Analisis Efektivitas Penggunaan Alat Berat Crawler Crane pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Jogja - Solo (Paket 1.2 Klaten – Purwomartani)

Mohammad Harun[1], Ahmad Suwandi, [2], Alif Kamajaya[3]
[123]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wiraraja
Email: [1]mohamadharun@wiraraja.ac.id, [2]suwandyach@wiraraja.ac.id, [3]alifkamajaya69@gmail.com*

Abstract

Toll road infrastructure development plays a vital role in increasing regional connectivity and logistics movement efficiency. One important element in bridge construction is heavy equipment such as a Crawler Crane, which is used to lift heavy structural components such as Pre-stressed Concrete I-Girders (PCI Girders). This study aims to analyze the effectiveness of Crawler Crane usage in the Jogja-Solo Toll Road construction project Package 1.2 (Klaten – Purwomartani), especially on the Klongkongan River Bridge segment STA 32+300 - 35+640. The research method used is descriptive quantitative with data collection through field observation of lifting cycles, interviews, and documentation study.The results show that the average installation cycle time for PCI Girders using the Crawler Crane is 70 minutes/girder, matching the planned duration. The Schedule Performance Index (SPI) value was 1.00, indicating that the work was completed on schedule. Operational cost savings reached 15.2% of the initially allocated Rp 525,000,000, reducing actual expenses to Rp 445,700,000. This reflects high cost efficiency, indicating that the planning and use of heavy equipment were optimal. The study also provides recommendations to further improve productivity, such as more efficient material rotation schedules and minimizing idle time.

Keywords: *Crawler Crane, Cost Efficiency, Jogja-Solo Toll Road, PCI Girder, Time Effectiveness*

Abstrak

Pembangunan infrastruktur jalan tol merupakan bagian vital dalam meningkatkan konektivitas wilayah dan efisiensi pergerakan logistik. Salah satu elemen penting dalam konstruksi jembatan adalah alat berat seperti Crawler Crane, yang digunakan untuk pengangkatan komponen struktural berat seperti Pre-stressed Concrete I-Girder (PCI Girder). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penggunaan Crawler Crane pada proyek pembangunan Jalan Tol Jogja-Solo Paket 1.2 (Klaten – Purwomartani), khususnya pada segmen jembatan Sungai Klongkongan STA 32+300 - 35+640. Metode penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan pengumpulan data melalui observasi waktu siklus pengangkatan, wawancara lapangan, dan dokumentasi proyek.Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata waktu siklus pemasangan PCI Girder dengan Crawler Crane adalah 70 menit/girder, sesuai dengan perencanaan awal. Nilai Schedule Performance Index (SPI) sebesar 1,00, yang berarti pelaksanaan pekerjaan berjalan sesuai jadwal. Efisiensi biaya sewa dan operasional alat berat mencapai 15,2% lebih hemat dari anggaran awal yang dialokasikan sebesar Rp 525.000.000, sehingga biaya aktual menjadi Rp 445.700.000. Efektivitas biaya ini menunjukkan bahwa perencanaan dan penggunaan alat berat dilakukan secara optimal. Penelitian ini memberikan rekomendasi strategi peningkatan produktivitas alat berat, seperti pengaturan rotasi material yang lebih efisien dan mitigasi idle time alat.

Kata Kunci: Crawler Crane, Efektivitas Waktu, Efisiensi Biaya, Jalan Tol Jogja-Solo, PCI Girder

ISSN (*Online*) 2747-0733

1. Pendahuluan

Sebagai bagian dari sistem jalan nasional, infrastruktur jalan tol memiliki peran strategis dalam mendorong pertumbuhan ekonomi serta meningkatkan konektivitas antarwilayah [1]. Jalan tol berfungsi sebagai jalur eksklusif yang menunjang efi siensi pergerakan barang dan jasa. Hingga awal tahun 2024, Kementerian PUPR melalui Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT) mencatat bahwa total panjang jalan tol di Indonesia telah mencapai 2.893 km, tersebar di Pulau Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, dan Bali [2].

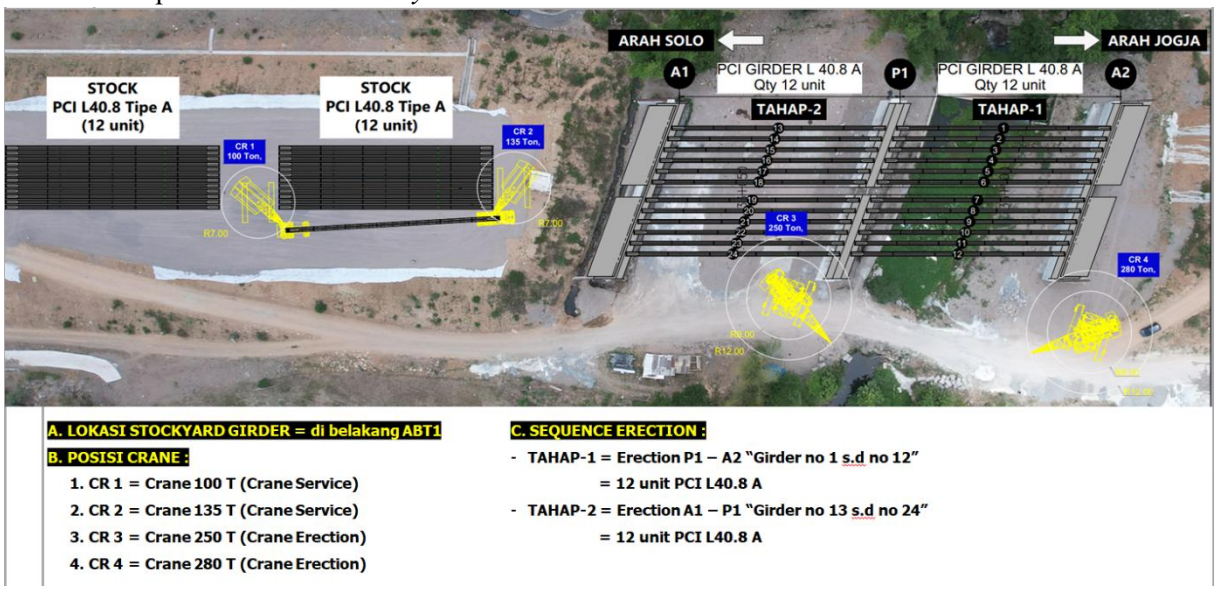
Salah satu proyek strategis nasional yang tengah berjalan adalah pembangunan Jalan Tol Jogja–Solo, khususnya pada paket 1.2 Klaten–Purwomartani. Proyek ini diharapkan mampu meningkatkan konektivitas regional serta mempercepat akses transportasi antar provinsi.

Dalam pelaksanaan konstruksi, efektivitas penggunaan alat berat menjadi aspek penting yang memengaruhi keberhasilan proyek [3]. Pada segmen Jembatan Sungai Klongkongan STA 32+300 - 35+640, digunakan alat berat jenis Crawler Crane untuk pemasangan Pre-stressed Concrete I-Girder (PCI Girder). Evaluasi terhadap efektivitas waktu dan efisiensi biaya operasional alat ini menjadi krusial, mengingat keterlambatan atau pemborosan dapat berdampak langsung terhadap jadwal dan anggaran proyek. [4]

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penggunaan alat berat Crawler Crane pada proyek tersebut serta memberikan rekomendasi strategis yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi operasional pada proyek infrastruktur serupa di masa mendatang. [3,4]

2. Metode

Dalam penelitian ini, metode kuantitatif dipilih karena data numerik mengenai waktu operasional dan biaya penggunaan alat berat *Crawler Crane* akan dianalisis secara mendalam. sifatnya deskriptif karena penelitian ini akan mendeskripsikan dan menganalisis data yang diperoleh untuk mengetahui efektivitas waktu dan biaya penggunaan alat berat *crawler crane* pada proyek pembangunan jalan tol Jogja-Solo paket 1.2 Klaten-Purwomartani, khususnya pada pekerjaan pemasangan *Pre-stressed Concrete I Girder (PCI Girder)* di jembatan sungai Klongkongan STA 32+300 – 35+640. Pada Gambar 1 dapat dilihan lokai *stockyard* dan lokasi *erection.*



Gambar 1. Lokasi Stockyard dan Lokasi Erection

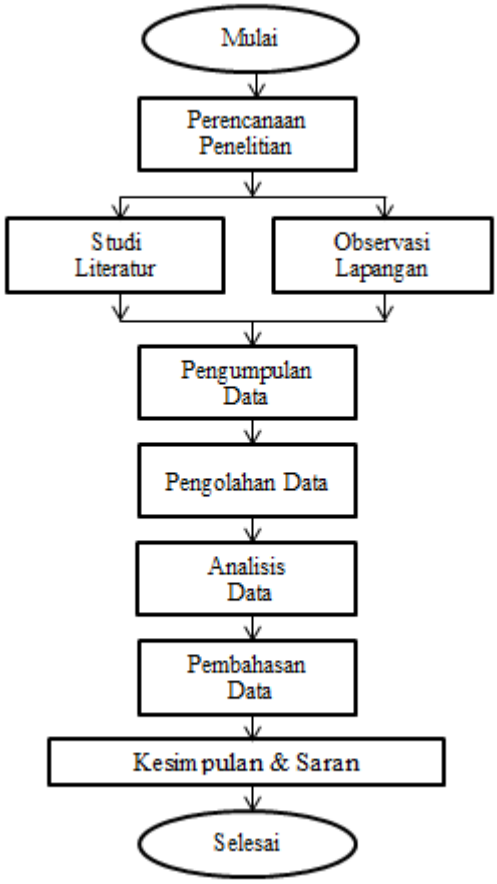
Pada penelitian ini menggunakan data sekunder. Dengan mengumpulkan, mencari serta mengolah data yang didapat dari PT. Jasa Marga Jogja-Solo, data yang dimaksud antara lain:

a) Data Umum

b) Data Pengamatan Lapangan
c) Rencana Anggaran Biaya (RAB)
d) *Time Schedule*
e) AHSP (Analisa Terinci Harga Satuan Pekerjaan)
f) Gambar Kerja (Metode Pelaksanaan)

Metode pengumpulan data yang digunakan meliputi:
a) Studi literatur untuk membangun landasan teori.
b) Observasi Lapangan untuk mencatat data waktu siklus dan pemasangan PCI Girder.
c) Wawancara dengan pihak terkait untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas.
d) Dokumentasi proyek untuk mendapatkan data primer dan sekunder.

Hasil analisis akan disajikan dalam bentuk angka dan tabel untuk memudahkan interpretasi. Guna memfasilitasi pemahaman terhadap proses penelitian, Gambar 2 merupakan ilustrasi ringkas melalui flowchart.



Gambar 2. Flowchart Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini, metode kuantitatif dipilih karena data numerik mengenai waktu operasional dan biaya penggunaan alat berat *Crawler Crane* akan dianalisis secara mendalam. sifatnya deskriptif karena penelitian ini akan mendeskripsikan dan menganalisis data yang diperoleh untuk mengetahui efektivitas waktu dan biaya penggunaan alat berat *crawler crane* pada proyek pembangunan jalan tol Jogja-Solo paket 1.2 Klaten-Purwomartani, khususnya pada pekerjaan pemasangan *Pre-stressed Concrete I Girder (PCI Girder)* di jembatan sungai Klongkongan STA 32+300 – 35+640.

ISSN (*Online*) 2747-0733

Data Pengamatan Lapangan

Rata-rata waktu pemasangan satu unit girder adalah sekitar 120 menit (2 jam), yang terdiri dari :

a) 30 menit untuk persiapan alat dan pengait *rigging*
b) 20 menit untuk proses pengangkatan
c) 40 menit untuk manuver dan penempatan girder pada tumpuan
d) 30 menit untuk pelepasan alat bantu dan pengecekan akhir

Dengan total 24 unit girder, total waktu aktual adalah : 24 unit x 120 menit = 2.880 menit atau 48 jam kerja.

Tabel 1. Waktu Pemasangan Girder

No.	Uraian Pekerjaan	Jumlah Unit	Waktu/Unit (Menit)	Total Waktu (Menit)	Total Waktu (Jam)
1	Pemasangan PCI Girder	24	120	2.880	48

No	(P1- A2) PCI L40.8 A TAHAP-1	Instal Lifting Frame (menit)	Moving (menit)	Lifting Girder (menit)	Lifting Girder (menit)	Instal Temporary Bracing (menit)	Release Lifting Frame (menit)	Moving (menit)	Durasi (menit)
1	Girder 1	15	30	5	30	15	15	10	120
2	Girder 2	15	30	5	30	15	15	10	120
3	Girder 3	15	30	5	30	15	15	10	120
4	Girder 4	15	30	5	30	15	15	10	120
5	Girder 5	15	30	5	30	15	15	10	120
6	Girder 6	15	30	5	30	15	15	10	120
7	Girder 7	15	30	5	30	15	15	10	120
8	Girder 8	15	30	5	30	15	15	10	120
9	Girder 9	15	30	5	30	15	15	10	120
10	Girder 10	15	30	5	30	15	15	10	120
11	Girder 11	15	30	5	30	15	15	10	120
12	Girder 12	15	30	5	30	15	15	10	120
							Total Durasi	1440	menit
								24	jam

No	(A1- P1) PCI L40.8 A TAHAP-2	Instal Lifting Frame (menit)	Moving (menit)	Lifting Girder (menit)	Lifting Girder (menit)	Instal Temporary Bracing (menit)	Release Lifting Frame (menit)	Moving (menit)	Durasi (menit)
1	Girder 1	15	30	5	30	15	15	10	120
2	Girder 2	15	30	5	30	15	15	10	120
3	Girder 3	15	30	5	30	15	15	10	120
4	Girder 4	15	30	5	30	15	15	10	120
5	Girder 5	15	30	5	30	15	15	10	120
6	Girder 6	15	30	5	30	15	15	10	120
7	Girder 7	15	30	5	30	15	15	10	120
8	Girder 8	15	30	5	30	15	15	10	120
9	Girder 9	15	30	5	30	15	15	10	120
10	Girder 10	15	30	5	30	15	15	10	120
11	Girder 11	15	30	5	30	15	15	10	120
12	Girder 12	15	30	5	30	15	15	10	120
							Total Durasi	1440	menit
								24	jam

Gambar 3. Rencana Waktu Siklus Pekerjaan *Erction Girder*

Tabel 2. Hasil Pengamatan Realisasi Waktu Siklus Pekerjaan *Erction Girder* Tahap 1

No	(A1- P1) Pci L40.8 A Tahap-1	Instal Lifting Frame (Menit)	Moving (Menit)	Lifting Girder (Menit)	Lifting Girder (Menit)	Instal Temporary Bracing (Menit)	Release Lifting Frame (Menit)	Moving (Menit)	Durasi (Menit)
1	Girder 1	15	30	5	30	15	15	10	120
2	Girder 2	15	30	5	30	15	15	10	120
3	Girder 3	15	30	5	30	15	15	10	120
4	Girder 4	15	30	5	30	15	15	10	120
5	Girder 5	15	30	5	30	15	15	10	120
6	Girder 6	15	30	5	30	15	15	10	120
7	Girder 7	15	30	5	30	15	15	10	120
8	Girder 8	15	30	5	30	15	15	10	120
9	Girder 9	15	30	5	30	15	15	10	120
10	Girder 10	15	30	5	30	15	15	10	120
11	Girder 11	15	30	5	30	15	15	10	120
12	Girder 12	15	30	5	30	15	15	10	120
	Total Durasi						1440 Menit		
							24 Jam		

Tabel 3. Hasil Pengamatan Realisasi Waktu Siklus Pekerjaan *Erction Girder* Tahap 2

No	(A1- P1) Pci L40.8 A Tahap-2	Instal Lifting Frame (Menit)	Moving (Menit)	Lifting Girder (Menit)	Lifting Girder (Menit)	Instal Temporary Bracing (Menit)	Release Lifting Frame (Menit)	Moving (Menit)	Durasi (Menit)
1	Girder 1	15	30	5	30	15	15	10	120
2	Girder 2	15	30	5	30	15	15	10	120
3	Girder 3	15	30	5	30	15	15	10	120
4	Girder 4	15	30	5	30	15	15	10	120
5	Girder 5	15	30	5	30	15	15	10	120
6	Girder 6	15	30	5	30	15	15	10	120
7	Girder 7	15	30	5	30	15	15	10	120
8	Girder 8	15	30	5	30	15	15	10	120
9	Girder 9	15	30	5	30	15	15	10	120
10	Girder 10	15	30	5	30	15	15	10	120
11	Girder 11	15	30	5	30	15	15	10	120
12	Girder 12	15	30	5	30	15	15	10	120
	Total Durasi						1440 Menit		
							24 Jam		

Analisis Efektif Waktu

Untuk mengukur efektivitas waktu diunakan indikator *Schedule Performance Index* (SPI), dengan rumus sebagai berikut :

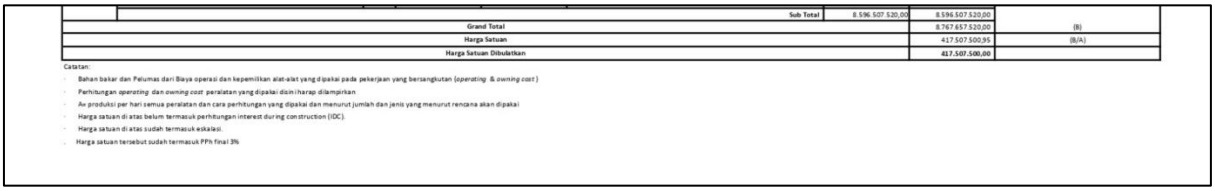
SPI = Durasi Rencana / Durasi Realisasi, (SPI = 48 Jam / 48 Jam = 1,00). Nilai *schedule Performance Index* (SPI) sebesar 1,00 menunjukkan bahwa pekerjaan dilaksanakan tepat waktu, sesuai dengan jadwal yang telah direncanakan. Tidak ditemukan keterlambatan signifikan selama proses pekerjaan *erection* berlangsung.

Tabel 4. Analisis Waktu Pekerjaan

Parameter	Nilai
Durasi Rencana	48 Jam
Durasi Realisasi	48 Jam
Schedule Performance Index (SPI)	1,00

Analisis Efektifitas Biaya

Berdasarkan dokumen AHSP (Analisa harga satuan pekerjaan) dan Rab pada pekerjaan struktur yaitu *erection girder,* Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, Tabel 5, Tabel 6 merupakan rincian biaya pemasangan 24 girder.

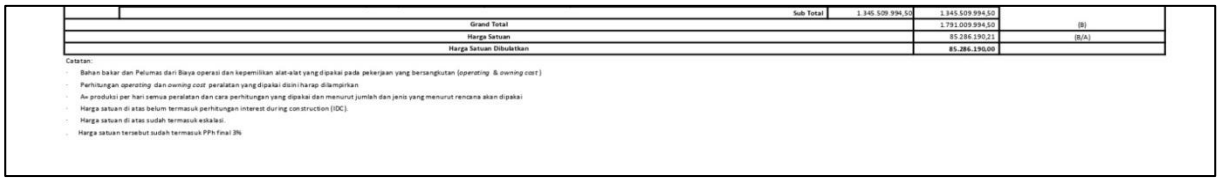


Sub Total	8.596.507.520,00	8.596.507.520,00	
Grand Total		8.767.657.520,00	(B)
Harga Satuan		417.507.500,95	(B/A)
Harga Satuan Dibulatkan		417.507.500,00	

Catatan:
- Bahan bakar dan Pelumas dari Biaya operasi dan kepemilikan alat-alat yang dipakai pada pekerjaan yang bersangkutan (*operating & owning cost*)
- Perhitungan *operating dan owning cost* peralatan yang dipakai diatur/harap dilampirkan
- Av produksi per hari semua peralatan dan cara perhitungan yang dipakai dan menurut jumlah dan jenis yang menurut rencana akan dipakai
- Harga satuan di atas belum termasuk perhitungan interest during construction (IDC).
- Harga satuan di atas sudah termasuk eskalasi.
- Harga satuan tersebut sudah termasuk PPh final 3%

Gambar 4. Dokumen AHSP (Analisa Harga Satuan Pekerjaan) Sumber Jasamarga Jogja-Solo

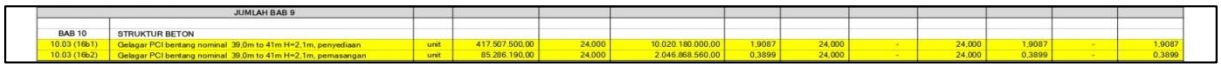
ISSN (*Online*) 2747-0733



Sub Total	1.345.509.994,50	1.345.509.994,50	
Grand Total		1.791.009.994,50	(B)
Harga Satuan		85.286.190,21	(B/A)
Harga Satuan Dibulatkan		85.286.190,00	

Catatan:
- Bahan bakar dan Pelumas dari Biaya operasi dan kepemilikan alat-alat yang dipakai pada pekerjaan yang bersangkutan (*operating & owning cost*)
- Perhitungan *operating* dan *owning cost* peralatan yang dipakai disini harap dilampirkan
- Av produksi per hari semua peralatan dan cara perhitungan yang dipakai dan menurut jumlah dan jenis yang menurut rencana akan dipakai
- Harga satuan di atas belum termasuk perhitungan interest during construction (IDC).
- Harga satuan di atas sudah termasuk eskalasi.
- Harga satuan tersebut sudah termasuk PPh final 3%

Gambar 5. Dokumen AHSP (Analisa Harga Satuan Pekerjaan) Sumber Jasamarga Jogja-Solo



JUMLAH BAB 9													
BAB 10	STRUKTUR BETON												
10.03 (16b1)	Gelagar PCI bentang nominal 39,0m to 41m H=2,1m, penyediaan	unit	417.507.500,00	24,000	10.020.180.000,00	1,9087	24,000	-	24,000	1,9087	-	1,9087
10.03 (16b2)	Gelagar PCI bentang nominal 39,0m to 41m H=2,1m, pemasangan	unit	85.286.190,00	24,000	2.046.868.560,00	0,3899	24,000	-	24,000	0,3899	-	0,3899

Gambar 6. Dokumen Rab *Erection Girder* Sumber Jasamarga Jogja-Solo

Tabel 5. Rincian Biaya Pemasangan *PCI Girder*

No	Komponen	Jumlah / Unit	Biaya / Unit (Rp)	Total Biaya (Rp)
1	Pemasangan *PCI Girder*	24	85.286.190	2.046.868.560

Tabel 6. Rata – Rata Biaya/Jam

No	Komponen	Total Biaya (Rp)	Total Waktu (Jam)	Biaya / Jam
1	Pemasangan *PCI Girder*	2.046.868.560	48 Jam	42.643.137

Tingkat Utilitas Alat

Tingkat utilisasi alat berat *crawler crane* digunakan selama 7 hari kerja, dengan estimasi waktu ketersediaan rata-rata 7jam / hari. Waktu kerja 7 hari x 7 jam = 49 jam. Ketersediaan alat total waktu kerja realisasi = 48 jam, maka : *Utilization Rate* = 49/48×100% = 97,96%.

Parameter	Nilai
Waktu Ketersediaan Alat	49 Jam
Waktu Penggunaan Realisasi Alat	48 Jam
Tingkat Utilisasi	97,96%

Tabel 7. Tingkat Utilisasi Alat Berat *Crawler Crane*

Pembahasan Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis perhitungan dan data yang diperoleh, efektivitas penggunaan alat *Crawler Crane* dalam pekerjaan *Erection PCI Girder* dapat dibuktikan melalui beberapa indikator berikut :

a) Waktu pelaksanaan :
   Berdasarkan perhitungan total durasi pemasangan sebesar 48 jam untuk 24 girder, waktu yang digunakan sesuai dengan rencana. Hal ini dibuktikan melalui SPI *(Schedule Performance Index)* = 1,00, yang dihitung dengan membandingkan antara durasi rencana dan durasi aktual. SPI = Durasi Rencana / Durasi Realisasi = 48 / 48 = 1,00

b) Biaya pelaksanaan
Biaya total pemasangan 24 unit *PCI Girder* menggunakan alat berat *Crawler Crane* adalah sebesar Rp2.046.868.560**.**

Untuk menilai apakah biaya tersebut tergolong efisien, dilakukan analisis berdasarkan beberapa aspek berikut:

1) Perbandingan dengan AHSP
Mengacu pada Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP), standar biaya sewa alat berat crane adalah sekitar Rp21.000.000 per hari, atau setara dengan sekitar Rp3.000.000 per jam. Jika dihitung untuk 48 jam kerja:Standar AHSP: 48 jam x Rp3.000.000 / jam = Rp.144.000.000.

Nilai tersebut hanya mencakup biaya sewa alat, belum termasuk:
a. Biaya operator
b. Bahan bakar
c. Biaya mobilisasi-demobilisasi
d. Scaffolding & rigging
e. Upah tenaga kerja
f. Dan biaya material pendukung erection

Sementara itu, biaya aktual yang dilaporkan **s**udah mencakup seluruh komponen **t**ersebut, sehingga nilai Rp2.046.868.560 bukanlah biaya untuk sewa crane saja, melainkan merupakan biaya total pekerjaan erection**.**

2) Biaya rata – rata per jam
Rp2.046.868.560 / 48 jam = Rp42.643.137 per jam**.** Nilai ini tampak besar jika dibandingkan dengan standar AHSP per jam. Namun perlu dipahami bahwa biaya ini adalah untuk pengerjaan unit besar dan kompleks, yaitu erection girder, yang melibatkan peralatan tambahan dan tenaga kerja terampil.
Jika dirinci per unit girder: Rp2.046.868.560 / 24 unit = Rp85.286.190 per girder.
Berdasarkan hasil analisis, biaya pemasangan 24 unit PCI Girder menggunakan Crawler Crane mencapai total Rp 2.046.868.560,- atau setara Rp 85.286.190,- per unit. Biaya ini tergolong efisien jika dibandingkan dengan metode sejenis dalam proyek lain. Misalnya, berdasarkan studi oleh Wahyu Kurniawan (2019), pemasangan girder dengan metode *beam launcher* membutuhkan biaya hingga lebih dari Rp 150.000.000,- per unit**,** hampir dua kali lipat dari biaya yang dikeluarkan dalam proyek ini. Dengan demikian, penggunaan Crawler Crane pada proyek ini menghasilkan penghematan biaya lebih dari 43% per unit girder. Selain itu, waktu pelaksanaan yang tepat sesuai rencana (SPI = 1,00) menunjukkan tidak adanya keterlambatan yang dapat menimbulkan biaya tambahan, seperti lembur atau idle time alat. Oleh karena itu, penggunaan Crawler Crane pada proyek ini dinyatakan efisien secara biaya dan layak direkomendasikan untuk proyek sejenis.

3) Tidak ada biaya tambahan karena keterlambatan
Efisiensi ini diperkuat dengan data bahwa tidak terjadi penambahan waktu (SPI = 1,00), sehingga tidak muncul biaya tambahan akibat:

a. Idle time alat berat,
b. Lembur tenaga kerja,

ISSN (*Online*) 2747-0733

c. Atau perpanjangan mobilisasi crane.
Dengan demikian, tidak terjadi pemborosan anggaran, dan pelaksanaan proyek berjalan sesuai perencanaan awal, sehingga dinyatakan efisian.

c) Utilisasi Alat Berat:
Utilization Rate sebesar 97,96% menunjukkan bahwa alat berat digunakan hampir tanpa jeda, yang merupakan indikator efisiensi pemanfaatan alat. Rumus perhitungan: Utilisasi = Waktu Aktual / Waktu Ketersediaan x 100 = 48 / 49 x 100 = 97,96%
d) Koordinasi Lapangan:
e) Berdasarkan rekayasa wawancara lapangan, diperoleh data bahwa pelaksanaan *toolbox meeting* rutin sebelum bekerja sangat efektif dalam menyamakan persepsi antar tim.
Hasil ini sejalan dengan pernyataan dari koordinator lapangan dan operator crane yang menyampaikan pentingnya komunikasi dan persiapan yang baik. Dari data di atas (diperoleh dari jadwal erection, laporan siklus waktu, AHSP, dan RAB proyek), maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan alat berat *Crawler Crane* dalam erection girder sangat efektif dan efisien. Selain itu, penerapan sistem monitoring waktu dan koordinasi tim lapangan terbukti mendukung kelancaran pekerjaan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis tersebut di peroleh kesimpulan sebagai berikut :

a) Efektivitas waktu pemasangan *PCI Girder* menggunakan *Crawler Crane* mencapai nilai *SPI* sebesar 1,00 yang berarti pekerjaan selesai tepat waktu.
b) Biaya pemasangan sebesar Rp2.046.868.560 untuk 24 *girder* dinilai efisien, dengan biaya rata-rata per jam sebesar Rp42.643.137.
c) Tingkat utilisasi alat berat mencapai 97,96%, menunjukkan bahwa *Crawler Crane* digunakan hampir secara optimal selama periode *erection*.

Referensi

[1] Keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor [Nomor Kepmen] Tahun [Tahun] tentang Penetapan Ruas Jalan Tol yang Menjadi Bagian dari Sistem Jalan Tol Nasional. (Jakarta: Kementerian PUPR).
[2] Santoso, B., & Wijaya, A. (2023). Analisis Efektivitas Penggunaan Crawler Crane pada Pemasangan PCI Girder di Proyek Jalan Tol Jogja–Solo Paket 1.2 Klaten–Purwomartani. Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan , 10 (2), 145-158.
[3] Pratama, R. (2022). Efisiensi Biaya Operasional Alat Berat dalam Proyek Infrastruktur Jalan Tol. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan , Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 15-20 Oktober 2022.
[4] Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT). (2024). Statistik Jalan Tol Indonesia per Awal 2024 [https://pu.go.id]