DESIGN OF 7 TON SWL OVERHEAD CRANE IN WORKSHOP 2 AT A MANUFACTURING COMPANY

Imaniah Sriwijayasih[1)], Pranowo Sidi[1)], Eky Novianarenti[1)], Raisha Risandra Rabbani[1)], Anisa Ayuk Lestari[1)], Marzuki Arwan[1)], Andika Bagus Ramadani[1)], Muhammad Febryaccent Ridho Al Dhihya[1)]

[1]Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111

E-mail: imaniahsriwijayasih@ppns.ac.id

Abstract

In modern manufacturing industries, efficient material handling is crucial for enhancing productivity, with overhead cranes playing a vital role in transporting heavy loads. Workshop 2 faces limitations due to the existing 5-ton SWL overhead crane, which frequently operates at its maximum capacity, with an average lifting load of 4.5 tons and requirements reaching up to 6.6 tons. Currently, this is inefficiently managed using two cranes simultaneously. Moreover, a 7-ton overhead crane is not available as a standard product on the market and requires costly custom orders. This study aims to design a 7-ton SWL overhead crane that meets operational demands through a systematic designapproach based on the methodologyof George E. Dieter, including need identification, concept selection using a weighted decision matrix, CAD-based design, and technical analysis. Design Concept 1 was selected as the optimal design with the highest score of 8.25 due to its superior structural strength, even load distribution, lightweight construction, and ease of manufacturing. Structural analysis through Finite Element Method (FEM) simulation using Fusion 360 shows that the design meets safety standards, with a maximum stress of 49.488 MPa and a safety factor of
5.08 on the girder. The total estimated production cost is IDR 186,086,282.

Keywords: *Overhead crane, SWL (Safe Working Load), Structural Design, Dieter Method, Finite Element Method (F EM).*

Abstrak

Pada sektor manufaktur saat ini, efektivitas sistem penanganan material menjadi faktor utama dalam meningkatkan produktivitas, di mana overhead crane memiliki peranan penting untuk memindahkan beban berat. Di Workshop 2, kapasitas overhead crane eksisting dengan SWL 5 ton sudah tidak memadai karena kerap beroperasi mendekati beban maksimal. Rata-rata pengangkatan mencapai 4,5 ton dengan kebutuhan puncak hingga 6,6 ton, sehingga penanganannya terpaksa dilakukan dengan mengoperasikan dua crane secara bersamaan yang kurang efisien. Di sisi lain, produk standar overhead crane 7 ton tidak tersedia di pasaran dan biaya untuk pemesanan secara kustom tergolong sangat mahal.Penelitian ini bertujuan untuk merancang overhead crane SWL 7 ton yang sesuai dengan kebutuhan di lapangan melalui pendekatan perancangan sistematis berdasarkan metode George E. Dieter, yang meliputi tahap identifikasi kebutuhan, pemilihan konsep dengan weighted decision matrix, pembuatan desain CAD, hingga analisis kelayakan teknis. Hasil analisis menunjukkan Konsep Desain 1 sebagai rancangan terbaik dengan nilai 8,25, dalam kekuatan struktur, pemerataan distribusi beban, bobot yang lebih ringan, serta kemudahan dalam proses manufaktur.Analisis struktur dengan metode elemen hingga

(FEM) menggunakan Fusion 360 membuktikan bahwa desain memenuhi kriteria keamanan, dengan tegangan maksimum pada girder sebesar 49,488 MPa dan faktor keamanan 5,08. Adapun total estimasi biaya yang dibutuhkan untuk proses produksi adalah sebesar Rp 186.086.282.

Kata kunci: Overhead crane, SWL (Safety Working Load), Desain Struktural, Metode Dieter, FEM (Finite Elemen Method).

PENDAHULUAN

Dalam industri manufaktur modern, efisiensi dalam proses *material handling* merupakan faktor kunci dalam meningkatkan produktivitas dan efektivitas operasional (Govindaiah & Petty, 2021). *Overhead crane* menjadi salah satu alat angkat yang sering digunakan di *workshop* industri manufaktur sebagai alat bantu penataan barang di gudang, pemindahkan barang dari satu *workstation* ke *workstation* berikutnya, proses produksi, serta perbaikan produk (Sunainah, 2018). *Overhead crane* berfungsi untuk memindahkan material yang memiliki beban berat atau berdimensi besar, yang mana tidak dapat dilakukan hanya dengan tenaga manusia (Adwa Metdifa Husna et al., 2023). Namun, seiring dengan peningkatan skala produksi dan tuntutan pasar, perusahaan manufaktur di *Workshop* 2 menghadapi tantangan dalam penggunaan *overhead crane* dengan kapasitas *Safe Working Load* (SWL) 5 ton, yang mulai menunjukkan keterbatasannya dalam mendukung target produktivitas sebesar 100-200 ton per bulan (Asmara et al., 2020). *Crane* tersebut sering beroperasi mendekati batas kapasitas maksimumnya, yang berpotensi menimbulkan berbagai permasalahan, seperti keausan komponen yang lebih cepat, meningkatnya risiko kecelakaan kerja, serta berkurangnya efisiensi produksi akibat keterbatasan daya angkat (Dwinanto & Umardi, 2026).

Berdasarkan hasil observasi dan evaluasi terhadap penggunaan *overhead crane* di *Workshop* 2, diketahui bahwa kapasitas *crane* yang ada saat ini sering kali mendekati batas maksimumnya. Data menunjukkan bahwa rata-rata beban yang diangkat mencapai 4,5 ton dari kapasitas total 5 ton, atau setara dengan sekitar 90% dari kapasitas nominal crane, sehingga margin keamanan operasional menjadi sangat tipis. Kondisi ini diperparah dengan frekuensi penggunaan yang cukup tinggi, yakni 20–30 kali operasi per hari, serta durasi operasional mencapai 8–10 jam per hari, yang berarti crane bekerja hampir sepanjang jam kerja normal dengan siklus pengangkatan yang berulang secara intensif (Li et al., 2023).

Kemudian, terdapat kondisi di mana beban yang harus diangkat melebihi kapasitas *overhead crane* yang tersedia, dengan beberapa proyek konstruksi yang memiliki bobot hingga 6,6 ton. Kondisi *overload* semacam ini, jika terjadi secara berulang, berpotensi mempercepat degradasi komponen struktural crane, khususnya pada elemen kritis seperti *girder*, *wire rope*, *hoist mechanism*, dan sambungan las, karena tegangan yang timbul dapat melampaui batas desain yang direncanakan sejak awal (Pastor et al., 2022). Frekuensi operasi yang tinggi adalah faktor penting, bukan sekadar lama jam kerja. Mode kerja crane ditentukan oleh *working cycle* tiap mekanisme untuk memprediksi umur struktur selama masa layanan (Qu & Zhao, 2024)**.** Semakin tinggi frekuensi dan bobot beban yang diangkat, semakin cepat pula akumulasi siklus tegangan tersebut mendekati batas kelelahan (*fatigue limit*) material, sehingga estimasi umur layanan crane menjadi lebih pendek dibandingkan perhitungan awal berdasarkan kondisi operasi normal (Zhang et al., 2026). Studi lapangan pada crane lain menemukan area kritis aus-fatigue dipicu oleh *operational frequency peaks*, dan statistik layanan harian dipakai langsung untuk merekonstruksi stress spectrum serta keputusan maintenance (Yao et al., 2026)**.** Pendekatan ini menegaskan pentingnya pemantauan data operasional secara berkelanjutan, bukan hanya sebagai catatan administratif, melainkan sebagai dasar kuantitatif untuk menentukan jadwal inspeksi, prediksi kegagalan komponen, dan strategi perawatan yang lebih tepat sasaran (*predictive maintenance*). Selain itu, untuk mengatasi hal ini, pekerja sering kali menggunakan dua *crane* dengan kapasitas masing-masing 5 ton secara bersamaan (Fu et al., 2024).

Metode ini berisiko terhadap keselamatan pekerja dan dapat menghambat proses fabrikasi di area *Workshop* 2 yang menyebabkan keterlambatan dalam produksi (Chen et al., 1943). Oleh karena itu, peningkatan kapasitas *overhead crane* menjadi 7 ton sangat diperlukan untuk mendukung pertumbuhan produktivitas perusahaan. Dengan adanya peningkatan ini, proyek dengan bobot lebih besar yang sebelumnya dialihkan ke *Workshop* 3 juga dapat dikerjakan di *Workshop* 2, sehingga alur kerja menjadi lebih efisien dan fleksibel.

Saat ini, *overhead crane* dengan kapasitas 7 ton tidak mudah ditemukan di pasaran sebagai produk standar. Jika tersedia, biasanya harus dipesan secara khusus (*custom*) dari perusahaan penyedia *crane*, yang tentunya memerlukan biaya yang

lebih besar.

Oleh karena itu, perusahaan memutuskan untuk tidak bergantung pada produk yang sudah ada di pasar dengan mempertimbangkan beberapa faktor utama. Pertama, biaya pengadaan *overhead crane custom* dari pihak eksternal cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan membangun dan menginstalasi konstruksi *overhead crane* secara mandiri (Pavlovic et al., 2022). Kedua, perusahaan memiliki kemampuan dalam manufaktur dan instalasi struktur *overhead crane*, sehingga dapat menekan biaya produksi seminimal mungkin (Abdullah & Mejbel, 2023). Ketiga, untuk komponen kelistrikan, perusahaan tetap dapat memanfaatkan produk yang sudah tersedia di pasaran tanpa harus melakukan pengembangan dari awal dengan melakukan integrasi sistem dengan baik (Kaiser et al., 2025). Dengan demikian, optimalisasi sumber daya internal tidak hanya menghemat biaya tetapi juga meningkatkan efisiensi dan kemandirian perusahaan dalam memenuhi kebutuhan operasional. Terakhir, langkah ini sejalan dengan prinsip *continuous improvement*, di mana pengembangan teknologi secara mandiri dapat mendorong inovasi internal dan meningkatkan daya saing perusahaan (Tong et al., 2022).

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi, penelitian ini bertujuan untuk melakukan perancangan *overhead crane* di *Workshop* 2 dengan kapasitas SWL yang ditingkatkan menjadi 7 ton. Proses ini akan melibatkan analisis teknis terhadap struktur dan komponen *crane*, estimasi biaya yang dibutuhkan untuk implementasi *design*, serta perbandingan antara kekuatan struktur *crane existing* dengan desain yang baru (Navale et al., 2023). Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang optimal dalam mendukung pertumbuhan produksi perusahaan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan identifikasi kebutuhan peningkatan kapasitas sistem material handling di Workshop 2. Kebutuhan tersebut muncul karena overhead crane berkapasitas SWL 5 ton yang digunakan saat ini sering beroperasi mendekati batas maksimal, sehingga berisiko menimbulkan kelelahan struktur, menurunkan efisiensi kerja, dan meningkatkan risiko kecelakaan. Oleh karena itu,

dirancang overhead crane baru dengan kapasitas yang lebih besar untuk mendukung kelancaran proses produksi.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, ditetapkan spesifikasi teknis berupa kemampuan mengangkat dan memindahkan beban hingga 7 ton. Selain memenuhi kebutuhan kapasitas angkat, perancangan juga mempertimbangkan efisiensi biaya manufaktur seminimal mungkin tanpa mengurangi aspek performa dan keamanan alat.

Selanjutnya dilakukan analisis kekuatan desain untuk mengetahui kemampuan struktur dalam menahan beban kerja. Analisis dilakukan melalui perhitungan manual dan simulasi menggunakan software Fusion 360, dengan parameter utama berupa nilai defleksi dan tegangan yang terjadi pada struktur.

Tahap akhir penelitian adalah analisis biaya produksi untuk memperoleh estimasi biaya secara akurat serta mengidentifikasi potensi penghematan. Analisis ini mencakup biaya material, seperti baja untuk girder, biaya tenaga kerja fabrikasi, dan biaya operasional manufaktur lainnya.

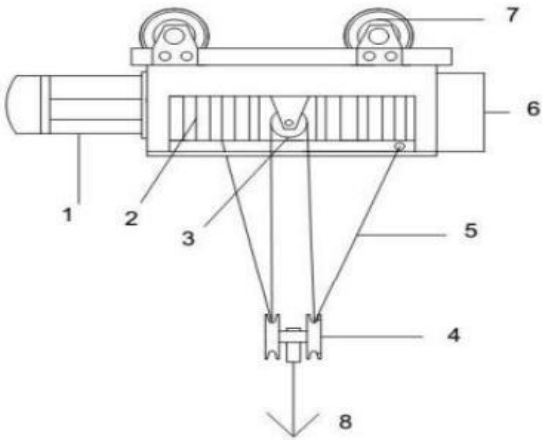
HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Spesifikasi Teknis Overhead crane

Perencanaan dan perhitungan komponen utama pada overhead crane ini dimaksudkan untuk menunjang aktivitas operasional serta proses pemindahan material pada satu lintasan di dalam gedung, sehingga mampu menjangkau seluruh area ruangan. Berdasarkan hasil survei lapangan, diperoleh spesifikasi perancangan sebagai berikut:

1) Tinggi angkat : 8,5 meter
2) Kapasitas angkat maksimum : 7 ton
3) Durasi pengangkatan : 1,6 menit
4) Kecepatan hoisting : 5 m/menit
5) Durasi gerak cross travel : 1,31 menit dengan jarak tempuh 19 meter
6) Kecepatan cross travel : 20 m/menit
7) Durasi gerak long travel : 0,48 menit dengan jarak tempuh 18 meter
8) Kecepatan long travel : 30 m/menit
9) Tipe girder yang digunakan : EKKE dengan bentang 15 meter

Berikut contoh hoist dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Mekanisme *hoist* pengangkat (Hanafi, 2019)

Komponen-komponen utama mekanisme pengangkatan *hoist*.

1. Motor penggerak hoist
2. Drum sebagai penggulung tali
3. Pulley diam / tetap
4. Pulley gerak / bebas
5. Tali baja (wire rope)
6. Panel kontrol
7. Roda penggerak melintang (cross travel wheel)
8. Muatan / beban angkat

b. Hasil Analisis Struktur pada Desain Overhead Crane SWL 7 Ton

Hasil simulasi berbasis Finite Element Method (FEM) melalui software Fusion 360 menunjukkan bahwa rancangan masih berada dalam batas aman, di mana pada bagian girder tercatat tegangan maksimum sebesar 49,488 MPa dengan faktor keamanan 5,08.

Kondisi pembebanan di tengah bentang yang bekerja pada profil girder, berdasarkan hasil perhitungan total beban sebesar 8003 kg. Berdasarkan perhitungan modulus penampang minimum diatas dengan momen lentur 366.145.987,5 N.mm dan faktor keselamatan yaitu 4 (PerMen no. 5 tahun 1985), maka nilai modulus penampang minimum adalah 5.858.335,8 mm^3.

c. Penyusunan Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya *product overhead crane* dengan konsep yang telah terpilih akan biaya pemebelian komponen penunjang dan biaya fabrikasi. Rincian rencana anggaran biaya adalah sebagai berikut.

d. Biaya pembelian bahan baku dan komponen

Biaya pembelihan bahan baku adalah biaya pembelian material yang akan dilakukan proses manufaktur untuk kebutuhan *design product overhead crane*. Adapun rincian dari biaya bahan baku dijelaskan pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6
Rincian Biaya Bahan Baku

No	Komponen	Jumlah	Harga(Rp)	Total (Rp)
1	Plat ASTM A36 t22 mm	1295 kg	14.192/kg	18,378,640
2	Plat ASTM A36 t12 mm	2882.5	14.162/kg	40,821,965
3	Plat ASTM A36 8mm	1227	14.851/kg	18,222,177
4	Roda *End Carriage* 1set (2 roda)	2 set	19,150,000	38,300,000
5	*parallel shaft helical gearbox* 3 HP	2 buah	4,950,000	9,900,000
6	Motor elektrik 1,5 HP	2 buah	1,950,000	3900000
7	*Hoist* 7ton *Capacity*	1 set	17,043,300	17,043,300
8	*Pendant*	1 set	700,000	700,000
9	*Stainless Steel C32 Track Festoon System*	15 meter	64.000/m	960,000
10	*Limit Switch* FCR-QZR-DXZ	6 unit	857,000	5,142,000
Jumlah Total				153,368,082

Sumber: Dokumentasi pribadi, 2025

Total biaya yang rencanakan untuk pembelian bahan baku adalah Rp. 153.368.082.

e. Biaya fabrikasi

Biaya fabrikasi adalah biaya yang dikeluarkan untuk membayar jasa pembuatan dan fabrikasi *design product overhead crane*. Adapun rician dari biaya bahan baku dijelaskan pada Tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7
Biaya Fabrikasi

No.	**Proses Fabrikasi**	**Harga (Rp)**
1.	Biaya potong plat 8 mm	4,720,800

2.	Biaya potong plat 12 mm	7,081,200
3.	Biaya potong plat 22 mm	2,982,200
4.	Biaya pengelasan	5,230,500
5.	Biaya Pengeboran	500,000
6.	Biaya penggerindaan	999,000
7.	Biaya pengecatan	2,164,500
Jumlah Total		33,678,200

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025

Total biaya yang direncanakan untuk proses fabrikasi adalah Rp. 33.678.200

f. Rencana anggaran biaya total

Rencana Anggaran Biaya (RAB) total merupakan akumulasi biaya bahan baku, komponen, dan fabrikasi dalam pembuatan desain overhead crane.

- Biaya Total = Biaya Bahan Baku dan Komponen + Biaya Fabrikasi
- Biaya Total = Rp. 153.368.082 + Rp. 33.678.200
- Biaya Total = Rp. 187.046.282

Jadi, Rencana Anggaran Biaya total product *overhead crane* adalah Rp. 187.046.282

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Melalui metode weighted decision matrix, Konsep Desain 1 terpilih sebagai konsep terbaik dengan perolehan nilai 8,25. Keunggulan konsep ini terletak pada kekuatan struktur yang optimal, penyebaran beban yang lebih merata, bobot konstruksi yang paling ringan, serta tingkat kemudahan dan efisiensi yang lebih tinggi dalam proses manufaktur dibandingkan konsep desain lainnya.
2. Hasil simulasi dan analisis struktur pada software Fusion 360 membuktikan bahwa desain telah memenuhi aspek keamanan dan kelayakan teknis. Untuk komponen girder, diperoleh tegangan maksimum 49,488 MPa, faktor keamanan 5,08, dan lendutan maksimum 3,141 mm. Sementara pada end carriage, tercatat tegangan maksimum 43,33 MPa, faktor keamanan 5,6, dan lendutan maksimum 0,467 mm. Seluruh nilai tersebut

masih berada dalam batas aman yang dipersyaratkan oleh Permenaker No. 5 Tahun 1985 dan Permenaker No. 8 Tahun 2020.

3. Estimasi total biaya produksi untuk overhead crane dengan SWL 7 ton meliputi biaya material dan komponen sebesar Rp 153.368.082 dan biaya proses fabrikasi sebesar Rp 33.678.200, sehingga total akumulasi biaya pembuatan mencapai Rp 187.046.282

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, S., & Mejbel, M. (2023). The Trade-Off Between Make or Buy Strategy and Their Relationship With Firm Performance. *International Journal of Professional Business Review*. https://doi.org/10.26668/businessreview/2023.v8i5.1572

American Institute of *Steel Construction*. (2017). *Steel Construction Manual 15th Edition (AISC) (Z-Library)* (15th ed.).

Asmara, I., Hamzah, F., & Susanti, L. (2020). Structural analysis of single girder overhead crane using SS400 and ST52-3 steel plate. *Journal of Physics: Conference Series, 1450*. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1450/1/012130

Chen, J., Chi, H., Du, Q., & Wu, P. (2022). Investigation of Operational Concerns of Construction Crane Operators: An Approach Integrating Factor Clustering and Prioritization. *Journal of Management in Engineering*. https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0001044

Dwinanto, B., & Umardi, S. (2026). SIMULASI PENGENDALIAN OVERLOAD PADA HOIST CRANE. *Inovasi Mekanikal dan Aplikasi Teknik Mesin*. https://doi.org/10.63891/impak.v2i1.98

Fu, Y., Bu, J., Lin, J.-J., Liu, J., & Zhang, C. (2024). Selection and Layout Optimization of Double Tower Cranes. *Buildings*. https://doi.org/10.3390/buildings14061705

Govindaiah, S., & Petty, M. D. (2021). Applying reinforcement learning to plan manufacturing material handling. *Discover Artificial Intelligence, 1*. https://doi.org/10.1007/s44163-021-00003-3

Hanafi, M. F. (2019). *Rancang Bangun Sistem Instalasi Overhead crane Kapasitas 5 Ton Bebrbasis Cupid Radio Remote Control*. 2(2), 39–48.

Kaiser, J., Hawkridge, G., McFarlane, D. C., Schnicke, F., & Kruger, K. (2024). Effective integration of low-cost digital manufacturing systems: a reference architecture

driven approach. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 38*, 1 - 22. https://doi.org/10.1080/0951192x.2024.2314785

Kurniawan, M., Pramesti, R. N., Teknologi, J., & Pertanian, I. (2019). MATERIAL HANDLING GENERAL ANALYSIS PROCEDURE. In *Journal of Industrial Engineering and Management* (Vol. 14, Issue 01).

Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). *A textbook of machine design* (S.I. units). Eurasia Publishing House (Pvt.) Ltd.

Li, Y., Jin, A., Dai, Y., Yang, D., & Zheng, B. (2023). Prediction of Remaining Fatigue Life of In-Service Bridge Cranes. *Applied Sciences*. https://doi.org/10.3390/app132212250

Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia. (1985). *Peraturan Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia Nomor PER.05/MEN/1985 tentang Pesawat Angkat dan Angkut.*

Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia. (2020). *Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2020 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pesawat Angkat dan Pesawat Angkut*.

Navale, E. A. R. S. (2023). Design Optimization of Single Overhead Crain Girder using Finite Element Analysis. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*. https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i11.10088

Oberg, E., Jones, F. D., Horton, H. L., & Ryffel, H. H. (2004). *Machinery's handbook* (27th ed.). Industrial Press Inc.

Pástor, M., Lengvarský, P., Hagara, M., & Kuľka, J. (2022). Experimental Investigation of the Fatigue Life of a Bridge Crane Girder Using S-N Method. *Applied Sciences*. https://doi.org/10.3390/app122010319

Pavlović, G. V., Zdravković, N. B., Savković, M. M., Bulatović, R., & Marković, G. (2023). Light-weight design of an overhead crane's girder with a non-symmetric box cross-section. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 238*, 666 - 676. https://doi.org/10.1177/09544062231179079

Pranata, Y. A. (2024). *Metode Elemen Hingga* (E. Risanto, Ed.; 1st ed.). ANDI.

Putra, J. A., & Misbah, M. N. (2022). Studi Pengaruh Ukuran Bracket Pondasi Mesin terhadap Tegangan dengan Menggunakan Finite Elemen Method. *TEKNIK ITS*, 11.

Putra Setiawan, M., Putu Sindhu Asmara, I., & Andi Setiawan, T. (2022).

Proceeding 6 th Conference on Design and Manufacture Engineering and its Application Perancangan Ulang Lifting Table sebagai Alat Bantu Welder di Industri Pressure Vessel

Qu, X., Zhao, M., & Qi, Q. (2024). Research on energy consumption evaluation and energy-saving design of cranes in service based on structure-mechanism coupling. *Advances in Mechanical Engineering, 16*. https://doi.org/10.1177/16878132241273518

Rudenko. (1996). *Mesin Pengangkat* (Nazar Foead, Trans.). Erlangga.

Sunainah, A. (2018). *Analisis Dan Redesign Kekuatan Struktur Pada Girder Overhead crane 6.3 Ton*

Suwardi, M. A. (2018). *Optimasi Topologi Pada Overhead crane Box Girder Kapasitas 5tx23m Dengan Menggunakan Software Elemen Hingga*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Tong, T., Iqbal, K., & Rahman, A. A. (2022). Core Technological Competence and Competitive Advantage: A Study on Chinese High-Tech SMEs. *Frontiers in Psychology, 13*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.959448

Vidosic, J. P. (1957). *Machine design project*. New York, NY: McGraw-Hill.

Wahid,; Abdul, & Rahmadhani, M. A. (2018). Eksperimen Menghitung Momen *Inersia* dalam Pesawat Atwood Menggunakan Katrol dengan Penambahan Massa Beban. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Fisika Terapan*, 4(2), 11–15.

Yao, J., Fu, Y., Li, C., Zhang, L., Sun, W., & Jiang, W. (2026). Structural fatigue failure analysis and lifetime reliability monitoring strategy of the lattice jib in all-terrain cranes. *Scientific Reports, 16*. https://doi.org/10.1038/s41598-026-42707-5

Zhang, Q., Mei, B., Wang, K., Hu, X., Yang, H., Xu, Y., An, W., Yue, Y., & Wang, Z. (2026). Wind-Induced Dynamic Performance and Fatigue Life of a Flat-Jib Tower Crane Across Various Operating Conditions. *Buildings*. https://doi.org/10.3390/buildings16040741