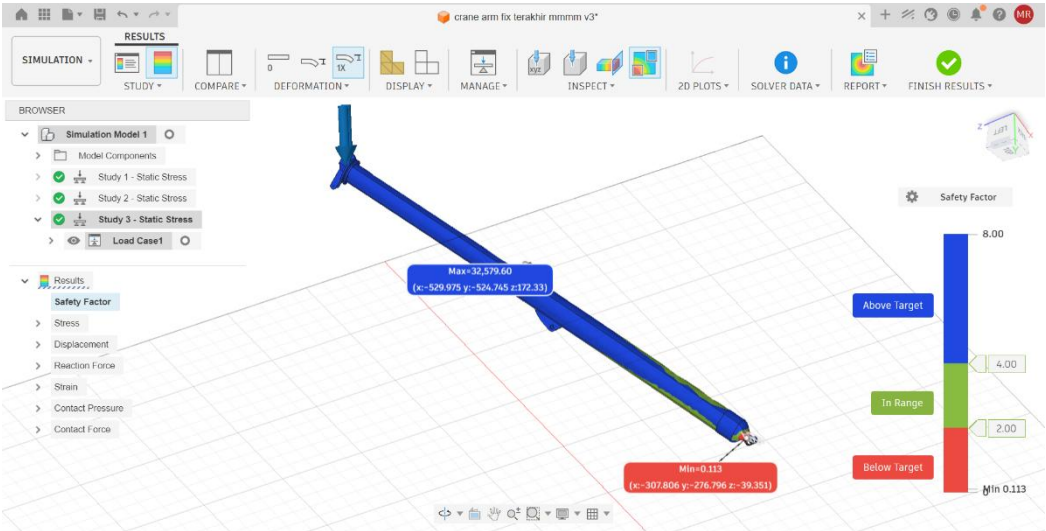
Gambar 9. Kontur *Safety Factor* Beban 4,90 N

Hasil simulasi pada pembebanan 4,90 N menghasilkan nilai *safety factor* minimum sebesar 0,451. Nilai minimum tersebut berada pada daerah sambungan pangkal sistem *lifting*, yaitu lokasi yang juga mengalami tegangan maksimum. Nilai yang berada di bawah satu menunjukkan bahwa struktur belum memenuhi kriteria keamanan untuk menerima pembebanan tersebut.



Gambar 10. Kontur *Safety Factor* Beban 9,81 N

Pada pembebanan 9,81 N diperoleh nilai *safety factor* minimum sebesar 0,225. Nilai tersebut mengalami penurunan sekitar 50% dibandingkan pembebanan sebelumnya. Penurunan ini menunjukkan bahwa peningkatan beban menyebabkan tingkat keamanan struktur semakin berkurang.



Gambar 11. Kontur *Safety Factor* Beban 19,61 N

Pembebanan terbesar sebesar 19,61 N menghasilkan nilai *safety factor* minimum sebesar 0,113. Nilai ini merupakan yang terendah dari seluruh variasi pembebanan yang diuji. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa struktur berada jauh di bawah batas keamanan yang direkomendasikan sehingga berpotensi mengalami kerusakan apabila digunakan pada kondisi nyata.

Tabel 4. Perbandingan *Safety Factor* Minimum

Beban (N)	<i>Safety Factor</i> Minimum
4,90	0,451
9,81	0,225
19,61	0,113

Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa peningkatan beban menyebabkan penurunan nilai *safety factor* secara signifikan. Nilai *safety factor* pada seluruh variasi pembebanan berada di bawah satu sehingga struktur belum memenuhi persyaratan keamanan dasar. Budynas & Nisbett (2020) menyatakan bahwa suatu komponen umumnya dianggap aman apabila memiliki *safety factor* lebih

besar dari satu. Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa struktur harus memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan beban kerja yang diterimanya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa material ABS yang digunakan pada sistem *lifting* belum mampu memenuhi persyaratan tersebut pada seluruh variasi pembebanan yang diuji.

3.4 Penentuan Batas Kemampuan Angkat Sistem Lifting

Penentuan batas kemampuan angkat dilakukan dengan mengintegrasikan hasil analisis tegangan *Von Mises*, *displacement*, dan *safety factor*. Ketiga parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi respons struktur terhadap variasi pembebanan serta menentukan batas pembebanan yang masih dapat diterima oleh sistem *lifting*.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Simulasi

Beban (N)	<i>Von Mises</i> (MPa)	<i>Displacement</i> (mm)	<i>Safety Factor</i>
4,90	44,348	36,489	0,451
9,81	88,787	73,052	0,225
19,61	177,484	146,030	0,113

Berdasarkan Tabel 5 terlihat bahwa peningkatan beban menyebabkan kenaikan tegangan *Von Mises* dan *displacement*, serta menyebabkan penurunan *safety factor*. Nilai tegangan maksimum meningkat dari 44,348 MPa menjadi 177,484 MPa ketika beban dinaikkan dari 4,90 N menjadi 19,61 N. Pada saat yang sama, nilai *displacement* meningkat dari 36,489 mm menjadi 146,030 mm, sedangkan *safety factor* menurun dari 0,451 menjadi 0,113.

Lokasi kritis pada seluruh variasi pembebanan selalu berada pada daerah sambungan pangkal sistem *lifting*. Hasil ini sejalan dengan penelitian Wibawa (2020) yang menunjukkan bahwa daerah sambungan dan titik penerimaan beban pada struktur *crane* merupakan lokasi yang paling rentan mengalami konsentrasi tegangan akibat akumulasi gaya dan momen lentur. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa bagian tersebut menjadi pusat konsentrasi tegangan akibat kombinasi gaya dan momen lentur yang bekerja pada struktur. Temuan ini sejalan dengan teori mekanika material yang menyatakan bahwa daerah perubahan geometri dan titik tumpuan cenderung menjadi lokasi terjadinya konsentrasi tegangan akibat akumulasi gaya dan momen yang bekerja pada struktur (Budynas & Nisbett, 2020). Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa desain sambungan memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kekuatan struktur secara keseluruhan.

Berdasarkan hasil simulasi, struktur ABS yang digunakan belum memenuhi kriteria keamanan karena nilai *safety factor* pada seluruh variasi pembebanan berada di bawah satu. Menurut Budynas & Nisbett (2020), nilai *safety factor* di bawah satu menunjukkan bahwa tegangan kerja telah melampaui batas kemampuan material sehingga struktur berpotensi mengalami kerusakan. Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa struktur belum mampu menahan beban yang diberikan secara aman.

Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa batas kemampuan angkat aman belum tercapai pada variasi pembebanan 4,90 N, 9,81 N, maupun 19,61 N. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya optimasi desain, seperti penambahan dimensi penampang, modifikasi geometri sambungan, atau penggunaan material dengan kekuatan mekanik yang lebih tinggi dibandingkan ABS. Upaya tersebut diharapkan dapat menurunkan tegangan maksimum, mengurangi perubahan bentuk, serta meningkatkan nilai *safety factor* sehingga sistem *lifting* dapat bekerja dengan tingkat keamanan yang lebih baik.

Berdasarkan hasil simulasi, peningkatan pembebanan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respons struktur sistem *lifting*. Hubungan yang hampir linier antara pembebanan dengan tegangan *Von Mises* dan *displacement* menunjukkan bahwa struktur masih mengikuti karakteristik perilaku mekanik akibat pembebanan lentur. Nilai *safety factor* yang berada di bawah satu pada seluruh variasi pembebanan menunjukkan bahwa konfigurasi desain dan material yang digunakan belum mampu memenuhi persyaratan keamanan struktur.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis struktur sistem *lifting* simulator *rough terrain crane* menggunakan metode elemen hingga, peningkatan pembebanan menyebabkan kenaikan nilai tegangan *Von Mises* dan *displacement*, serta penurunan nilai *safety factor*. Nilai tegangan *Von Mises* maksimum meningkat dari 44,348 MPa pada pembebanan 4,90 N menjadi 177,484 MPa pada pembebanan

19,61 N. Nilai *displacement* maksimum meningkat dari 36,489 mm menjadi 146,030 mm, sedangkan *safety factor* minimum menurun dari 0,451 menjadi 0,113. Konsentrasi tegangan tertinggi pada seluruh variasi pembebanan terjadi pada daerah sambungan pangkal sistem *lifting* yang berdekatan dengan titik pengekanan (*fixed constraint*).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur sistem *lifting* berbahan *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) belum memenuhi kriteria keamanan karena seluruh variasi pembebanan menghasilkan nilai *safety factor* di bawah 1 dan tegangan kerja yang melebihi *yield strength* material sebesar 20 MPa. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa batas kemampuan angkat aman belum tercapai pada pembebanan 4,90 N, 9,81 N, maupun 19,61 N. Pengembangan penelitian selanjutnya dapat dilakukan melalui optimasi geometri struktur, modifikasi desain sambungan, atau penggunaan material dengan kekuatan mekanik yang lebih tinggi untuk meningkatkan kapasitas dan keamanan sistem *lifting*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyobimo, N. B. dan Rizkia, V. (2025) "Analisis Desain Main Arm dari Cantilever Jib Crane Kapasitas 1 Ton dengan bentangan 4 Meter," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, (1), hal. 85–91.
- Budynas, R. G. dan Nisbett, J. K. (2020) *Mechanical Engineering Design*.
- Emzain, Z. F. *et al.* (2023) "Desain dan Analisis Elemen Hingga Model Wrist Hand Orthosis Berbasis Metode Pemodelan Reverse Engineering," *Jurnal Rekayasa Mesin*, 18(1), hal. 19. doi: 10.32497/jrm.v18i1.3936.
- Febriasta, G. *et al.* (2025) "Analisis Alternatif Material ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) Menggunakan Metode FMEA pada Komponen Shutter Support Kipas Angin PT . XYZ," hal. 1256–1265.
- Halim, A. *et al.* (2025) "Jurnal Rekayasa Mesin Arfan dkk / Jurnal Rekayasa Mesin," *Jurnal Rekayasa Mesin*, 20(1), hal. 105–114.
- Hazman, M. Al *et al.* (2026) "ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR TRUCK MOUNTED," 4(1), hal. 256–265.
- Kannan, S. dan Ramamoorthy, M. (2020) "Mechanical characterization and experimental modal analysis of 3D Printed ABS, PC and PC-ABS materials," *Materials Research Express*, 7(1). doi: 10.1088/2053-1591/ab6a48.
- Muhajir, A. N. *et al.* (2025) "JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN] Studi Pengaruh Jumlah, Ukuran, Bentuk Mesh Terhadap Hasil Simulasi Rangka Sepeda Motor Listrik Menggunakan Metode Finite Element Analysis (Fea)," 6(6), hal. 2720–2731.
- Musyono, A. D. N. I. *et al.* (2024) "Pengembangan Metode Pembelajaran Berbasis Karakter Pada Mata Kuliah Computer Aided Design (Cad) Development of Character-Based Learning Methods in Computer Aided Design (Cad) Courses," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 11(1).
- Nyemba, W. R. (2026) *Computer-Integrated Engineering Design and Manufacture*.
- Rizki Aulia Nanda *et al.* (2022) "ANALISIS CHASSIS MOBIL ROBOT PENANAMAN BIBIT KANGKUNG MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA," *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 2(2), hal. 1–8. doi: 10.36805/jtmmx.v2i2.2167.
- Shabana *et al.* (2019) "Evaluating the mechanical properties of commonly used 3D printed ABS and PLA polymers with multi layered polymers," *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(6), hal. 2351–2356. doi: 10.35940/ijeat.F8646.088619.
- Syaefudin, E. A. *et al.* (2023) "The effect of orientation on tensile strength 3D printing with ABS and PLA materials," *Journal of Physics: Conference Series*, 2596(1). doi: 10.1088/1742-6596/2596/1/012002.
- 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), hal. 201. doi: 10.24912/jmstkik.v4i2.7006.
- Xu, J. *et al.* (2022) "Instability load analysis of a telescopic boom for an all-Terrain crane," *Mechanical Sciences*, 13(2), hal. 991–1009. doi: 10.5194/ms-13-991-2022.