



Analisis Produktivitas dan Efisiensi *Mobile Crane* dalam Produksi Tiang Pancang

(Studi kasus di PT. Adhi Beton Kabupaten Purwakarta)

Assyfa Hermalia Puteri¹, Ananda Edo Pratama², Indra Ginanjar³, Defagy Faudril⁴,
Moch Paridzi Almauludy⁵, Salva Handika⁶, Rifan Rizky Sabila⁷, Deny Ernawan^{8*}

¹⁻⁷Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Subang, Indonesia

⁸Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Subang, Indonesia

e-mail: assyfahermaliaputri@gmail.com¹, edo2861@gmail.com², indraginanjar250130@gmail.com³,
defagy04@gmail.com⁴, mhmadpridzi@gmail.com⁵, handikasalva24@gmail.com⁶,
rifan.rizky05@gmail.com⁷, denyernawan@unsub.ac.id⁸

*Penulis Korespondensi : denyernawan@unsub.ac.id

Abstract. Heavy equipment effectively plays a key role in ensuring productivity and efficiency in the precast concrete industry of spun pile concrete at PT Adhi Beton Purwakarta. One of the heavy equipment that plays an important role is the mobile crane, especially for moving large concrete components. In this study, field data was processed by analyzing the productivity and efficiency of the Tadano GR-500EXL type mobile crane with a capacity of 50 tons. Current problems are high idle time, lack of operational synchronization, and suboptimal utilization of technological features on the crane unit. The results show that spun pile concrete weighing 6.78 tons based on the analysis of heavy equipment productivity is 40.68 tons/hour with the number of mobile crane heavy equipment needed as many as 2 units, and the efficiency for crane heavy equipment reaches around 68%. The amount of productivity and needs are to support the target of achieving precast concrete production, especially spun pile concrete. Thus, it is expected that the amount of productivity and the number of mobile crane heavy equipment needs are optimal to support production.

Keywords: Heavy Equipment Productivity; Mobile Crane; Pile Production; PT. Adhi Beton Purwakarta; Work Efficiency.

Abstrak. Alat berat secara efektif menjadi kunci dalam menjamin produktivitas dan efisiensi pada industri pra cetak beton jenis beton *spun pile* di PT Adhi Beton Purwakarta. Salah satu alat berat yang memegang peranan penting adalah *mobile crane*, terutama untuk memindahkan komponen beton berukuran besar. Pada penelitian ini, data hasil lapangan diolah dengan menganalisis besaran produktivitas dan efisiensi terhadap alat berat *mobile crane* tipe Tadano GR-500EXL berkapasitas 50 ton. Permasalahan saat ini tingginya waktu tidak produktif (*idle time*), kurangnya sinkronisasi operasional, serta pemanfaatan fitur teknologi pada unit crane yang belum optimal. Hasil menunjukkan bahwa beton *spun pile* dengan berat 6,78 ton berdasarkan analisis besar produktivitas alat berat yaitu 40,68 ton/jam dengan jumlah kebutuhan alat berat *mobile crane* sebanyak 2 unit, dan efisiensi untuk alat berat crane mencapai sekitar 81,36%. Besar produktivitas dan kebutuhan tersebut untuk mendukung target pencapaian produksi beton pra cetak khususnya beton *spun pile*. Dengan demikian, diharapkan besaran produktivitas dan kebutuhan jumlah alat berat *mobile crane* sudah optimal untuk mendukung dalam produksi.

Kata Kunci: Efisiensi Kerja; Mobile Crane; Produktivitas Alat Berat; Produksi Tiang Pancang; PT. Adhi Beton Purwakarta.

1. LATAR BELAKANG

Dalam dunia industri konstruksi modern, peran alat berat tidak lagi sekadar sebagai pelengkap, melainkan telah menjadi komponen utama dalam menunjang efisiensi, keselamatan kerja, serta keberlanjutan dalam proses produksi (Khan *et al.*, 2022; Ernawan *et al.*, 2025). Salah satu jenis alat berat yang memiliki nilai strategis dalam aktivitas manufaktur dan distribusi komponen pracetak adalah *mobile crane* (Lei *et al.*, 2013; Rasyid *et al.*, 2025). *Mobile Crane* adalah alat yang digunakan untuk pengangkatan yang dapat bergerak dari satu

lokasi ke lokasi lain tanpa membutuhkan jalur khusus (Hozjan & Klansek, 2023; (Kadriadia *et al.*, 2024; Musridhoi & Nugroho, 2025).

Mobile Crane berguna untuk memindahkan beban berat dalam jarak pendek, sebagai alternative yang hemat biaya daripada crane tetap yang tidak bisa berpindah, karena dapat di sewa sesuai kebutuhan dan dipindahkan antar lokasi dengan lebih mudah (Nurdiansyah, 2019; Gusthia, 2023). Alat ini dirancang sebagai alat yang mempunyai fleksibilitas dan mobilitas yang tinggi. Crane ini di lengkapi dengan boom teleskopik sehingga meningkatkan jangkauan dan kapasitas angkatnya, khususnya jenis rough terrain crane yang digunakan oleh *PT. Adhi Beton* seperti Tadano GR-500 EXL dengan kapasitas 50 ton. Di lingkungan industri pracetak seperti *PT Adhi Persada Beton Plant Purwakarta*, mobile crane digunakan secara intensif untuk kegiatan pemindahan tiang pancang dari area produksi ke atas kendaraan pengangkut (kontainer), yang merupakan tahap krusial dalam rantai pasok internal pabrik.



Gambar 1. Mobile Crane.

Sumber: Hasil Dokumentasi Lapangan (2025)

Kinerja alat berat seperti mobile crane sangat menentukan tingkat produktivitas operasional harian (Khan *et al.*, 2022; Milosevic *et al.*, 2025). Produktivitas ini ditentukan oleh berbagai faktor, antara lain waktu siklus angkut (*cycle time*), jumlah ritasi, konsumsi bahan bakar, serta kapasitas angkat aktual dibandingkan kapasitas teoritis alat (Molaei *et al.*, 2023). Dalam pengoperasiannya, efisiensi alat berat seringkali dipengaruhi oleh faktor teknis seperti radius kerja, sudut boom, kapasitas maksimal angkat, hingga kondisi pengoperasian alat (outrigger penuh atau minimum). Pemahaman mendalam terhadap parameter-parameter tersebut sangat penting dalam pengambilan keputusan manajerial, seperti penjadwalan kerja alat, alokasi operator, dan pemeliharaan preventif (Adhi Beton, 2025).

Jenis alat berat crane yang digunakan oleh PT. Adhi Beton seperti *Tadano GR-500EXL*, yaitu alat berat system *hydraulic rough terrain crane* dengan boom teleskopik sepanjang 42 meter, jangkauan radius angkat hingga 35 meter, kapasitas 50 ton dan dilengkapi sistem kontrol modern AML-C yang memonitor beban angkat, sudut boom, dan efisiensi tekanan hidrolik. *Mobile Crane* yang bernama *Tadano GR-500EXL* di gunakan di PT, Adhi Beton sejak tahun 2019 namun, meskipun spesifikasinya mumpuni, penggunaan aktual di lapangan sering kali tidak mencapai potensi maksimumnya, akibat kurangnya sinkronisasi operasional, desain tata letak area kerja yang tidak optimal, dan keterbatasan dalam pemanfaatan fitur alat secara menyeluruh.

Penelitian ini, dilakukan analisis produktivitas dan efisiensi penggunaan jenis alat mobile crane *Tadano GR-500EXL* dalam aktivitas penanganan dan pengangkutan tiang pancang, jenis tiang pancangan yang di gunakan di PT. Adhi Beton yaitu Spun Pile 300A1 berdiameter 300 mm dan Panjang 6-meter dengan berat 6,78 ton. Tujuan dari penelitian ini untuk mengidentifikasi seberapa jauh alat berat tersebut mampu bekerja secara optimal berdasarkan parameter teknis dan manajerial yang tersedia. Dengan fokus pada pendekatan manajemen alat berat, hasil dari studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa strategi peningkatan performa alat, rekomendasi teknis, serta penguatan aspek efisiensi operasional dalam pengelolaan alat berat mobile crane di sektor pracetak beton.maka pada pembahasan ini yang akan dilakukan sebagai berikut:

- a. Mengetahui besaran produktivitas alat berat *Mobile Crane* tipe *Tadano GR-500EXL* di PT. Adhi Beton untuk mengangkat beton *spun pile* ? ...
- b. Mengetahui jumlah kebutuhan alat berat *Mobile Crane* tipe *Tadano GR-500EXL* di PT. Adhi Beton agar optimal dalam pekerjaannya ? ...
- c. Mengetahui seberapa efesiensi dari penggunaan alat berat *Mobile Crane* tipe *Tadano GR-500EXL* di PT. Adhi Beton untuk mengangkat atau memindahkan beton ? ...

2. KAJIAN TEORITIS

Mobile Crane merupakan alat berat berupa derek yang dipasang pada sebuah menara atau struktur yang kokoh untuk mengangkat dan memindahkan bahan bangunan, seperti beton, besi, dan material lainnya ke lokasi tempat yang telah ditentukan (Musridhoi & Nugroho, 2025; Ernawan *et al.*, 2025). Analisis efektivitas tower crane berfokus pada produktivitas sebagai ukuran output per satuan waktu dan kecepatan produksi melalui pengukuran cycle time serta efisiensi operasional (Safitri, 2025). Kecepatan produksi meliputi kemampuan *mobile crane* dalam memindahkan material konstruksi secara efisien dan efektif (Nurdiansyah, 2019;

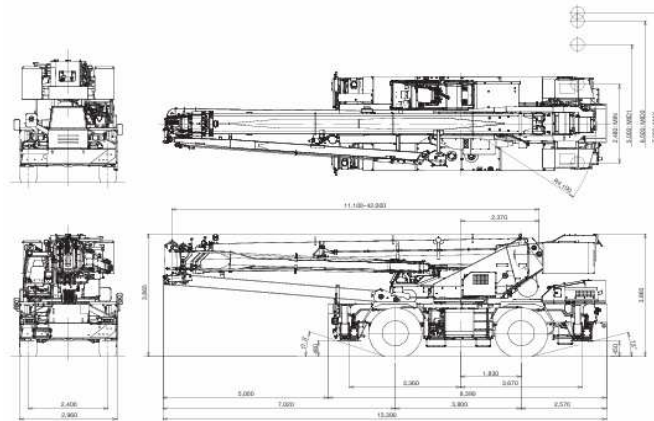
Motycka *et al.*, 2022), sehingga mempercepat waktu, terutama terhadap PT. Adhi Beton yang membuat beton *crane* ini sangatlah dibutuhkan untuk memindahkan material/beton yang sudah jadi. *Mobile crane* memang sering digunakan pada proyek berskala besar sebagai alternatif *tower crane* berkat mobilitas tinggi, memudahkan perpindahan antar lokasi tanpa pembongkaran rumit (Guo *et al.*, 2022; Ernawan *et al.*, 2025). *Mobile crane* ideal untuk proyek jangka pendek atau lokasi beragam seperti jalan, jembatan, dan infrastruktur dengan akses terbatas (Hozjan & Klansek, 2023), sementara *tower crane* lebih unggul untuk proyek stasioner bertingkat tinggi seperti gedung di PT. Adhi Persada Beton. Untuk memenuhi kebutuhan alat berat di suatu proyek diperlukan data untuk menentukan jumlah alat, jenis dan kapasitasnya, pemilihan jenis *mobile crane* harus betul-betul sesuai dengan kondisi lapangan (Al-Hussein *et al.*, 2001; Musridhoi & Nugroho, 2025), dan beban maksimal agar memenuhi kebutuhan alat berat secara optimal (Kana *et al.*, 2023).

3. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian ini dilakukan di PT. Adhi Beton yang beralamat di jalan raya Sadang - Subang KM. 18, Kampung Ciparung Mulya, Desa Cipinang, Cibatu, Purwakarta Regency, Jawa Barat 41181, merupakan pabrik permanen yang didirikan tahun 2013 dan mulai beroperasi 2014. Pelaksanaan penelitian efektivitas *tower crane* selama 7 hari dengan jam kerja 5 jam per hari (total 35 jam observasi) merupakan pendekatan standar untuk analisis lapangan yang efisien di lokasi PT. Adhi Persada Beton Purwakarta. Metode pada penelitian ini melakukan pengamatan lapangan dan metode deskriptif sehingga didapatkan data primer serta data sekunder, dengan pendekatan studi kasus di lapangan.

Alat Berat Mobile Crane

Dalam melaksanakan pekerjaan pemindahan tiang pancang dengan menggunakan alat berat, satu hal penting yang harus diperhatikan untuk kapasitas operasi alat berat seperti *tower crane* atau *mobile crane* (*Tadano GR-500EXL*) sangat krusial dalam pemindahan material untuk mencegah overload, kecelakaan, dan inefisiensi proyek. Dengan memahami kapasitas operasi ini, operator dan manajemen proyek dapat mengoptimalkan penggunaan alat berat sehingga proses pengangkatan beton berjalan lancar, tepat waktu, dan sesuai dengan standar keselamatan kerja. Berikut merupakan hasil perhitungan produktivitas dari *mobile crane* *Tadano GR-500EXL*.



Gambar 2. Mobile Crane Tadano GR-500EXL.

Sumber: Dokumentasi PT. Adhi Beton (2025)



Gambar 3. Mobile Crane Tadano GR-500EXL.

Sumber: Dokumentasi PT. Adhi Beton (2025)

Spesifikasi Mobile Crane

Nama alat	: Mobile Crane Tadano GR-500EXL
Type mesin	: Mitsubishi
Tahun Produksi	: Tahun 2019
Jenis Tiang Pancang	: Spun Pile 200A1
Berat Tiang Pancang	: 6,78 Ton
Jumlah Silinder	: 4 Siklus
Sistem pembakaran	: Turbo dan <i>after cooling</i>
Tangki bahan bakar	: 300 liter (sisi kanan operator)
Sistem kelistrikan	: 24 volt, <i>ground negatif</i>
Baterai	: 2 unit, masing-masing 120 ampere – jam
Kapasitas angkat maks	: 50 ton

Waktu mengangkat : 30 menit

Waktu memindahkan : 10 menit

Waktu menyimpan : 20 menit

Analisis Data

Produktivitas Mobile Crane

Analisis produktivitas alat berat penting dalam proyek konstruksi untuk mengoptimalkan waktu, biaya, dan efisiensi kerja. Pendekatan ini melibatkan perhitungan kapasitas, efisiensi, dan faktor lapangan pada alat seperti *mobile crane*. Produktivitas *mobile crane* diukur berdasarkan berat muatan yang diangkat per jam (kg/jam) atau siklus per menit. Adapun rumus persamaan produktivitas *mobile crane*, sebagai berikut:

$$Q = \frac{q \times 60 \times E}{Ct}$$

Dimana:

Q : Produktivitas *mobile crane* (m³/jam)

q : Kapasitas angkat per siklus (unit atau ton)

E : Faktor efisiensi kerja (0,6 - 0,9)

Ct : Waktu yang dibutuhkan per siklus (menit/siklus),

Kebutuhan Alat Berat

Analisis kebutuhan alat berat *mobile crane* dilakukan untuk memastikan pemilihan jumlah, kapasitas, dan durasi alat sesuai volume pekerjaan erection struktur baja, sambil meminimalkan biaya dan risiko. Proses ini mempertimbangkan produktivitas crane, waktu siklus, akses lokasi, serta perbandingan metode alat. Kebutuhan alat berat *mobile crane* ditentukan berdasarkan kapasitas angkat, jarak radius, volume pekerjaan, dan faktor keamanan untuk memastikan efisiensi proyek konstruksi. Secara umum rumus Kebutuhan alat berat, sebagai berikut:

$$N = \frac{V_b}{Q \times \text{Jam kerja} \times \text{Hari Kerja}}$$

Dimana:

N : Jumlah alat berat *crane* yang dibutuhkan (unit)

V_b : Volume pekerjaan (m³)

Q : Produktivitas alat (m³/jam)

Jam kerja : Jam kerja efektif per hari (jam/hari)

Hari kerja : Jumlah hari kerja yang direncanakan

Efisiensi Alat Berat

Analisis efisiensi alat berat mobile crane mengevaluasi utilisasi waktu kerja, produktivitas siklus, dan biaya operasional untuk memaksimalkan kinerja pada proyek konstruksi. Efisiensi diukur dari rasio waktu produktif terhadap total waktu (ideal >70%), dengan idle time sebagai indikator utama penurunan performa. Rumus yang digunakan untuk menentukan efisiensi alat berat, sebagai berikut:

$$FA = \frac{Q \times Ts \times Fv}{V \times Fb \times 60}$$

Dimana:

FA = Faktor alat

Q = Volume pekerjaan (m³)

Ts = Waktu siklus (menit)

Fv = Faktor volume / faktor koreksian volume

V = Kapasitas alat per siklus (m³)

Fb = Faktor bucket / faktor pengisian

60 = Konversi menit ke jam

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Data Lapangan

Pembahasan hasil data lapangan mobile crane menunjukkan variasi produktivitas dan efisiensi berdasarkan observasi langsung. Adapun data hasil lapangan, sebagai berikut:

Berat tiang pancang per siklus = 6,78 x 6 = 40,68 ton

Total beban tiang pancang = 2500 Ton

yang harus di angkat

Waktu siklus = 60 menit

Efisiensi waktu = 1,0 (alat digunakan penuh)

Jumlah jam kerja = 5 jam

Jumlah Hari kerja = 7 hari

Produktivitas alat = 40,68 ton/jam

Waktu siklus = 60 menit

Faktor konversi = 1,00 (karena tetap satuan ton)

Kapasitas teoritis alat = 50 ton

Faktor bucket = 1,00 (karena crane, bukan alat gali)

Pembahasan Penelitian

Prokduktivitas Mobile Crane

Berat tiang pancang : 6,78 ton/tiang
 Jumlah tiang pancang : 6 tiang pancang
 Waktu siklus (Ct) : 60 menit → 1 jam
 Efisiensi waktu (Fv) : 1,0 (alat digunakan penuh)

q = Berat tiang x jumlah tiang

$$= 6,78 \times 6$$

$$= 40,68 \text{ ton/siklus}$$

$$Q = \frac{q \times Ts \times 60}{Ct}$$

$$= \frac{40,68 \times 1 \times 60}{60}$$

$$= \frac{2.440,8}{60}$$

$$= 40,68 \text{ ton/jam}$$

Dengan hasil ini tiang pancang seberat 6,78 Ton sebanyak 6 buah dapat menyelesaikan 1 siklus selama 60 menit atau 40,68 ton/jam, nilai ini menunjukkan performa crane dalam kondisi kerja lapangan cukup baik dan stabil.

Kebutuhan Alat Berat Mobile Crane

Dari hasil produktivitas, dapat ditentukan jumlah alat yang sesuai dengan kebutuhan lapangan. Penentuan ini sangat penting untuk memastikan bahwa proses pengangkatan elemen struktur dapat berjalan secara efisien tanpa terjadi keterlambatan atau penumpukan pekerjaan. Jumlah alat yang ideal akan meminimalkan waktu tunggu, meningkatkan efektivitas kerja, serta mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya yang tersedia.

Total beban tiang pancang yang harus di angkat (Vb) : 2.500 Ton

Jumlah jam kerja : 5 jam

Jumlah Hari kerja : 7 hari

Produktivitas alat (Q) : 40,68 ton/jam

$$N = \frac{V_b}{Q \times \text{Jam kerja} \times \text{Hari Kerja}}$$

$$= \frac{2.500}{40,68 \times 5 \times 7}$$

$$= 1,76 \approx 2 \text{ unit}$$

Hasil menunjukkan bahwa yang dibutuhkan dalam produktivitas alat berat secara teori dibutuhkan alat sebanyak 2 unit. Secara eksiting lapangan bahwa jumlah alat berat mobile crane yang digunakan sebanyak 2 unit alat berat, sehingga pekerjaan ini akan lebih cepat dan efisien.

Efisiensi Penggunaan Alat Berat Mobile Crane

Efisiensi penggunaan alat berat crane menunjukkan seberapa optimal alat dioperasikan dibandingkan kapasitas maksimumnya. Efisiensi yang rendah umumnya disebabkan idle time yang tinggi, rotasi kerja yang belum optimal, sinkronisasi kerja yang kurang, dan pemanfaatan fitur teknologi yang belum maksimal. Peningkatan efisiensi dapat dicapai dengan perbaikan jadwal kerja, pelatihan operator, serta penerapan sistem manajemen alat yang terstruktur, sehingga produktivitas mendekati kapasitas optimal dan biaya operasional lebih efisien.

Produktivitas alat (Q) : 40,68 ton/jam
 Waktu siklus (Ts) : 60 menit
 Faktor konversi (Fv) : 1 (karena tetap satuan ton)
 Kapasitas teoritis alat (V) : 50 ton
 Faktor bucket (Fb) : 1 (karena crane, bukan alat gali)

$$\begin{aligned} FA &= \frac{Q \times Ts \times Fv}{V \times Fb \times 60} \\ &= \frac{40,68 \times 60 \times 1}{50 \times 1 \times 60} \\ &= 0,814 \text{ atau } 81,36\% \end{aligned}$$

Hasil menunjukkan bahwa besaran efisiensi penggunaan alat berat *mobile crane* pada industri PT. Adhi Beton Purwakarta sekitar 81,36%. Besaran kisaran tersebut ditinjau dari produktivitas alat berat, waktu siklus, faktor konversi, kapasitas teoritis alat, dan faktor bucket. Ini menunjukkan kinerja alat cukup tinggi dan relatif optimal dalam kondisi pengoperasian di lingkungan industri.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis terhadap penggunaan mobile crane Tadano GR-500EXL dalam proses pengangkutan tiang pancang di lingkungan industri PT. Adhi Beton Purwakarta selama 7 hari kerja dengan jam operasional 5 jam per hari, diperoleh hasil sebagai berikut: 1) Produktivitas aktual alat sebesar 40,68 ton per jam, dengan beban rata-rata 1 tiang pancang seberat 6,78 Ton dan waktu siklus operasi crane selama 60 menit. Nilai ini mencerminkan performa crane dalam kondisi kerja lapangan yang relatif stabil dan berulang. 2) Jumlah kebutuhan alat untuk menyelesaikan volume pekerjaan sebesar 2.500 ton dalam

waktu 7 hari kerja dengan durasi 5 jam per hari adalah sebesar 1,755 unit, yang kemudian dibulatkan menjadi 2 unit mobile crane agar dapat menghindari keterlambatan akibat faktor non-teknis seperti antrean kendaraan atau perawatan alat. 3) Efisiensi penggunaan alat berdasarkan rumus efisiensi dalam dokumen diperoleh sebesar 81,36%, yang menggambarkan seberapa besar waktu angkut per siklus dibandingkan terhadap waktu 1 jam penuh jika alat digunakan secara maksimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penelitian ini, penulis tidak luput mengucapkan banyak terima kasih kepada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Subang yang telah memberikan kesempatan untuk penelitian untuk mata kuliah Manajemen Alat berat dan PT. Adhi Beton Purwakarta yang telah memberikan kemudahan untuk bisa dijadikan penelitian terkait perhitungan penggunaan alat berat *mobile crane*.

DAFTAR REFERENSI

- Al-Hussein, M., Alkass, S., & Moselhi, O. (2001). An algorithm for mobile crane selection and location on construction sites. *Journal Construction Innovation*, 1(2), 91-105. <https://doi.org/10.1108/14714170110814532>
- Ernawan, D., Ariza, N. H., Prayoga, S., & Mursyid, A. (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>
- Guo, H., Zhou, Y., Pan, Z., Zhang, Z., Yu, Y., & Li, Y. (2022). Automated selection and localization of mobile cranes in construction planning. *Buildings*, 12, 1-19. <https://doi.org/10.3390/buildings12050580>
- Gusthia, I. (2023). Mobile crane: Merevolusi konstruksi dengan keserbagunaan dan mobilitas. <https://www.garudasystain.co.id/mobile-crane-merevolusi-konstruksi-dengan-keserbagunaan-dan-mobilitas/>, Diakses Tanggal 25 Juli 2025, 1-9.
- Hozjan, M., & Klansek, U. (2023). Optimal positioning of mobile cranes on construction sites using nonlinear programming with discontinuous derivatives. *Sustainability*, 15, 1-18. <https://doi.org/10.3390/su152416889>
- Kadriadia, Wirakusuma, K. W., Opub, A. S., & Alfiana, M. (2024). Analisis crane portable dengan kemampuan angkat 1 ton. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 05(02), 52-61. <https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v5i2.1652>
- Kana, P. H. W., Dwipa, I. G. A. S. N., & Bintana, I. B. (2023). Efektifitas penggunaan mobile crane pada gedung dekanat FISIP Universitas Udayana. *Seminar Nasional*, 2, 165-171.
- Khan, A. U., Huang, L., Onstein, E., & Liu, Y. (2022). Overview of emerging technologies for improving the performance of heavy-duty construction machines. *IEEE Access*, 10(1), 103315-103336. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3209818>

- Lei, Z., Taghaddos, H., Hermann, U., & Al-Hussein, M. (2013). A methodology for mobile crane lift path checking in heavy industrial projects. *Automation in Construction*, 31(1), 41-53. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.042>
- Milosevic, I., Stojanovic, A., Nikolic, D., Mihajlovic, I., Brkic, A., Perisic, M., & Spasojevic-Brkic, V. (2025). Occupational health and safety performance in a changing mining environment: Identification of critical factors. *Safety Science*, 184(1), 1-12.
- Molaei, A., Kolu, A., Lahtinen, K., & Geimer, M. (2023). Automation in construction automatic estimation of excavator actual and relative cycle times in loading operations. *Automation in Construction*, 156(September), 105080. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105080>
- Motycka, V., Gasparík, J., Pribyl, O., Sterba, M., Horinkova, D., & Kantova, R. (2022). Effective use of tower cranes over time in the selected construction process. *Buildings*, 12, 1-21. <https://doi.org/10.3390/buildings12040436>
- Musridhoi, R. Z., & Nugroho, M. S. (2025). Analysis of mobile crane and crawler crane lift capacity in steel box girder type bridge construction. *Journal of Applied Civil Engineering and Practices Online*, 1(1), 51-65.
- Nurdiansyah, H. F. (2019). Analisis pemilihan alat berat material hoist dan mobile crane pada pekerjaan rangka atap baja proyek pembangunan. In Universitas Islam Indonesia.
- Rasyid, M. A., Hadi, A. K., & Supardi, S. (2025). Kajian produktivitas alat berat pada proyek pembangunan gedung Kantor PKK, Dekranasda dan UMKM Center Kota Makassar. *JUTIN: Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 8(1), 840-850. <https://doi.org/10.31004/jutin.v8i1.40964>
- Safitri, T. D. (2025). Produktivitas tower crane pada proyek pembangunan apartemen Elevee Penthouses and Residences. In Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.