



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 1 (2026) pp: 14803-14810

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Analisis Produktivitas Pemasangan Tiang Pancang Laut Pada Pembangunan Dermaga Trestle: Studi Kasus Proyek Terminal LPG Refrigerated Jawa Timur Tahap 2

Febri Dwi Setiawan¹, Ronald Marchus Sihite², Yanda Dwira Firman³

^{1,2,3}Universitas Pertahanan Republik Indonesia

febrise1290@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana produktivitas alat berat crawler crane pada pekerjaan pemasangan tiang pancang laut (steel pipe pile) pada proyek pembangunan breakwater Terminal LPG Refrigerated Jawa Timur Tahap 2. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kualitatif dengan pendekatan observasi lapangan secara langsung terhadap aktivitas pemancangan di atas working barge, yang kemudian dianalisis menggunakan parameter produktivitas, waktu siklus (cycle time), dan waktu tunda (delay time). Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu siklus total sebesar 301 menit dan delay time sebesar 46 menit menghasilkan durasi siklus efektif sekitar 5,78 jam per siklus. Dengan kapasitas angkat crane sebesar 162,7 ton dan efisiensi kerja 70% pada kondisi offshore, diperoleh produktivitas alat sebesar 19,69 ton/jam atau 157,54 ton/hari. Selanjutnya, pada waktu kerja efektif sebesar 7,2 jam/hari menghasilkan output pekerjaan sebesar 1,24 pile/hari. Untuk memenuhi target produksi 2 pile/hari, dibutuhkan 2 unit alat crane. Hasil ini menunjukkan bahwa produktivitas sangat dipengaruhi oleh lamanya waktu siklus dan efisiensi operasional di lapangan, sehingga diperlukan optimalisasi metode kerja dan pengurangan delay untuk meningkatkan kinerja proyek. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar evaluasi dan pertimbangan dalam meningkatkan efisiensi operasional serta produktivitas alat berat pada pekerjaan konstruksi offshore, sekaligus membuka peluang untuk penelitian lanjutan yang lebih komprehensif.

Kata kunci: Produktivitas Alat Berat, Crawler Crane, Cycle Time, Delay Time, Pemancangan Offshore.

1. Latar Belakang

Terminal LPG Berpendingin Jawa Timur, atau Tuban LPG, merupakan salah satu terminal energi terbesar yang melayani dan memenuhi 35% kebutuhan LPG nasional yang mencakup Jawa Timur, Bali, Nusa Tenggara, sebagian Kalimantan, dan Sulawesi (Bayu et al., 2024). WIKA telah dipercaya oleh PT Pertamina Energy Terminal untuk mengerjakan terminal darat, pipa, dan dermaga(WIKA, 2022). Selama pembangunan dermaga, pemecah gelombang juga dibangun untuk melindungi struktur dermaga dari gelombang tinggi Laut Jawa (Vincent et al., 2024)

Pekerjaan pemasangan tiang pemecah gelombang pada proyek Terminal LPG Berpendingin Tahap 2 mencakup pemasangan tiang sebagai fondasi utama struktur pelindung laut, yang berfungsi untuk memecah gelombang dan melindungi fasilitas terminal dari dampak gelombang dan arus laut(Bayu et al., 2024). Tiang pancang ini terbuat dari beton atau baja dan ditancapkan ke dasar laut menggunakan alat berat untuk mencapai stabilitas sesuai dengan standar teknis dan kondisi geoteknik lokasi(Tomlinson & Woodward, 2008).

Fenomena waktu siklus yang tidak ideal dalam proses pemasangan tiang pemecah gelombang umumnya disebabkan oleh beberapa masalah teknis dan non-teknis yang memengaruhi efisiensi waktu kerja (Latief et al., 2023). Masalah manajemen proyek seperti koordinasi kontraktor yang kurang optimal, keterlambatan pengiriman material, dan lambatnya pergerakan alat berat juga turut menyebabkan waktu siklus yang lebih lama(Nakanishi et al., 2022). Semua hambatan ini mengakibatkan waktu siklus kerja yang kurang optimal, yang meningkatkan biaya dan risiko keterlambatan penyelesaian pemecah gelombang(Dai et al., 2009).

Waktu siklus yang kurang ideal dalam proses pemasangan tiang pemecah gelombang memiliki dampak signifikan terhadap kelancaran dan efektivitas proyek konstruksi kelautan(Varian & Mawariza, 2023). Waktu siklus yang tidak efisien menyebabkan keterlambatan penyelesaian pekerjaan, meningkatkan risiko melebihi

jadwal yang direncanakan, dan menyebabkan biaya proyek yang lebih tinggi akibat penggunaan alat berat dan sumber daya manusia yang kurang optimal (Wang et al., 2026). Selain itu, keterlambatan ini dapat menyebabkan penumpukan pekerjaan lanjutan yang bergantung pada penyelesaian pemasangan tiang pancang, sehingga menimbulkan efek domino pada semua tahap konstruksi (Van Tam, 2024).

Faktor-faktor seperti kondisi cuaca yang buruk, gelombang dan arus laut yang tidak dapat diprediksi, serta kesulitan dalam mengakses alat berat dan material di lokasi proyek sering kali menjadi hambatan utama (Vincent et al., 2024). Selain itu, faktor-faktor geoteknik dasar laut yang kompleks, seperti variasi kedalaman dan karakteristik tanah, juga dapat memperlambat proses pemasangan tiang pancang karena kebutuhan akan penyesuaian teknik pemasangan tiang pancang atau penguatan pondasi (Tomlinson & Woodward, 2008)

Perhitungan produktivitas dalam pekerjaan pemasangan tiang pemecah gelombang sangat penting sebagai dasar untuk menentukan kebijakan pelaksanaan proyek di masa depan karena dapat memberikan gambaran akurat mengenai penggunaan peralatan berat yang efisien, waktu kerja, dan kebutuhan sumber daya yang optimal (Ariza et al., 2025; Ramadan et al., 2023). Dengan menghitung produktivitas, manajemen proyek dapat mengidentifikasi potensi hambatan dan menemukan solusi untuk meningkatkan kecepatan dan efektivitas proses pemasangan tiang pancang, sekaligus mengendalikannya biaya (Ophiyandri et al., 2023).

Selain itu, data produktivitas yang diperoleh digunakan sebagai acuan untuk mengevaluasi metode pelaksanaan di lapangan sehingga strategi terbaik dapat diterapkan sesuai dengan kondisi lokasi dan alat yang tersedia, sehingga meminimalkan risiko keterlambatan (Rayhan, 2023). Oleh karena itu, perhitungan ini merupakan aspek penting dalam perencanaan dan pengendalian proyek pembangunan pemecah gelombang guna mendukung penyelesaian yang sukses tepat waktu dan secara efisien dari segi biaya.

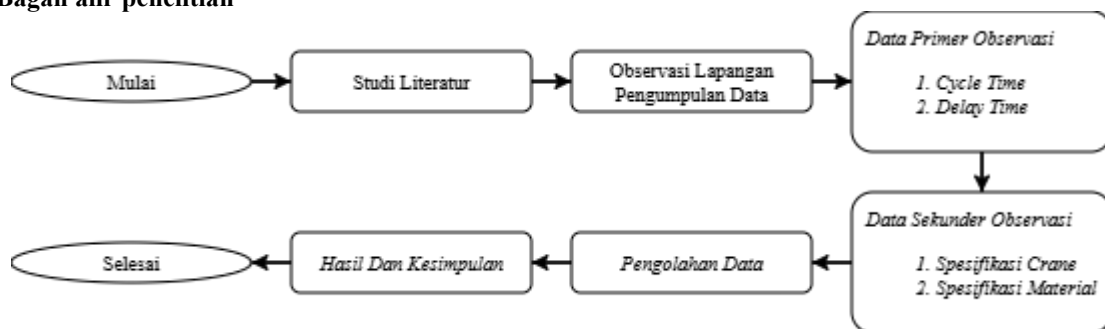
2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah kualitatif dengan pendekatan deskriptif. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung terhadap aktivitas pemancangan *steel pipe pile* yang menggunakan *crawler crane* yang beroperasi di atas *working barge* di lokasi proyek. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dan diinterpretasikan dengan mengacu pada teori serta literatur yang relevan terkait produktivitas pemancangan menggunakan alat berat, sehingga mampu memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kinerja produktivitas di lapangan, khususnya pada proyek *offshore*.

Melalui pendekatan ini, penelitian tidak semata-mata menitikberatkan pada aspek kuantitatif, tetapi juga menekankan pada pemahaman yang mendalam terhadap proses operasional, kendala yang dihadapi, serta potensi perbaikan yang dapat dilakukan. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat menghasilkan rekomendasi yang aplikatif dan kontekstual dalam upaya meningkatkan efisiensi dan efektivitas pelaksanaan pekerjaan pemancangan.

Tahapan Penelitian

Bagan alir penelitian



Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian

Sumber : Olahan Penulis, 2026

Variabel

Spesifikasi alat

Spesifikasi alat berat merupakan salah satu faktor krusial yang memengaruhi tingkat produktivitas pekerjaan konstruksi. Pemilihan dan penggunaan alat yang tepat akan berkontribusi terhadap pencapaian produktivitas yang optimal. Sebaliknya, ketidaksesuaian antara kebutuhan pekerjaan dan spesifikasi alat dapat meningkatkan

Cycle dan Delay Time

Waktu siklus (*cycle time*) merupakan durasi yang dibutuhkan oleh suatu alat untuk menyelesaikan satu siklus produksi. Konsep ini umumnya diterapkan pada alat-alat yang tidak beroperasi secara kontinu, melainkan bekerja dalam pola siklus berulang. Perhitungan waktu siklus bervariasi untuk setiap jenis peralatan, tergantung pada fungsi dan karakteristik operasionalnya (Barnes, 1997). Adapun volume rencana total produksi harian yang diperoleh berdasarkan data lapangan adalah sebesar .../hari.

Tabel 1.3 Besaran Cycle Time Per Pekerjaan

Works	Kode	Waktu (Menit)
<i>Matterial Shutters</i>	X1	45
<i>Barge movement positioning</i>	X2	61
<i>Steel Pipe Pile Rigging and Lifting</i>	X3	41
<i>Pile Positioning</i>	X4	42
<i>Pile Launching</i>	X5	37
<i>Pile Vibroing</i>	X6	34
<i>Pile Hammering</i>	X7	41
<i>Total (Minutes)</i>		301
<i>Total (Hours)</i>		5.02

Sumber : Olahan Penulis,2026

Tabel 1.4 Besaran Delay Time Per Pekerjaan

Delay	Kode	Waktu (Menit)
<i>Matterial Shutters</i>	D1	10
<i>Barge movement positioning</i>	D2	9
<i>Steel Pipe Pile Rigging and Lifting</i>	D3	7
<i>Pile Positioning</i>	D4	5
<i>Pile Launching</i>	D5	4
<i>Pile Vibroing</i>	D6	5
<i>Pile Hammering</i>	D7	6
<i>Total (Minutes)</i>		46
<i>Total (Hours)</i>		0.8

Sumber : Olahan Penulis,2026

Teknik Pengumpulan Data

Obeservasi Lapangan

Pengamatan lapangan dilakukan langsung di lokasi proyek Terminal LPG Berpendingin Jawa Timur Tahap 2 yang dikerjakan oleh PT. WIKA, dengan PT. SWI Jetty Nusantara sebagai subkontraktor pemancangan Breakwater. Pengamatan dilakukan dengan mengamati proses pemasangan tiang pancang secara langsung di atas *Working Barge* Nusantara X milik PT. SWI Jetty Nusantara. Seluruh proses pengamatan dilaksanakan sesuai dengan ketentuan penggunaan APD dan peraturan keselamatan kerja lainnya.

Teknik Analisis Data

Teknik Analisa data yang digunakan adalah mencari kapasitas alat dan siklus waktu pekerjaan dalam 1 kali siklus kerja. Dalam proses pencatatan atau observasi waktu siklus dilakukan juga pencatatan waktu delay dari masing masing pekerjaan(Nassar & Elbisy, 2024). Setelah didapatkan kedua data tersebut dilanjutkan dengan perhitungan produktivitas sebagai berikut.

Produktivitas

Produktivitas merupakan factor penting bagi PT. WIKA, sebagai factor koreksi untuk menentukan Langkah dan perencanaan lanjutan dalam mencapai progress maksimal dalam pekerjaan pemancangan breakwater. Produktivitas bisa diartikan sebagai rasio out put terhadap input, atau rasio dari hasil produksi terhadap jumlah sumber daya yang digunakan pada pekerjaan tersebut(Ariza et al., 2025). Berikut merupakan rumus umum yang digunakan dalam mencari nilai produktivitas pekerjaan.

$$Q = q \times N \times E \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- Q = Produktivitas alat (dalam ton/jam atau m³/jam)
- q= Kapasitas Angkat Persiklus (Ton ata m³)
- N = Jumlah Siklus Per Jam
- E = Efisiensi Kerja

$$N = 3600 / t \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- N = Jumlah Siklus Per Hari
- t = waktu dalam satu siklus menit

$$Q \text{ harian} = Q \times T \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

- Q harian = Produktivitas harian
- Q = Produktivitas per jam
- T = Jam kerja per hari

Kebutuhan Alat

Kebutuhan jumlah unit alat pada pekerjaan pemancangan brekwater ini dihitung untuk mencari jumlah alat paling efisien yang mampu menghasilkan output sesuai target harian yang tertera pada kontrak dengan mempertimbangkan efisiensi kerja (effective working time). Secara umum penggunaan rumus perhitungan untuk mencari nilai kebutuhan alat berat yang digunakan pada pekerjaan pemancangan breakwater, sebagai berikut:

$$\text{Waktu kerja efektif} = T \times E \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

- T = Jam kerja Per Hari
- E = Efisiensi Kerja (80-90% untuk analisa Teoritis, 50-75% untuk analisa realistis Offshore)

$$\text{Output} = \text{Waktu Efektif} / \text{Cycle Time} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:

- Waktu Kerja Efektif** di hitung dalam Jam/hari untuk mengetahui berapa lama alat tersebut befungsi maksimal.
- Cycle Time** dihitung juga dalam bentuk jam untuk mengetahui berapa lama alat tersebut ditambah juga dengan delay time sebagai kontrol kesalahan agar didapatkan output realtime sesuai dengan hasil observasi di lapangan

$$\text{Jumlah Alat} = \text{Target Harian} / \text{Output Per Alat} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

Target harian adalah target yang ditetapkan dari kontraktor sesuai dengan kontrak yang berlaku.

Output per alat adalah hasil dari produksi alat yang dihitung dari waktu kerja efektif dengan cycle time

3. Hasil dan Diskusi

Hasil yang didapat dari hasil penelitian observasi lapangan pada pekerjaan pemancangan breakwater pada platform working barge dari PT. SWI Jetty Nusantara. Berupa data spesifikasi alat berat crawler crane yang digunakan. Spesifikasi material yang diangkat yang berupa Steel Pipe Pile juga diperhitungkan sebagai beban dari crawler crane. Selain itu dilakukan observasi cycle dan delay time secara realtime dilapangan untuk nantinya digunakan dalam perhitungan produktivitas alat berat. Berikut hasil data dari observasi lapangan yang peneliti lakukan tersaji pada tabel berikut:

Tabel 1.5 Data Hasil Penelitian

Komponen	Nilai
Cycle Time Pemancangan	301 Menit
Delay Time Pemancangan	46 Menit
Kapasitas Angkat Crane	162.7 Ton (<i>Load Chart Crane</i>)
Efisiensi Kerja Alat	70% Analisa Kondisi <i>Offshore</i>
Jam Kerja	8 Jam Normal 7.2 Jam Efektif
Total Produksi (Berat Material)	60.7 Ton

Sumber : Olahan Penulis,2026

Setelah didapatkan data diatas dilakukanlan analisis mengenai produktivitas pekerjaan sebagai berikut:

Produktivitas alat berat

$$\begin{aligned}
 Q &= q \times N \times E \\
 &= q \times \left(\frac{3600}{t}\right) \times E \\
 &= q \times \left(\frac{3600}{347 \times 60}\right) \times E \\
 &= 162.7\text{ton} \times \left(\frac{3600}{20820}\right) \times 0.7 \\
 &= 162.7\text{ton} \times 0.17 \text{ Siklus/jam} \times 0.7 \\
 &= 19.69 \text{ ton/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q \text{ Harian} &= Q \times T \\
 &= 19.69 \text{ ton/jam} \times 8 \text{ jam} \\
 &= 157.54 \text{ ton/hari}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa produktivitas crane dipengaruhi oleh kapasitas angkat sebesar 162,7 ton per siklus, waktu siklus yang sangat panjang yaitu 20.820 detik (5,78 jam), serta efisiensi kerja sebesar 70% karena pekerjaan dilakukan diarea offshore, sehingga menghasilkan frekuensi kerja hanya sekitar 0,17 siklus per jam; dengan kondisi tersebut, diperoleh produktivitas efektif crane sebesar 19,69 ton per jam, yang kemudian jika diasumsikan bekerja selama 8 jam per hari menghasilkan output sebesar 157,54 ton per hari,

dimana nilai ini relatif rendah dibandingkan kapasitas angkatnya dan mengindikasikan bahwa faktor pembatas utama produktivitas terletak pada lamanya waktu siklus dan belum optimalnya efisiensi operasional.

Waktu kerja efektif

$$\begin{aligned}T_{\text{efektif}} &= T_{\text{normal}} \times \text{Efisiensi} \\ &= 8 \text{ jam} \times 70\% \\ &= 7.2 \text{ jam/hari}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa waktu kerja efektif diperoleh dari perkalian antara waktu kerja normal selama 8 jam per hari dengan tingkat efisiensi sebesar 90% dianggap kontraktor memaksimalkan jam kerja sehingga efisiensi maksimal, sehingga menghasilkan waktu kerja aktual sebesar 7,2 jam per hari; nilai ini merepresentasikan durasi kerja riil yang dapat dimanfaatkan untuk kegiatan operasional setelah mempertimbangkan berbagai faktor kehilangan waktu seperti istirahat, hambatan teknis, dan kondisi lapangan, sehingga menjadi dasar yang lebih realistis dalam analisis produktivitas alat.

Output Pekerjaan

$$\begin{aligned}\text{Output} &= \frac{T_{\text{efektif}}}{\text{Cycle time } (t)} \\ &= \frac{7.2 \text{ jam}}{5.78 \text{ jam}} \\ &= 1.24 \text{ pile /hari}\end{aligned}$$

Berdasarkan waktu kerja efektif sebesar 7,2 jam per hari dan waktu siklus pekerjaan (cycle time) sebesar 5,78 jam per siklus, diperoleh output pekerjaan sebesar 1,24 pile per hari; nilai ini menunjukkan bahwa dalam kondisi operasional aktual, alat hanya mampu menyelesaikan sedikit lebih dari satu siklus pekerjaan pemancangan per hari, yang mengindikasikan bahwa durasi siklus kerja yang panjang menjadi faktor dominan dalam membatasi tingkat produksi harian.

Jumlah kebutuhan alat efektif

$$\begin{aligned}n_{\text{alat}} &= \frac{\text{Target}}{\text{Output}} \\ &= \frac{2 \text{ pile/hari}}{1.24 \text{ pile/hari}} \\ &= 1.61 \text{ alat} \\ &= 2 \text{ alat}\end{aligned}$$

Perhitungan jumlah kebutuhan alat menunjukkan bahwa untuk mencapai target produksi sebesar 2 pile per hari, dengan kapasitas output alat sebesar 1,24 pile per hari, dibutuhkan sebanyak 1,61 unit alat yang kemudian dibulatkan menjadi 2 unit; pembulatan ini dilakukan untuk memastikan target produksi dapat tercapai secara operasional, sekaligus memberikan margin terhadap potensi ketidakefisienan atau ketidakpastian di lapangan, sehingga perencanaan kebutuhan alat menjadi lebih aman dan aplikatif.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap produktivitas alat berat pada pekerjaan pemancangan breakwater, maka dapat dirumuskan beberapa kesimpulan utama sebagai berikut: Produktivitas crawler crane pada pekerjaan pemancangan breakwater dipengaruhi secara signifikan oleh waktu siklus dan efisiensi kerja pada kondisi offshore. Waktu siklus yang panjang, yaitu sebesar 5,78 jam per siklus, menjadi faktor utama yang membatasi kinerja alat di lapangan. Dengan efisiensi kerja sebesar 70%, produktivitas alat diperoleh sebesar 19,69 ton/jam atau setara dengan 157,54 ton/hari. Output pekerjaan yang dihasilkan sebesar 1,24 pile/hari menunjukkan bahwa dalam satu hari kerja alat belum mampu mencapai target produksi secara optimal. Untuk memenuhi target produksi sebesar 2 pile/hari, diperlukan minimal 2 unit crawler crane agar pekerjaan dapat berjalan sesuai rencana. Faktor pembatas utama produktivitas bukan terletak pada

kapasitas alat, melainkan pada lamanya waktu siklus dan adanya delay operasional. Peningkatan produktivitas dapat dilakukan melalui optimalisasi waktu siklus, pengurangan delay, serta peningkatan efisiensi operasional dan koordinasi kerja di lapangan. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar evaluasi dan pertimbangan dalam meningkatkan efisiensi operasional serta produktivitas alat berat pada pekerjaan konstruksi offshore, sekaligus membuka peluang untuk penelitian lanjutan yang lebih komprehensif.

Referensi

1. Ariza, N. H., Wulandari, Prayoga, S., Mursyid, A., & Ernawan, D. (2025). Optimalisasi Produktivitas Crawler Crane pada Pekerjaan Pengangkatan Precast Beton Tiang Pancang 35 x 35 cm PT. Wijaya Karya Beton Tbk. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang Dan Teknik Sipil*, 3(3), 288–298. <https://doi.org/10.61132/konstruksi.v3i3.985>
2. Barnes, R. (1997). *Motion and Time Study* (3rd ed.). John Wiley & Sons, Inc.
3. Bayu, Heri Santika Permana, PT Pertamina Energy Terminal, & PT Pertamina International Shipping (PIS). (2024, September 2). PT Pertamina Energy Terminal advances phase two of Tuban LPG terminal project. <https://Indonesiabusinesspost.Com/2903/Business-and-Investment/Pt-Pertamina-Energy-Terminal-Advances-Phase-Two-of-Tuban-Lpg-Terminal-Project>.
4. Dai, J., Goodrum, P. M., Maloney, W. F., & Srinivasan, C. (2009). Latent Structures of the Factors Affecting Construction Labor Productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(5), 397–406. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2009\)135:5\(397\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:5(397))
5. Deasinta, M. L. (2022). TINJAUAN PRODUKTIVITAS PEKERJAAN PEMANCANGAN PADA PAKET PENGGANTIAN JEMBATAN SOSONGAN MINAHASA SELATAN.
6. Latief, R. U., Anditiaman, N. M., Rahim, I. R., Arifuddin, R., & Tumpu, M. (2023). Labor Productivity Study in Construction Projects Viewed from Influence Factors. *Civil Engineering Journal*, 9(3), 583–595. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-03-07>
7. Nakanishi, Y., Kaneta, T., & Nishino, S. (2022). A Review of Monitoring Construction Equipment in Support of Construction Project Management. *Frontiers in Built Environment*, 7. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.632593>
8. Nassar, A., & Elbisy, A. (2024). Evaluation of Factors Leading to Time Delays and Cost Overruns in Marine Construction Projects. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 14(5), 16095–16102. <https://doi.org/10.48084/etasr.8116>
9. Ophiyandri, T., Hadiguna, R. A., & Honesti, D. (2023). Penyebab Keterlambatan Konstruksi Proyek Jalan Kota Di Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Bangunan, Konstruksi & Desain*, 1(2), 109–114. <https://doi.org/10.25077/jbkd.1.2.109-114.2023>
10. Ramadan, B., Nassereddine, H., Taylor, T. R. B., & Goodrum, P. (2023). Impact of technology use on workforce performance and information access in the construction industry. *Frontiers in Built Environment*, 9. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1079203>
11. Rayhan, S. W. (2023). ANALISIS PRODUKTIVITAS PEKERJAAN PEMANCANGAN TIANG PANCANG PADA PROYEK CLUSTER XYZ.
12. Sumitomo. (2004). SCX6500 Spesification. www.sumitomocrane.com
13. Tomlinson, M., & Woodward, J. (2008). *Pile Design and Construction Practice* (6th ed.). CRC Press.
14. Van Tam, N. (2024). Unveiling global research trends in construction productivity: a scientometric analysis of twenty-first century research. *Smart Construction and Sustainable Cities*, 2(1), 2. <https://doi.org/10.1007/s44268-024-00025-7>
15. Varian, A., & Mawariza, P. S. (2023). Comparison Analysis of Bore Pile Foundations and Piles to Time and Cost of Construction in Tanjung Perak Sea Keeping Base and Class II Beach Construction Project. *Civilla: Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan*, 8(2), 137–144. <https://doi.org/10.30736/cvl.v8i2.1099>
16. Vincent, Z., Georges, V., & Joe, S. (2024). Pile Driving in Marine Structures: What Can Go Wrong? IFCEE 2024.
17. Wang, Z., Barak, R., Sacks, R., Yevu, S. K., Bentur, A., & Hadjidemetriou, G. M. (2026). Construction productivity and digital technologies. *Automation in Construction*, 183, 106768. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2026.106768>
18. WIKI. (2022). LPG Tuban Project Detail . <https://www.wika.co.id/En/Business/Energy-and-Industrial-Plant/Industrial-Plant/Lpg-Tuban>.