



Analisis Pengaruh Variasi Sudut *Tie-Rod* terhadap Kinerja Struktural *Wall Mounted Jib Crane*

Sigit Abi Purnomo¹, Tri Mulyanto^{2*}, Supriyono³, Abdul Muchlis⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Gunadarma, Indonesia

Alamat: Jl. Margonda Raya No. 100 Pondok Cina, Depok, Jawa Barat

Korespondensi penulis: tri_mulyanto@staff.gunadarma.ac.id

Abstract. *This study investigates the effect of tie-rod angle variation on the structural performance of a wall-mounted jib crane with a tie-rod supported configuration. The variation in the tie-rod angle significantly affects the strength, deformation, and safety factor of the crane structure. A numerical simulation was performed using SolidWorks 2021 with the Finite Element Analysis (FEA) method to evaluate two tie-rod angle configurations: one located at the boom's free end and another at the boom's centroid. The material used was ASTM A36 steel with a maximum lifting load of 2 tons. The main parameters analyzed were von Mises stress, total displacement, and safety factor. The simulation results show that the tie-rod located at the boom's free end generates a maximum von Mises stress of 26.17 MPa, a displacement of 0.30 mm, and a safety factor of 9.56. Meanwhile, the configuration at the centroid produces a stress of 29.49 MPa, a displacement of 1.47 mm, and a safety factor of 8.20. These findings indicate that the free-end tie-rod position provides better structural performance by reducing stress concentration and deformation, thus enhancing the crane's load-bearing efficiency and operational safety.*

Keywords: *wall-mounted jib crane, tie-rod supported, finite element analysis, structural performance, safety factor*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi sudut terhadap kinerja struktural pada *wall mounted jib crane* tipe *tie-rod supported*. Variasi sudut *tie-rod* berpotensi memengaruhi kekuatan konstruksi, deformasi, dan faktor keamanan sistem penyangga. Penelitian ini dilakukan melalui pendekatan numerik menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2021 dengan metode Finite Element Analysis (FEA). Model rancangan menggunakan material ASTM A36 dengan beban maksimum 2 ton. Analisis dilakukan terhadap dua konfigurasi sudut *tie-rod*, yaitu posisi pada ujung bebas *boom* dan pada titik berat *boom*. Parameter utama yang dianalisis meliputi tegangan von Mises, defleksi (displacement), dan faktor keamanan (*safety factor*). Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi *tie-rod* pada ujung bebas *boom* menghasilkan tegangan maksimum 26,17 MPa, defleksi 0,30 mm, dan faktor keamanan 9,56. Sementara itu, konfigurasi pada titik berat *boom* menghasilkan tegangan 29,49 MPa, defleksi 1,47 mm, dan faktor keamanan 8,20. Temuan ini menunjukkan bahwa posisi *tie-rod* pada ujung bebas *boom* memberikan performa struktural yang lebih optimal karena mampu menurunkan tegangan dan deformasi sistem. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap optimasi desain *jib crane* berbasis FEA untuk peningkatan keselamatan dan efisiensi pada sistem pengangkatan industri manufaktur modern.

Kata kunci: *wall-mounted jib crane, tie-rod supported, analisis elemen hingga, kinerja struktural, faktor keamanan.*

1. LATAR BELAKANG

Kebutuhan terhadap alat bantu angkat yang efisien, aman, dan memiliki tingkat presisi tinggi semakin meningkat seiring dengan perkembangan industri manufaktur di era Industri 4.0. Pemerintah Indonesia melalui *Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 8 Tahun 2020 tentang K3 Pesawat Angkat dan Angkut* menegaskan bahwa *jig* dan *fixture*

Received: October 19, 2025; Revised: October 26, 2025; Accepted: October 27, 2025; Online Available: October 27, 2025; Published: October 27, 2025;

*Corresponding author, tri_mulyanto@staff.gunadarma.ac.id

merupakan peralatan bantu penting dalam sistem otomasi industri untuk memastikan presisi, konsistensi, dan efisiensi proses produksi ([Kementerian Perindustrian RI, 2020](#)). Pernyataan ini menunjukkan bahwa peralatan bantu seperti *jib crane* memiliki peran strategis dalam mendukung efisiensi dan keselamatan kerja pada kegiatan *material handling* di sektor manufaktur dan pergudangan.

Salah satu jenis *jib crane* yang banyak digunakan di lingkungan produksi adalah *wall-mounted jib crane*, yaitu pesawat angkat dengan lengan (*boom*) yang terpasang pada struktur dinding atau kolom bangunan ([Hanchate & Akhil., 2021](#)). Desain ini menawarkan fleksibilitas tinggi pada ruang terbatas serta konsumsi energi yang lebih efisien dibandingkan crane konvensional. Namun, efektivitas dan keamanan operasionalnya sangat bergantung pada kekuatan konstruksi dan konfigurasi elemen penopang, terutama komponen *tie-rod* yang berfungsi menahan gaya tarik serta mengurangi momen lentur pada *boom*.

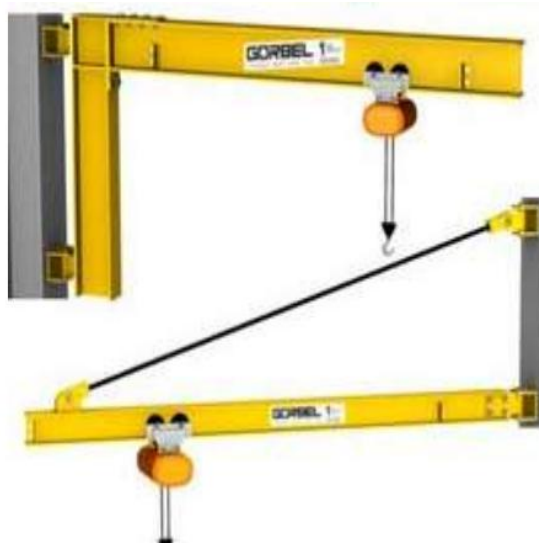
Sudut *tie-rod* merupakan salah satu parameter penting dalam desain *jib crane* karena memengaruhi distribusi gaya, tegangan maksimum, dan deformasi struktur. Penentuan sudut optimal menjadi hal krusial agar crane memiliki keseimbangan antara kekakuan dan efisiensi material. [Kulka et al. \(2024\)](#) menunjukkan bahwa analisis elemen hingga (*Finite Element Method / FEM*) efektif digunakan untuk mengoptimalkan desain *box girder* pada crane, menghasilkan pengurangan berat struktur tanpa mengorbankan kekuatan. Sementara itu, penelitian oleh [Sakai et al. \(2024\)](#) menemukan bahwa variasi sudut penyangga (*brace angle*) secara signifikan memengaruhi kekakuan global serta stabilitas struktur penopang, di mana perubahan geometri *brace* mampu meningkatkan ketahanan terhadap deformasi dan tekuk lokal.

Lebih lanjut, penerapan teknologi *digital twin* dalam sistem pemantauan crane telah membuka peluang baru dalam menjaga keandalan struktur selama masa operasional. [Huang et al. \(2024\)](#) mengembangkan model digital twin yang terintegrasi dengan analisis FEM untuk memantau deformasi dan beban pada balok crane secara *real-time*, sehingga mampu mendeteksi potensi kegagalan lebih dini. Dengan demikian, penelitian mengenai pengaruh sudut *tie-rod* terhadap kekuatan konstruksi *wall-mounted jib crane* menjadi sangat relevan dalam mendukung efisiensi, keselamatan, dan modernisasi peralatan *material handling* di era Industri 4.0.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1 Jib Crane dan Aplikasi Wall-Mounted System

Jib crane merupakan salah satu alat bantu angkat yang berfungsi memindahkan material secara efisien di area kerja terbatas. Struktur utama *jib crane* terdiri atas kolom, *boom*, *tie-rod*, dan *hoist trolley*. Tipe *wall-mounted jib crane* dirancang menempel pada struktur bangunan sehingga tidak memerlukan pondasi tambahan dan sangat sesuai untuk ruang produksi dengan keterbatasan area gerak. Efisiensi dan presisi kerja alat ini mendukung tujuan industri manufaktur modern yang menekankan aspek keselamatan, efisiensi energi, dan otomasi sebagaimana diarahkan dalam *Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2020* mengenai penerapan teknologi *jig* dan *fixture* dalam sistem otomasi produksi ([Kementerian Perindustrian RI, 2020](#)). Penelitian [Picha Panmongkol et al. \(2023\)](#) juga mengonfirmasi bahwa penggunaan metode elemen hingga efektif dalam menentukan konfigurasi optimal *jib crane* dengan mempertimbangkan distribusi gaya dan efisiensi material.



Sumber: [Hanchate & Akhil., 2021](#)

Gambar 1. Tie Rod Style Jib Crane

2.2 Peran Tie-Rod terhadap Kekuatan Struktur

Komponen *tie-rod* berfungsi sebagai elemen penopang yang menahan gaya tarik pada *boom* untuk menurunkan momen lentur dan defleksi yang terjadi saat crane mengangkat beban. Besarnya sudut *tie-rod* terhadap horizontal memengaruhi distribusi gaya pada sambungan dan kekakuan keseluruhan struktur. Sudut yang terlalu kecil dapat meningkatkan gaya tarik pada *tie-rod* namun menurunkan kestabilan lateral, sedangkan

sudut yang terlalu besar meningkatkan momen lentur pada *boom*. Oleh karena itu, penentuan sudut optimal menjadi hal penting untuk menjaga keseimbangan antara kekuatan dan efisiensi struktur ([Kulka et al., 2024](#)).

2.3 Analisis Elemen Hingga (Finite Element Method)

Metode elemen hingga (FEM) digunakan secara luas untuk menganalisis perilaku mekanik struktur crane, karena mampu memprediksi distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan secara akurat sebelum proses manufaktur dilakukan. Menurut [Kulka et al. \(2024\)](#), penerapan FEM pada desain *box girder crane* dapat mengoptimalkan kekakuan dengan pengurangan berat hingga 10%. Selain itu, [Sakai et al. \(2024\)](#) menunjukkan bahwa variasi sudut penyangga (*brace angle*) memiliki pengaruh signifikan terhadap stabilitas dan deformasi global struktur, sehingga prinsip yang sama dapat diterapkan pada studi *tie-rod* pada *jib crane*.

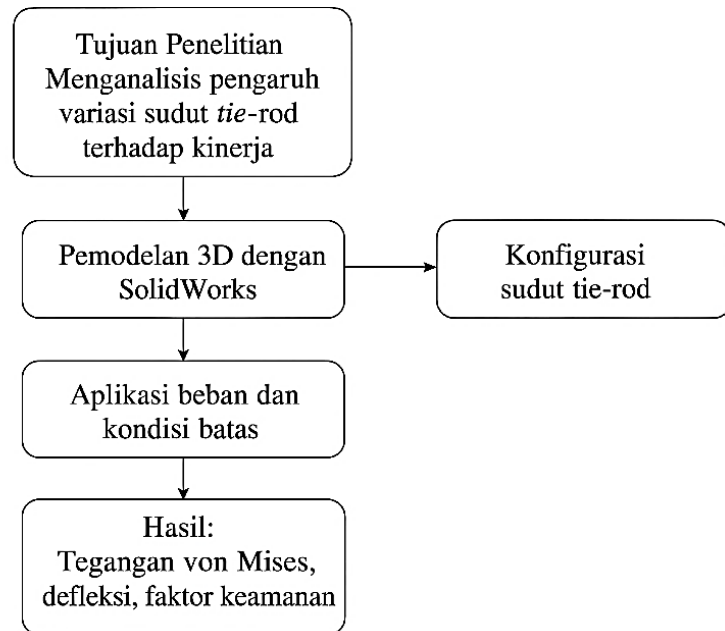
2.4 Konsep Digitalisasi dan Pemantauan Struktur

Seiring perkembangan industri 4.0, teknologi *digital twin* memungkinkan pemantauan kondisi struktur crane secara real-time. Model digital yang dikombinasikan dengan data sensor mampu mendeteksi deformasi, tegangan berlebih, dan potensi kegagalan struktur sejak dini ([Huang et al., 2023](#)). Pendekatan ini menunjukkan bahwa penelitian berbasis simulasi numerik tidak hanya relevan untuk desain awal, tetapi juga mendukung sistem pemeliharaan prediktif (*predictive maintenance*) yang menjadi bagian Pendekatan ini diperkuat oleh studi [Yang et al. \(2022\)](#) yang mengembangkan sistem digital twin berbasis extended reality untuk pemantauan interaktif kondisi crane secara real-time. Selanjutnya, [Azanaw \(2024\)](#) menegaskan bahwa integrasi digital twin dalam sistem structural health monitoring mampu meningkatkan deteksi dini kerusakan dan memperpanjang umur pakai struktur alat angkat.

3. METODE PENELITIAN

Analisis dilakukan menggunakan pendekatan *Finite Element Analysis* (FEA) berbasis SolidWorks Simulation dengan tahapan utama meliputi pemodelan geometri, penentuan material, pembebanan, pembuatan mesh, penetapan boundary condition, serta proses post-processing untuk menganalisis hasil tegangan dan deformasi. Pemodelan dibuat dalam kondisi statis linier, sedangkan kualitas mesh divalidasi menggunakan konvergensi hasil (<5%). Validasi tambahan dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan teori defleksi balok Euler–Bernoulli.

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode simulasi numerik berbasis Finite Element Analysis (FEA) untuk menganalisis pengaruh variasi sudut *tie-rod* terhadap kinerja struktural wall-mounted jib crane tipe *tie-rod supported*.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian.

Pemodelan tiga dimensi dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* 2021, dengan material baja ASTM A36 yang memiliki tegangan luluh 250 MPa dan modulus elastisitas 200 GPa. Dua konfigurasi sudut *tie-rod* diuji: 35° (pada ujung bebas *boom*) dan 45° (pada titik berat *boom*). Beban kerja maksimum sebesar 19.620 N (2 ton) diterapkan pada ujung *boom*, sedangkan sisi kolom diperlakukan sebagai tumpuan tetap (*fixed support*). Analisis dilakukan dalam kondisi statis linier, dengan parameter utama berupa tegangan *von Mises*, defleksi maksimum, dan faktor keamanan.

Model dimodifikasi menjadi elemen padat tiga dimensi (*solid tetrahedral mesh*) untuk mendapatkan hasil distribusi tegangan yang akurat. Validasi hasil dilakukan dengan memastikan bahwa perbedaan nilai tegangan maksimum antar iterasi tidak lebih dari 5%.

Hasil simulasi dari kedua konfigurasi dibandingkan untuk menentukan pengaruh variasi sudut *tie-rod* terhadap efisiensi struktur, kekakuan, dan stabilitas sistem penopang *jib crane*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Peningkatan tegangan pada konfigurasi sudut 45° menunjukkan bahwa komponen gaya horizontal lebih besar dibandingkan vertikal, sehingga menghasilkan momen lentur tambahan pada boom. Fenomena ini sesuai dengan teori mekanika struktur bahwa defleksi meningkat seiring dengan pertambahan momen lentur ([Gere & Timoshenko, 2023](#)). Selain itu, faktor keamanan yang menurun mengindikasikan bahwa konfigurasi ini memiliki margin kekuatan yang lebih kecil, yang pada beban dinamis dapat menyebabkan risiko kelelahan material.

Simulasi numerik dengan metode *Finite Element Analysis* (FEA) yang telah dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi sudut *tie-rod* terhadap perilaku struktural *wall-mounted jib crane*. Dua konfigurasi diuji, yaitu *tie-rod* pada ujung bebas *boom* (35°) dan *tie-rod* pada titik berat *boom* (45°). Hasil utama yang diamati meliputi distribusi tegangan *von Mises*, defleksi maksimum, serta faktor keamanan terhadap beban kerja maksimum 19.620 N.

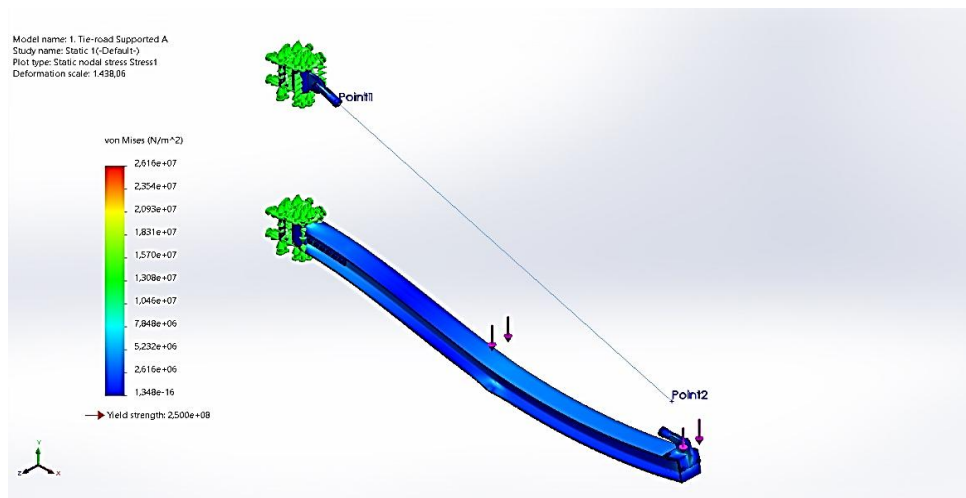
Hasil simulasi menunjukkan bahwa distribusi tegangan terbesar terjadi pada sambungan antara *boom* dan kolom vertikal. Tegangan maksimum yang terjadi pada konfigurasi sudut 35° mencapai 26,17 MPa, sedangkan pada sudut 45° meningkat menjadi 29,49 MPa. Nilai ini masih berada jauh di bawah batas luluh material ASTM A36 sebesar 250 MPa, sehingga kedua konfigurasi tetap aman secara struktural. Namun demikian, peningkatan sudut *tie-rod* terbukti menaikkan tegangan sebesar 12,7%, yang menandakan penurunan efisiensi sistem penopang. Perbandingan nilai hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil perbandingan parameter struktural *wall-mounted jib crane*

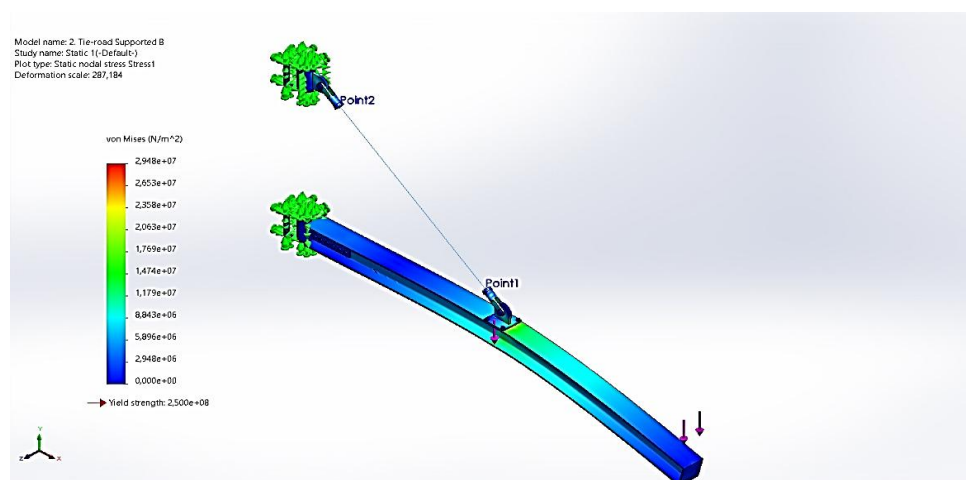
Parameter	Sudut 35°	Sudut 45°
Tegangan von Mises (MPa)	26,17	29,49
Defleksi maksimum (mm)	0,30	1,47
Faktor Keamanan	9,56	8,20

Pada konfigurasi *tie-rod* 35°, deformasi yang dihasilkan lebih kecil yaitu hanya 0,30 mm, sedangkan pada sudut 45° terjadi peningkatan deformasi hingga 1,47 mm. Perbedaan yang cukup signifikan ini menunjukkan bahwa sudut *tie-rod* yang lebih kecil mampu meningkatkan kekakuan sistem karena gaya tarik lebih dominan terhadap arah

vertikal, sehingga efektif menahan momen lentur yang timbul pada *boom*. Hasil ini sejalan dengan penelitian [Chen et al. \(2020\)](#) serta [Zhang et al. \(2023\)](#) yang menjelaskan bahwa penurunan sudut elemen tarik akan meningkatkan kestabilan struktur terhadap beban eksentris. Selain itu, [Wang et al. \(2023\)](#) menemukan bahwa konfigurasi sudut lengan pada crane hidrolik berpengaruh langsung terhadap karakteristik gaya angkat dan respons struktur, sehingga mendukung hasil simulasi ini bahwa variasi sudut tie-rod memengaruhi efisiensi gaya dan deformasi. Visualisasi distribusi tegangan dan deformasi dari hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4 berikut.



Gambar 3. Distribusi tegangan von Mises pada model dengan sudut 35°
(Tegangan maksimum terjadi pada sambungan boom–kolom dengan warna merah intens menunjukkan nilai 26,17 MPa.)



Gambar 4. Distribusi tegangan von Mises pada model dengan sudut 45°
(Area konsentrasi tegangan tampak lebih luas di sekitar sambungan tie-rod dengan nilai maksimum 29,49 MPa.)

Secara umum, hasil simulasi memperlihatkan bahwa perubahan sudut *tie-rod* berpengaruh langsung terhadap arah dan besarnya gaya tarik yang bekerja pada struktur. Sudut yang lebih kecil memperbesar komponen gaya vertikal yang membantu menahan beban, sedangkan sudut yang lebih besar menghasilkan momen lentur tambahan pada *boom*, yang menyebabkan deformasi meningkat.

Faktor keamanan untuk kedua model berada di atas nilai batas minimal desain crane berdasarkan standar ASME BTH-1 (2022), yaitu 5, sehingga keduanya tetap aman secara operasional. Namun, model dengan sudut 35° memberikan rasio kekuatan terhadap beban yang lebih efisien karena nilai tegangan yang rendah dan defleksi yang minimal.

Hasil ini menunjukkan bahwa konfigurasi *tie-rod supported* memiliki peran signifikan dalam menurunkan tegangan lentur pada *boom*. Dengan demikian, posisi *tie-rod* yang ditempatkan di ujung bebas *boom* direkomendasikan untuk desain *wall-mounted jib crane* berkapasitas 2 ton, karena memberikan keseimbangan antara efisiensi material, kekakuan, dan keamanan struktur.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi sudut *tie-rod* memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja struktural *wall-mounted jib crane* tipe *tie-rod supported*. Melalui analisis numerik menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA) berbasis SolidWorks 2021, diperoleh bahwa konfigurasi *tie-rod* pada sudut 35° , yang dipasang di ujung bebas *boom*, memberikan performa struktural paling optimal dibandingkan dengan konfigurasi pada sudut 45° di titik berat *boom*.

Pada konfigurasi 35° , tegangan maksimum yang terjadi sebesar 26,17 MPa dengan defleksi hanya 0,30 mm dan faktor keamanan mencapai 9,56. Nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur bekerja dengan sangat aman dan efisien, karena tegangan yang timbul masih jauh di bawah batas luluh material ASTM A36 sebesar 250 MPa. Sebaliknya, konfigurasi 45° menghasilkan tegangan 29,49 MPa dan defleksi 1,47 mm dengan faktor keamanan menurun menjadi 8,20, yang menandakan penurunan efisiensi struktural akibat peningkatan sudut *tie-rod*.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sudut *tie-rod* yang lebih kecil menghasilkan distribusi gaya yang lebih merata serta mampu menurunkan tegangan dan deformasi pada struktur, sehingga meningkatkan kestabilan dan kekakuan sistem.

Penelitian ini menegaskan pentingnya optimasi sudut tie-rod dalam desain *jib crane*, tidak hanya untuk meningkatkan efisiensi material tetapi juga untuk menjamin keselamatan operasional alat angkat di lingkungan industri manufaktur.

Penelitian lanjutan direkomendasikan untuk mengevaluasi perilaku struktur terhadap beban dinamis dan kelelahan material, sehingga model numerik yang digunakan dapat divalidasi dengan pengujian eksperimental guna menghasilkan rancangan yang lebih komprehensif dan aplikatif di lapangan

DAFTAR REFERENSI

- Ahmed, M., & Lee, S. (2022). Structural Safety Assessment of Wall-Mounted Cranes Using Digital Twin Technology. *Automation in Construction*, 140, 104379. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104379>
- Azanaw, G. M. (2024). Application of digital twin in structural health monitoring of civil structures: A systematic literature review based on PRISMA. *Journal of Mechanical and Construction Engineering (JMCE)*, 4(1), 1–10. <https://jmce.a2zjournals.com/index.php/mce/article/view/50>
- Chen, Wanying (Amanda), Yeming Gong and René B. M. de Koster (2020). *Performance estimation of a passing-crane automated storage and retrieval system*. *International Journal of Production Research*, Volume 60 (4): 1210-1230. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1854886>
- Gere, J. M., & Timoshenko, S. P. (2023). *Mechanics of Materials (10th ed.)*. Cengage Learning
- Hanchate, Naveen.A., and Akhil.A.Deshpande. (2021), *Design and Analysis of Wall Mounted Jib Crane*, *IJAEM*, Volume 3, issue 6 June 2021, pp: 1907-1916. DOI:[10.35629/5252-030619071916](https://doi.org/10.35629/5252-030619071916)
- Huang, Baogui., Yanbo Hui, Yonggang Liu and Hongxiao Wang. (2023), *Design of Twin Builder-Based Digital Twin Online Monitoring System for Crane Girders*. *Sensors*, 23, 9203. MDPI. <https://doi.org/10.3390/s23229203>
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2020). *Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 8 Tahun 2020 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pesawat Angkat dan Angkut*. Jakarta: Kementerian Perindustrian RI.

<https://jdih.kemnaker.go.id/katalog-1668-peraturan-menteri-ketenagakerjaan-8-tahun-2020-keselamatan-dan-kesehatan-kerja-pesawat-angkat-dan-an.html>

- Kulka, Jozef, Martin Manti, Robert Grega, Marián Siman, Melichar Kopas and Silvia Maláko. (2024), *Optimisation of Box Girder Design of Overhead Cranes*. Applied Sciences, 14(21), 9926. MDPI. <https://doi.org/10.3390/app14219926>
- Liu, F., Yang, J., & Wang, J. (2023). Parametric study for structural vibration analysis of tower crane on elastic foundation using mathematical model. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s40430-023-04181-2>
- Liu, Y., Zhang, X., & Sun, J. (2023). Finite Element Optimization of Crane Boom Structures Based on Stress Distribution Analysis. *Engineering Structures*, 293, 116556. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116556>
- Picha Panmongkol, W., Leelatanaroek, W., & Phuraya, N. (2023). The optimum design of the jib crane by using finite element method. *JSCI-SBU*, 3(2), 103–113. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JSCI/article/view/251797>
- Sakai, Makoto., Hiroshi Tagawa, Xingchen Chen, Makoto Uehara and Makoto Nishimura. (2024). *Delayed-Action Mechanism of Buckling-Restrained Brace Using Gusset Plates with Multiple Slot Holes*. *Buildings*, 14(5), 1183. MDPI. <https://doi.org/10.3390/buildings14092698>
- Wang, D., Zhou, B., Ding, G., & Li, B. (2023). Research on lifting characteristics of flat-head jib tower crane based on hydraulic luffing force. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 71, 337–344. <https://doi.org/10.54097/hset.v71i.13077>
- Yang, C., Tu, X., Autiosalo, J., Ala-Laurinaho, R., Mattila, J., Salminen, P., & Tammi, K. (2022). Extended reality application framework for a digital-twin-based smart crane. *Applied Sciences*, 12(12), 6030. <https://doi.org/10.3390/app12126030>
- Zhang, Yunhan & Ke Chen. (2023). *Digital Technologies For Enhancing Crane Safety In Construction: A Combined Quantitative And Qualitative Analysis*. *JCEM*, 29(7): 604–620. <https://doi.org/10.3846/jcem.2023.19574>