



Optimalisasi Penempatan *Tower Crane* Pada Proyek Pembangunan Gedung Pascasarjana, Universitas Riau

^{1,*} Assyfa Salsabila, ² Rian Trikomara Iriana, ³ Sri Djuniati, ⁴ Mardani Sebayang, ⁵ Elianora
^{1,2,3,4,5} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kota Pekanbaru, 28131, Indonesia
Corresponding author: *assyfasalsabila50@gmail.com

Abstract

The increase in building and infrastructure development in Indonesia demands effectiveness and efficiency in construction projects, particularly in the selection and placement of heavy equipment such as tower cranes. This study focuses on optimizing the placement of a tower crane in the construction project of the Graduate Building of Universitas Riau, planned to have 6 floors with a height of 31.45 meters. The main issues include delays in structural progress and the tower crane being positioned close to the maximum jib reach, which decreases lifting speed and increases cycle time, ultimately raising operational costs. The research aims to find a placement that maximizes productivity and minimizes operational costs. The methods employed include direct observation and interviews. Observations were conducted on 20 columns at elevation 13.45 meters on the 3rd floor to determine the tower crane cycle time. Data analysis compared cycle times between the existing placement and two alternative placements. The study results indicate that the existing placement requires 598.195 hours with operational costs of Rp1,402,373,077.80, while alternative 7 requires 590.637 hours costing Rp1,389,917,824.27, and alternative 9 requires 606.393 hours costing Rp1,415,882,093.32. The time and cost difference between alternative 7 and the existing setup is 7.558 hours faster and Rp12,455,253.54 cheaper. Hence, the optimal position for the tower crane is alternative 7 at coordinates 764722.537; 53537.493. This placement demonstrates that a shorter distance between the tower crane and the supply point enhances productivity and reduces operational costs.

Keywords: tower crane, placement optimization, productivity, operational costs, construction project.

Abstrak

Peningkatan pembangunan gedung dan infrastruktur di Indonesia menuntut efektivitas dan efisiensi dalam proyek konstruksi, terutama dalam pemilihan dan penempatan alat berat seperti *tower crane*. Penelitian ini berfokus pada optimalisasi penempatan *tower crane* pada proyek pembangunan Gedung Pascasarjana Universitas Riau yang direncanakan memiliki 6 lantai dengan tinggi 31,45 meter. Permasalahan utama yang dihadapi adalah keterlambatan progres pekerjaan struktur dan jarak *tower crane* ke titik supply terjauh mendekati jarak maksimum jib yang digunakan, sehingga menurunkan kecepatan angkat dan menambah waktu siklus, yang pada akhirnya meningkatkan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan menemukan titik penempatan *tower crane* yang memberikan produktivitas maksimal dan biaya operasional minimal. Metode yang digunakan adalah pengamatan langsung dan wawancara. Pengamatan dilakukan pada 20 kolom pada lantai 3 elevasi 13,45 m untuk mendapatkan waktu siklus *tower crane*. Data yang diperoleh dianalisis untuk menentukan waktu siklus *tower crane* pada penempatan eksisting dan dua alternatif penempatan lainnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu pelaksanaan untuk penempatan eksisting adalah 598,195 jam dengan biaya operasional Rp1.402.373.077,80 alternatif 7 membutuhkan 590,637 jam dengan biaya Rp1.389.917.824,27 dan alternatif 9 membutuhkan 606,393 jam dengan biaya Rp1.415.882.093,32. Selisih waktu dan biaya antara alternatif 7 dengan eksisting adalah 7,558 jam lebih cepat dan Rp12.455.253,54 lebih murah. Dengan demikian, posisi optimal untuk penempatan *tower crane* adalah pada alternatif 7 dengan koordinat 764722.537; 53537.493. Penempatan ini membuktikan bahwa jarak antara *tower crane* dengan titik supply yang lebih dekat meningkatkan produktivitas dan menurunkan biaya operasional.

Kata kunci: tower crane, optimalisasi penempatan, produktivitas, biaya operasional, proyek konstruksi.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 10-07-2024 | Selesai Revisi: 281-10-2024 | Diterbitkan Online: 01-11-2024

1. Pendahuluan

Semakin meningkat dan masifnya pembangunan gedung dan infrastruktur di Indonesia menjadi modal penting untuk mendorong Indonesia keluar dari perangkap sebagai negara berkembang [1]. Urgensi keberlanjutan pembangunan gedung dan infrastruktur ini penting untuk mendorong aktivitas ekonomi, sosial, dan pendidikan yang diharapkan dapat meningkatkan kualitas hidup, mengurangi kesenjangan ekonomi dan sosial, menciptakan konektivitas antar wilayah, menurunkan biaya logistik, dan mengurangi ketimpangan sosial.

Proyek adalah suatu kegiatan dalam waktu yang terbatas dengan menggunakan sumber daya tertentu dan dilakukan untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan dengan jelas [2]. Keberhasilan proyek konstruksi bergantung pada efektivitas dan efisiensi pelaku konstruksi dalam memilih metode pelaksanaan serta alat konstruksi yang tepat [3], untuk memastikan pekerjaan tepat mutu, tepat waktu, dan tepat biaya.

Alat berat adalah alat yang berfungsi memudahkan pekerjaan manusia yang dalam proses konstruksi bertujuan untuk mempermudah dan mempercepat proses konstruksi [4]. Penggunaan alat berat yang tidak tepat dengan kondisi dan situasi proyek dapat mempengaruhi pada produktivitas alat dan target kontrak proyek konstruksi [5].

Proyek pembangunan Gedung Pascasarjana Universitas Riau direncanakan memiliki 6 lantai dengan tinggi bangunan 31,45 meter. Keterbatasan luas lahan dan kebutuhan pembangunan yang meningkat menjadi salah satu pertimbangan dalam pemilihan alat berat.

Dalam pembangunan konstruksi gedung bertingkat, penggunaan *tower crane* menjadi suatu keharusan.

Tower crane adalah suatu alat bantu mobilisasi untuk memindahkan material secara vertikal maupun horizontal dari satu tempat ke tempat yang lebih tinggi dengan ruang gerak yang terbatas [6]. *Tower crane* memiliki kapasitas angkut yang tinggi, sehingga dapat mengangkat dan menurunkan material dalam kapasitas besar serta dapat ditambah ketinggiannya sesuai dengan bangunan rencana [7]. Penempatan *Tower crane* harus memperhatikan letak dan posisi pada lahan yang tersedia di lapangan serta jangkauan jib *tower crane* tersebut [8]. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi tenaga kerja dan mengurangi kebutuhan metode manual serta peralatan angkut yang relatif lebih kecil. Selain itu, *tower crane* dapat mengoptimalkan jadwal proyek secara keseluruhan, serta mempercepat waktu penyelesaian proyek konstruksi.

Proyek pembangunan Gedung Pascasarjana menggunakan *tower crane* tipe Comedil CT651 dengan panjang lengan jib 65 meter. *Tower crane* pada proyek ini memiliki jarak 62,5 meter dari titik supply terjauh yaitu supply baja tulangan. Jarak yang mendekati maksimal lengan jib *tower crane* ini tentunya membuat produktivitas *tower crane* berkurang. Selain itu, progres pekerjaan struktur yang beberapa kali terlambat membuat pihak kontraktor menambah waktu kontrak *tower crane* dari 2 bulan (19 Januari 2023 - 31 Maret 2023) menjadi 5 bulan (19 Januari 2023 - 7 Juni 2023). Progres pekerjaan struktur pada 2 bulan pertama penggunaan *tower crane* hingga pekerjaan struktur lantai 3, dan 3 bulan

Informasi Artikel

setelahnya mencapai struktur lantai 6. Penurunan tingkat produktivitas yang tidak sebanding dengan biaya operasional menjadi masalah serius yang berdampak pada keterlambatan progres proyek dan biaya membengkak [9].

Penelitian ini merujuk pada beberapa penelitian sebelumnya terkait produktivitas dan efisiensi penggunaan *tower crane* terhadap waktu dan biaya yang telah lebih dahulu diteliti oleh beberapa peneliti sebelumnya, seperti pada penelitian Sakti dan Tjendani melakukan observasi lapangan dan analisis produktivitas serta biaya operasional *tower crane*, menghasilkan data spesifik mengenai produktivitas *tower crane* pada proyek Guest Hotel Nganjuk [10]. Penelitian Ardiansyah juga melakukan observasi lapangan untuk mengukur produktivitas dan biaya operasional *tower crane* Potain MD-559, yang memberikan wawasan penting tentang efisiensi alat berat di proyek konstruksi [11]. Penelitian Utari dan Afrida membandingkan efisiensi beberapa jenis *tower crane* di proyek Apartment Westown View [9], menunjukkan bahwa pemilihan alat yang tepat dapat mempengaruhi kecepatan penyelesaian pekerjaan dan biaya operasional. Ketiga penelitian ini memiliki kesamaan dalam mengevaluasi produktivitas dan biaya operasional *tower crane*, namun berbeda dalam jenis *tower crane* yang diteliti serta konteks proyek yang dianalisis. Penelitian ini melanjutkan pendekatan tersebut dengan fokus pada penempatan optimum *tower crane* untuk proyek pembangunan Gedung Pascasarjana Universitas Riau, untuk mencapai produktivitas maksimal dengan biaya operasional minimum.

2. Metode Penelitian

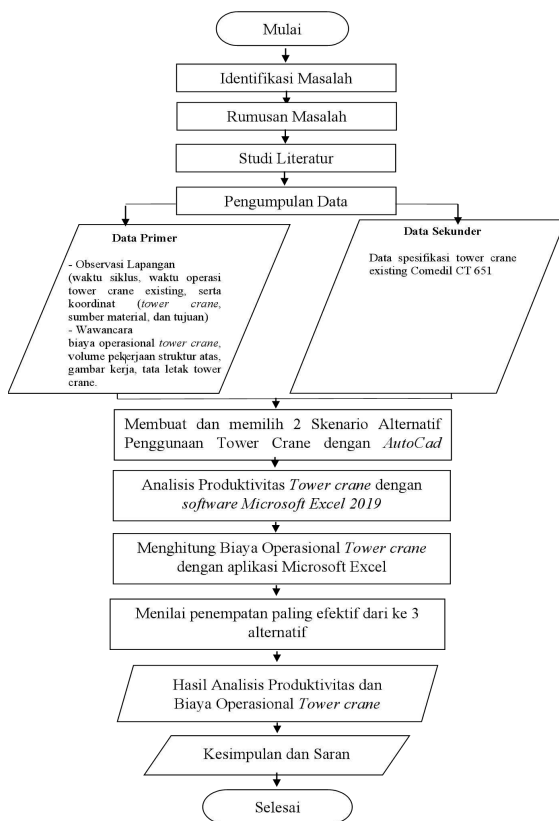
2.1. Metode, Jenis dan Rancangan Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah menggunakan metode pengamatan langsung (observasi) di lapangan dan wawancara. Proses pengamatan dilakukan pada pekerjaan struktur atas yaitu pada 20 kolom yang meliputi pengangkatan baja tulangan, bekisting, dan pengecoran pada lantai 3 elevasi 13,45 meter. Data waktu siklus *tower crane* existing tersebut diolah untuk mendapatkan waktu fix time yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan waktu siklus *tower crane* existing sesuai teori perhitungan dan 2 alternatif penempatan lainnya. Proses observasi dilakukan pada 8 hari kerja.

Jenis penelitian ini termasuk pada penelitian kuantitatif karena pada penelitian ini banyak menggunakan penggunaan angka, mulai dari pengumpulan data penelitian, penafsiran terhadap data serta penampilan terhadap hasilnya. Bagan alir (flowchart) penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. berikut.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 10-07-2024 | Selesai Revisi: 281-10-2024 | Diterbitkan Online: 01-11-2024



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

2.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Proyek Pembangunan Gedung Pascasarjana, Universitas Riau yang berlatar di Kampus Bina Widya KM. 12,5 Simpang Baru, Pekanbaru, Riau.

2.3. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dibagi menjadi data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang didapat langsung dari studi lapangan (Observasi dan wawancara). Observasi lapangan untuk mendapatkan waktu siklus, waktu operasi *tower crane*, serta koordinat *tower crane*, sumber material dan tujuan. Sedangkan wawancara untuk mendapatkan data biaya operasional *tower crane*, volume pekerjaan struktur atas, gambar kerja, dan hal

yang harus diperhatikan dalam penempatan *tower crane*.

Data Sekunder yang berupa data yang didapat dari pihak kedua berupa data spesifikasi *tower crane*.

2.4. Teknik Analisis Data

Hasil pengamatan yang diamati pada 20 kolom di lantai 3 elevasi 13,45 meter mendapatkan data waktu siklus *tower crane* eksisting. Dari data tersebut didapatkan waktu fix time *tower crane* (Waktu muat dan waktu bongkar) yang akan dipakai pada perhitungan *tower crane* berdasarkan teori.

Waktu Siklus diperoleh sesuai pergerakan *hoisting, slewing, trolleying, dan landing* [12]. Waktu siklus *tower crane* dapat dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

Waktu Tempuh Vertikal (Tv)

$$Tv = \frac{Dv}{Vv} \quad (1)$$

dengan Tv adalah waktu tempuh vertikal (menit), Dv adalah jarak tempuh vertikal (m), dan Vv adalah kecepatan hoist/landing Tc (m/menit)

Waktu Tempuh Horizontal (Th)

$$Th = \frac{Dh}{Vh} \quad (2)$$

dengan Th adalah waktu tempuh horizontal (menit), Dh adalah jarak tempuh horizontal (m), dan Vh adalah kecepatan trolley Tc (m/menit)

Waktu Tempuh Rotasi

$$Tr = \frac{Dr}{Vr} \quad (3)$$

dengan Tr adalah waktu tempuh rotasi (menit), Dr adalah jarak tempuh rotasi (rad/°), dan Vr

Informasi Artikel

adalah kecepatan slewing T_c (rad/menit atau °/menit)

Jarak Tempuh Vertikal

$$D_v = HLT - HSB + H_0 \quad (4)$$

dengan D_v adalah jarak tempuh vertikal (m), HLT adalah elevasi lantai tujuan (m), HSB adalah elevasi sumber bahan (meter), dan H_0 adalah tinggi penambahan (m).

Jarak Tempuh Horizontal

$$D_h = |D_2 - D_1| \quad (5)$$

$$D_1 = \sqrt{(Y_{tc} - Y_s)^2 + (X_s - X_{tc})^2} \quad (6)$$

$$D_2 = \sqrt{(Y_{tc} - Y_d)^2 + (X_d - X_{tc})^2} \quad (7)$$

dengan D_h adalah jarak tempuh horizontal (m), D_1 adalah jarak *tower crane* dengan bahan (m), D_2 adalah jarak *tower crane* dengan lokasi tujuan (meter), Y_{tc} adalah koordinat Y *tower crane*, X_{tc} adalah koordinat X *tower crane*, Y_s adalah koordinat Y *supply* (sumber), X_s adalah koordinat X *supply* (sumber), Y_d adalah koordinat Y *demand* (tujuan), X_d adalah koordinat X *demand* (tujuan)

Jarak Tempuh Rotasi

$$D_r = a \quad (8)$$

$$a = \arccos \left\{ \frac{D_1^2 + D_2^2 - D_3^2}{2 \times D_1 \times D_2} \right\} \quad (9)$$

$$D_3 = \sqrt{(Y_s - Y_d)^2 + (X_s - X_d)^2} \quad (10)$$

dengan D_r adalah jarak tempuh rotasi (rad/°), A adalah sudut antara sumber bahan, t_c , dan lokasi tujuan (rad/°), D_3 adalah jarak sumber bahan ke lokasi tujuan (meter), D_2 adalah jarak *tower crane* dengan sumber material (meter), D_1 adalah jarak *tower crane* dengan lokasi tujuan (meter)

Waktu Siklus Total

Waktu Siklus = waktu pemasangan + waktu angkat + waktu bongkar + waktu kembali

Produktivitas

$$Q = q \times \frac{60}{CT} \times E \quad (11)$$

dengan Q adalah produksi per jam/Produktivitas (m³/jam, m²/jam, kg/jam), q adalah produksi persiklus/ Kapasitas (m³, m², kg), CT adalah waktu siklus (menit), dan E adalah efisiensi Kerja (0,75). Nilai efisiensi kerja dipakai 0,75 dengan asumsi pemeliharaan mesin dan kondisi operasi dalam keadaan baik [13].

Biaya Operasional *Tower crane*

Biaya Operasional *Tower crane* adalah biaya yang harus dikeluarkan untuk penggunaan *tower crane* yang dapat dihitung menggunakan rumus berikut [6]:

Bahan Bakar

Kebutuhan bahan bakar

$$= FOM \times FW \times PBB \times PK \quad (12)$$

dengan FOM adalah faktor operasi mesin yaitu diasumsikan 0,8 (asumsi mesin bekerja 80%), FW adalah faktor waktu kerja efektif yaitu 0,83 (kondisi baik), PBB adalah kondisi standar pemakaian bahan bakar yang dalam hal ini digunakan solar dengan 0,2liter/horsepower/jam, dan PK adalah standar mesin (KVA).

Biaya Pelumas

$$G = \left(\frac{DK}{195,5} + \frac{C}{T} \right) \quad (13)$$

dengan G adalah banyaknya minyak pelumas yang digunakan, DK adalah daya kuda standar mesin (KVA) yang dalam hal ini digunakan 250 KVA, C adalah kapasitas carter mesin (liter), F adalah faktor pengoperasian (0,8 x 0,83), dan T adalah selang waktu pergantian (42 jam)

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 10-07-2024 | Selesai Revisi: 281-10-2024 | Diterbitkan Online: 01-11-2024

Biaya Operator

Biaya Operator

$$= \frac{\text{Biaya Operator}}{\text{Jumlah jam kerja dalam 1 bulan}} \quad (14)$$

Biaya operasional *tower crane* lainnya yaitu berupa biaya sewa *tower crane*, biaya mobilisasi- demobilisasi, biaya pondasi *tower crane*, biaya angkut, biaya sewa genset, biaya erection, biaya dismantle.

3. Hasil dan Pembahasan

Spesifikasi *Tower crane*

Penelitian ini menggunakan *tower crane* tipe Comedil CT 651 dengan Jib 65 meter.

Spesifikasi *tower crane* tipe Comedil CT 651 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *Tower crane* CT 651

Parameter	Nilai
Kecepatan Hoisting	40-88 m/menit
Kecepatan Slewing	0,64 rpm
Kecepatan Trolley	30-60 m/menit

(Sumber : Browser Spesifikasi *Tower crane* CT651)

Data Volume Pekerjaan

Data volume pekerjaan yang akan diangkut oleh *tower crane* yaitu berupa pengecoran, baja tulangan, dan bekisting. Data pekerjaan pengecoran hanya dihitung pada pekerjaan kolom saja, karena pekerjaan balok dan plat pada umumnya tidak menggunakan *tower crane* saat pengecoran. Data rekap volume pekerjaan perantai dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Volume rekap pekerjaan per lantai Gedung Pascasarjana

No	Keterangan	Volume Pekerjaan		
		Beton m3	Baja Tulangan kg	Bekisting m2
1	Elv+4,45	132,750	106.079,055	3.395,253
2	Elv+8,95	132,750	102.332,365	3.252,140
3	Elv+13,45	110,070	101.361,849	3.280,525
4	Elv+17,95	110,070	80.985,421	3.086,645
5	Elv+22,45	79,560	68.000,370	2.679,110
6	Elv+26,95	21,960	36.720,557	1.385,795
7	Elv 31,45	0,000	6.204,373	269,500
8	Tangga Pekerjaan	31,054	6.720,032	188,700
9	Talang Pekerjaan	24,624	3.513,741	257,952
10	Parapet	75,348	6.828,111	573,810

(Sumber: Data RAB PT. Nindya Karya, 2023)

Penempatan *Tower crane* Alternatif

Skenario penempatan alternatif dipilih merujuk pada panjang jib (65 m) dan *feasible area* (area kerja yang layak). Kondisi eksisting *tower crane* dengan radius *tower crane* 65 m dapat dilihat pada Gambar 2. berikut.



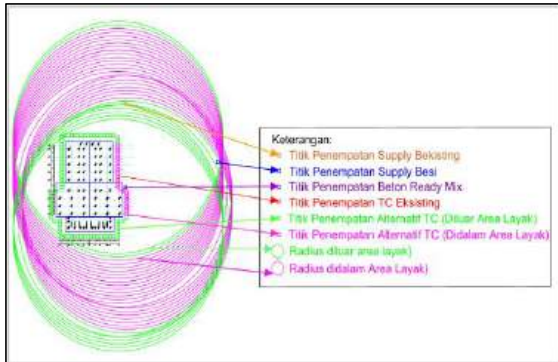
Gambar 2. Kondisi eksisting penempatan *tower crane* radius 65 m

Penempatan *tower crane* alternatif disimulasikan dengan mengambil jarak 5 meter dari tepi bangunan sesuai dengan jarak tc eksisting ke bangunan serta diambil jarak per 2 meter di sekeliling bangunan. Keliling bangunan pascasarjana adalah 174,5 meter, maka didapatlah titik penempatan *tower crane* sebanyak kurang lebih 90 titik. Setelah disimulasikan dengan jib 65 meter

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 10-07-2024 | Selesai Revisi:281-10-2024 | Diterbitkan Online: 01-11-2024

didapatkanlah 20 titik alternatif yang memenuhi area layak yang dapat menjangkau seluruh supply dan demand bangunan yang dapat dilihat pada Gambar 3. berikut.



Gambar 3. Simulasi tower crane

Dari 20 titik alternatif yang masuk dalam feasible area, selanjutnya dipilih 2 alternatif berdasarkan jarak terdekat dan terjauh dari titik supply terjauh. Titik supply terjauh adalah supply baja tulangan dengan koordinat (764666,138 ; 53520,533) yang dapat dihitung sebagai berikut.

$$D_1 = \sqrt{(Y_{tc} - Y_s)^2 + (X_s - X_{tc})^2}$$

$$= \sqrt{(53549,492 - 53520,533)^2 + (764666,138 - 764722,5366)^2}$$

$$D_1 = 63,399 \text{ m}$$

Perhitungan untuk 19 titik lagi dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Jarak titik tower crane alternatif ke supply baja tulangan

KET	X	Y	D1 (meter)
Alternatif 1	764722,537	53549,493	63,399
Alternatif 2	764722,537	53547,493	62,511
Alternatif 3	764722,537	53545,493	61,675
Alternatif 4	764722,537	53543,493	60,893
Alternatif 5	764722,537	53541,493	60,168
Alternatif 6	764722,537	53539,493	59,500
Alternatif 7	764722,537	53537,493	58,894
Alternatif 8	764725,345	53536,764	61,392

KET	X	Y	D1 (meter)
Alternatif 9	764728,103	53534,766	63,579
Alternatif 10	764728,103	53532,766	63,161
Alternatif 11	764728,103	53530,766	62,804
Alternatif 12	764728,103	53526,784	62,279
Alternatif 13	764728,103	53524,784	62,111
Alternatif 14	764728,103	53522,784	62,006
Alternatif 15	764728,103	53520,784	61,966
Alternatif 16	764728,103	53518,784	61,990
Alternatif 17	764728,103	53516,784	62,078
Alternatif 18	764728,103	53514,784	62,231
Alternatif 19	764728,103	53512,784	62,448
Alternatif 20	764728,103	53510,784	62,727
Jarak maksimum			63,579
Jarak minimum			58,894

(Sumber : Perhitungan, 2024)

Waktu Siklus Tower crane

Waktu fix time yang didapat dari observasi lapangan akan digunakan untuk menghitung waktu siklus secara teori. Waktu fix time dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 3. Waktu Fix Time Tower crane Eksisting

Baja Tulangan	Waktu Muat (Menit)		Waktu Bongkar (Menit)	
	Bekisting	Beton	Baja Tulangan	Bekisting
	3,424	4,013	5,541	4,936
				7,779

(Sumber : Perhitungan, 2024)

Penentuan Jarak Tempuh Tower crane

Penentuan jarak tempuh tower crane dicontohkan pada perhitungan jarak tempuh tower crane eksisting pada kolom As A11 berikut.

Koordinat Demand = (764727,553 ; 53549,822)

Koordinat TC = (764728,103 ; 53528,784)

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 10-07-2024 | Selesai Revisi: 281-10-2024 | Diterbitkan Online: 01-11-2024

Koordinat Supply = (764666,138 ; 53520,533)

Jarak *Tower crane* ke Supply

$$D_1 = \sqrt{(Y_{tc} - Y_s)^2 + (X_s - X_{tc})^2}$$

$$= \sqrt{(53528,784 - 53520,533)^2 + (764666,138 - 764728,103)^2}$$

$$D_1 = 62,512 \text{ m}$$

Jarak *Tower crane* ke Demand

$$D_2 = \sqrt{(Y_{tc} - Y_d)^2 + (X_d - X_{tc})^2}$$

$$= \sqrt{(53528,784 - 53549,822)^2 + (764727,553 - 764728,103)^2}$$

$$D_2 = 21,046 \text{ m}$$

Jarak Supply ke Demand

$$D_3 = \sqrt{(Y_s - Y_d)^2 + (X_s - X_d)^2}$$

$$= \sqrt{(53520,533 - 53549,822)^2 + (764666,138 - 764727,553)^2}$$

$$D_3 = 63,042 \text{ m}$$

Jarak Trolley / Jarak Horizontal

$$D_h = |D_2 - D_1|$$

$$D_h = |21,046 - 62,512|$$

$$D_h = 41,466 \text{ m}$$

Sudut Slewing

$$a = \arccos \left\{ \frac{D_1^2 + D_2^2 - D_3^2}{(2 \times D_1 \times D_2)} \right\}$$

$$a = \arccos \left\{ \frac{62,512^2 + 21,046^2 - 63,042^2}{(2 \times 62,512 \times 21,046)} \right\}$$

$$a = 1,677 \text{ rad}$$

$$a = 1,677 \text{ rad} \times \frac{180}{\pi}$$

$$a = 96,086^\circ$$

Waktu Pergi dan Kembali *Tower crane*

Waktu Pergi *Tower crane* pada kolom As A11

Hoisting (Angkat)

Kecepatan Hoist (V_v) = 40 m/menit

Jarak tempuh vertikal (D_v) = 17,45 m

$$T_v = \frac{D_v}{v_v} = \frac{17,5 \text{ m}}{40 \text{ m/menit}}$$

$$T_v = 0,438 \text{ menit}$$

Slewing (Putar)

Kecepatan Slewing (V_r)

$$= 0,64 \text{ rpm} / 230,4^\circ / \text{menit}$$

Jarak tempuh vertikal (D_r) = 96,086°

$$T_r = \frac{D_r}{V_r} = \frac{96,086^\circ}{230,4^\circ / \text{menit}}$$

$$T_r = 0,417 \text{ menit}$$

Trolley (Maju Mundur)

Kecepatan Trolley (V_h) = 30 m/menit

Jarak tempuh horizontal (D_h) = 41,466 m

$$T_h = \frac{D_h}{V_h} = \frac{41,466 \text{ m}}{30 \text{ m/menit}}$$

$$T_h = 1,382 \text{ menit}$$

Landing (Turun)

Kecepatan landing (V_v) = 40 m/menit

Jarak tempuh vertikal (D_v) = 4 m

$$T_v = \frac{D_v}{v_v} = \frac{4 \text{ m}}{40 \text{ m/menit}}$$

$$T_v = 0,100 \text{ menit}$$

Waktu kembali pekerjaan pengangkatan baja tulangan kolom As A11

Hoisting (Angkat)

Kecepatan Hoist (V_v) = 88 m/menit

Jarak tempuh vertikal (D_v) = 4 m

$$T_v = \frac{D_v}{v_v} = \frac{4 \text{ m}}{88 \text{ m/menit}}$$

$$T_v = 0,045 \text{ menit}$$

Slewing (Putar)

Kecepatan Slewing (V_r) = 0,64 rpm / 230° per menit

Jarak tempuh vertikal (D_r) = 96,086°

$$T_r = \frac{D_r}{V_r} = \frac{96,086^\circ}{230,4^\circ / \text{menit}}$$

$$T_r = 0,417 \text{ menit}$$

Trolley (Maju Mundur)

Kecepatan Trolley (V_h) = 60 m/menit

Jarak tempuh horizontal (D_h) = 41,466 m

Informasi Artikel

$$T_h = \frac{D_h}{V_h} = \frac{41,466 \text{ m}}{60 \text{ m/menit}}$$

$$T_h = 0,692 \text{ menit}$$

Landing (Turun)

Kecepatan landing (V_v) = 88 m/menit

Jarak tempuh vertikal (D_v) = 17,5 m

Total waktu angkat

= Hoisting + Slewing + Trolley + Landing

= 0,045 menit + 0,417 menit + 0,692 menit +

0,199

= 1,353 menit

Perhitungan Waktu Siklus Total

Contoh perhitungan waktu siklus total pada pengangkatan baja tulangan kolom As A11 oleh *tower crane* eksisting pada lantai 3 elevasi 13,45 m adalah sebagai berikut.

Waktu angkat = 2,337 menit

Waktu kembali = 1,352 menit

Waktu muat = 3,444 menit

Waktu bongkar = 5,541 menit

Waktu siklus total

= Waktu angkat + waktu kembali + waktu muat + waktu bongkar

= 2,337 menit + 1,352 menit + 3,444 menit +

5,541 menit

= 12,674 menit

Produktivitas dan Waktu Pelaksanaan

Produksi satu siklus adalah volume material yang akan diangkat menggunakan *Tower crane* dalam satu kali pengangkatan [14].

Untuk produksi persiklus pekerjaan *Tower crane* dapat dilihat pada Tabel 4. berikut.

Tabel 4. Produksi per siklus *Tower crane*

No	Pekerjaan	Produksi	Satuan
1	Pengecoran	0,8	m ³
2	Baja Tulangan	500	Kg
3	Bekisting	300	m ²

(Sumber : Nainggolan, 2022)

Contoh perhitungan produktivitas dan waktu pelaksanaan *Tower crane* untuk pekerjaan pengangkatan baja tulangan kolom pada lantai 3 elevasi 13,45 m adalah sebagai berikut:

Volume = 29.298,23 kg

Produktivitas per siklus (q) = 500 kg

Waktu Siklus (CT) = 12,782 menit

Faktor Efisiensi (E) = 0,75

Produktivitas

$$= q \times \frac{60}{CT} \times E$$

$$= 500 \times \frac{60}{12,782} \times 0,75$$

= 1.760,231 kg/jam

Waktu Pelaksanaan

$$= \frac{\text{Volume}}{\text{Produktivitas}}$$

$$= \frac{29.298,23 \text{ kg}}{1.760,231 \text{ kg/jam}}$$

= 16,645 jam / 2,081 hari

Total waktu pelaksanaan *tower crane* dapat dilihat pada Tabel 5. Berikut.

Tabel 5. Uraian Total Waktu Pelaksanaan

No	Keterangan	Total		
		TC Eksisting	TC Alternatif 7	TC Alternatif 9
		Jam	Jam	Jam
1	Elv +4.45	116,361	114,830	117,916
2	Elv +8.95	114,118	112,635	115,656
3	Elv+13,45	104,471	103,026	105,819
4	Elv +17,95	92,740	91,563	94,006
5	Elv +22,45	72,769	71,796	73,729
6	Elv 26,95	30,802	30,299	31,147
7	Elv 31,45	3,741	3,660	3,769
8	Tangga Pekerjaan	16,455	16,333	16,738
9	Talang Pekerjaan	12,104	12,031	12,323
10	Parapet	34,635	34,464	35,288
TOTAL		598,195	590,637	606,393

(Sumber : Perhitungan, 2024)

Perhitungan Biaya Operasional *Tower crane*

Untuk mendapatkan biaya operasional *Tower crane*, diperlukan perhitungan sebagai berikut:

Biaya mobilisasi- demobilisasi

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 10-07-2024 | Selesai Revisi:281-10-2024 | Diterbitkan Online: 01-11-2024

= Rp. 75.000.000

Erection

= Rp. 70.000.000

Dismantle

= Rp. 70.000.000

Angkur

= Rp. 20.000.000

Pondasi

= Rp 181.591.819,60

Sewa *Tower crane*

= Rp 90.000.000,00/bulan

= Rp 3.000.000,00/hari

= Rp 375.000,00/jam

Sewa Genset

= Rp 25.000.000,00/bulan

= Rp 833.333,33/hari

= Rp 104.166,67/jam

Operator

= Rp 18.000.000,00/bulan

= Rp 600.000,00/hari

= Rp 75.000,00 /jam

Bahan Bakar

Harga bahan bakar (Solar industri) =

Rp24.750,00/liter

Kebutuhan bahan bakar

= FOM x FW x PBB x PK

= 0,8 x 0,83 x 0,2 x 250

= 33,2 liter/jam

Maka kebutuhan bahan bakar per jam adalah=

Kebutuhan bahan bakar x harga bahan bakar

= 33,2 liter/jam x 24.750,00 / liter

= Rp 821.700,00/ Jam

Pelumas (Oli)

Harga pelumas = Rp 40.000,00 /liter

Kebutuhan pelumas sebagai berikut.

$$G = \left(\frac{\left(\frac{DK}{f} \right) + C}{T} \right)$$

$$G = \left(\frac{\left(\frac{250}{0,664} \right) + 250}{195,5 + 42} \right)$$

G= 6,801 liter/jam

Maka kebutuhan pelumas x harga pelumas per liter adalah:

= 6,801 liter/ jam x Rp 40.000,00/liter

= Rp 272.059,43/jam

Untuk mengetahui total biaya operasional *Tower crane* dapat dilihat pada Tabel 6 sampai dengan Tabel 8 sebagai berikut.

Tabel 6. Total Biaya Operasional *Tower crane* Eksisting

Total Biaya Penggunaan Tower Crane Eksisting					
No	Keterangan	Volume	Satuan	Harga satuan	Total
				Rp	Rp
1	Mob-Demob	1	Ls	Rp75.000.000,00	Rp75.000.000,00
2	Erection	1	Ls	Rp70.000.000,00	Rp70.000.000,00
3	Dismantle	1	Ls	Rp70.000.000,00	Rp70.000.000,00
4	Angkur	1	Ls	Rp20.000.000,00	Rp20.000.000,00
5	Pondasi	1	Ls	Rp181.591.819,60	Rp181.591.819,60
6	Sewa Tc	598,195	Jam	Rp375.000,00	Rp224.323.148,97
7	Sewa Genset	598,195	Jam	Rp104.166,67	Rp62.311.985,82
8	Operator	598,195	Jam	Rp75.000,00	Rp44.864.629,79
9	Bahan Bakar	598,195	Jam	Rp821.700,00	Rp491.536.884,02
10	Pelumas (Oli)	598,195	Jam	Rp272.059,43	Rp162.744.609,60
TOTAL					Rp1.402.373.077,80

(Sumber : Perhitungan, 2024)

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 10-07-2024 | Selesai Revisi:281-10-2024 | Diterbitkan Online: 01-11-2024

Tabel 7. Total Biaya Operasional *Tower crane* Alternatif 7

Total Biaya Penggunaan Tower Crane Alternatif 7					
No	Keterangan	Volume	Satuan	Harga satuan	Total
				Rp	Rp
1	Mob-Demob	1	Ls	Rp75.000.000,00	Rp75.000.000,00
2	Erection	1	Ls	Rp70.000.000,00	Rp70.000.000,00
3	Dismantle	1	Ls	Rp70.000.000,00	Rp70.000.000,00
4	Angkur	1	Ls	Rp20.000.000,00	Rp20.000.000,00
5	Pondasi	1	Ls	Rp181.591.819,60	Rp181.591.819,60
6	Sewa Tc	590,637	Jam	Rp375.000,00	Rp221.488.847,07
7	Sewa Genset	590,637	Jam	Rp104.166,67	Rp61.524.679,74
8	Operator	590,637	Jam	Rp75.000,00	Rp44.297.769,41
9	Bahan Bakar	590,637	Jam	Rp821.700,00	Rp485.326.361,70
10	Pelumas (Oli)	590,637	Jam	Rp272.059,43	Rp160.688.346,75
TOTAL					Rp1.389.917.824,27

(Sumber : Perhitungan, 2024)

Tabel 8. Total Biaya Operasional *Tower crane* Alternatif 9

Total Biaya Penggunaan Tower Crane Alternatif 9					
No	Keterangan	Volume	Satuan	Harga satuan	Total
				Rp	Rp
1	Mob-Demob	1	Ls	Rp75.000.000,00	Rp75.000.000,00
2	Erection	1	Ls	Rp70.000.000,00	Rp70.000.000,00
3	Dismantle	1	Ls	Rp70.000.000,00	Rp70.000.000,00
4	Angkur	1	Ls	Rp20.000.000,00	Rp20.000.000,00
5	Pondasi	1	Ls	Rp181.591.819,60	Rp181.591.819,60
6	Sewa Tc	606,393	Jam	Rp375.000,00	Rp227.397.243,63
	Sewa Genset	606,393	Jam	Rp104.166,67	Rp63.165.901,01
7	Operator	606,393	Jam	Rp75.000,00	Rp45.479.448,73
	Bahan Bakar	606,393	Jam	Rp821.700,00	Rp498.272.840,24
9	Pelumas (Oli)	606,393	Jam	Rp272.059,43	Rp164.974.840,12
TOTAL					Rp1.415.882.093,32

(Sumber : Perhitungan, 2024)

Perbandingan Produktivitas dan Biaya Operasional

Perbandingan produktivitas yang dinyatakan dalam waktu pelaksanaan *tower crane* serta biaya operasional antara *tower crane* eksisting dan *tower crane* alternatif dapat dilihat pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Perbandingan waktu pelaksanaan dan biaya operasional

Keterangan	Perbandingan		
	Tc Eksisting	Tc Alternatif 7	Tc Alternatif 9
Waktu Pelaksanaan (Jam)	598,195	590,637	606,393
Biaya Operasional (Rupiah)	Rp1.402.373.077,80	Rp1.389.917.824,27	Rp1.415.882.093,32

(Sumber : Perhitungan, 2024)

Faktor – faktor yang menyebabkan Tc Alternatif 7 memiliki produktivitas yang tinggi (Durasi pekerjaan yang lebih singkat untuk menyelesaikan pekerjaan struktur atas) dan biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan dengan Tc eksisting dan Tc alternatif 7 adalah sebagai berikut :

1. Jarak ke area supply terjauh (supply baja tulangan) yang lebih singkat sehingga mengurangi waktu siklus setiap operasi pemindahan material dan meningkatkan produktivitas.
2. Biaya operasional yang lebih rendah dikarenakan waktu siklus Tc alternatif 7 lebih singkat, yang langsung berdampak pada pengurangan biaya operasional *tower crane*.

Berikut ini site lay out posisi Tc Eksisting, Tc Alternatif 7, Tc Alternatif 9, dan lokasi titik supply bekisting, baja tulangan, serta beton ready mix yang dapat dilihat pada Gambar 4. berikut :

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 10-07-2024 | Selesai Revisi:281-10-2024 | Diterbitkan Online: 01-11-2024



Gambar 4. Site lay out posisi Tc Eksisting, Tc Alternatif 7, Tc Alternatif 9, dan lokasi titik supply bekisting, baja tulangan, serta beton ready mix

4. Kesimpulan

Posisi optimum dengan produktivitas maksimum dan biaya minimum adalah pada penempatan *tower crane* alternatif 7 dengan koordinat 764722,537 ; 53537,493. Pada posisi ini, total waktu pelaksanaan berkurang menjadi 590,637 jam dengan biaya operasional sebesar Rp1.389.917.824,27, dibandingkan dengan *tower crane* eksisting yang memiliki durasi 598,195 jam dan biaya operasional Rp1.402.373.077,80. Ini berarti terjadi penurunan durasi sebesar 1,26% dan pengurangan biaya operasional sebesar 0,89%. Optimasi ini menunjukkan bahwa pemilihan posisi yang tepat bagi *tower crane* dapat memberikan penghematan dari segi waktu maupun biaya operasional proyek.

Daftar Rujukan

- [1] R. Wicaksono, "Pemilihan Free Standing Crane Berdasarkan Biaya Alat (Selection Of Free Standing Crane Based On Cranes Cost)," hal. 77, 2018.
- [2] I. A. Ahmad, "Analisis Produktivitas Dan Biaya Operasional *Tower crane* Pada Proyek Puncak Central Business District Surabaya," no. 1997, hal. 1–12, 2016.
- [3] G. wulandari Subagyo dan R. Tjondro, "Analisis Produktivitas *Tower crane* (Studi Kasus Proyek Bintaro Jaya Xchange Tahap II, Tangerang Selatan)," *Indones. J. Constr. Eng. Sustain. Dev.*, vol. 4, no. 2, hal. 108–118, 2021, doi: 10.25105/cesd.v4i2.12510.
- [4] W. Jaya dan A. Sutandi, "Analisis Produktivitas Alat Berat Mesin Bor Auger, Crawler Crane, Dan Excavator Pada Proyek a Dan B," *JMTS J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 2, no. 1, hal. 11, 2019, doi: 10.24912/jmts.v2i1.3030.
- [5] A. Kaprina, S. Winarto, dan Y. C. S. Purnomo, "Analisa Produktifitas Alat Berat Pada Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Syariah dan Ilmu Hukum IAIN Tulungagung," *J. Manaj. Teknol. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, hal. 1–11, 2018, doi: 10.30737/jurmateks.v1i1.136.
- [6] R. A. Pangestu, S. Utoyo, dan D. Lydianingtias, "Analisis Penggunaan *Tower crane* Untuk Pekerjaan Struktur Pada Proyek One Signature Gallery Surabaya," *J. JOS-MRK*, vol. 2, no. 2, hal. 27–34, 2021, doi: 10.55404/jos-mrk.2021.02.02.27-34.
- [7] L. Wijaya dan N. Bernard, "Program Perhitungan Waktu Siklus Pengoperasian," hal. 49–55, 2023.
- [8] N. N. Mahdiyah, D. Lidyaningtias, dan S. Susapto, "Perencanaa Penggunaan *Tower crane* Untuk Pekerjaan Struktur Proyek Apartemen Bess Mansion Surabaya," *J. JOS-MRK*, vol. 2, no. 3, hal. 202–209, 2021, doi: 10.55404/jos-mrk.2021.02.03.202-209.
- [9] R. P. Utari dan I. N. Afrida, "Analisis Perbandingan Efisiensi Produktivitas *Tower crane* Proyek Pembangunan Apartemen Di Surabaya Barat Comparative Analysis of *Tower crane* Productivity Efficiency Apartment Construction Project in West Surabaya," vol. 08, no. 01, hal. 28–43, 2023.
- [10] B. D. Sakti dan H. T. Tjendani, "Analisis Pengaruh Penempatan terhadap Produktivitas pada *Tower crane* Proyek Pembangunan Gedung Guest Hotel Nganjuk," vol. 7, no. 1, hal. 1–8, 2023.
- [11] A. R. Ardiansyah, M. Wijayaningtyas, dan Munasih, *Efektifitas penggunaan tower crane dengan metode perbandingan pada pembangunan gedung publik di kota malang*, vol. 5, 2023.
- [12] D. P. S.Amalia, "Analisis Produktivitas *Tower crane* Pada Proyek Pembangunan Gedung

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 10-07-2024 | Selesai Revisi:281-10-2024 | Diterbitkan Online: 01-11-2024

- Tunjungan Plaza 6 Surabaya,” *Rekayasa Tek. Sipil Vol.*, vol. 1, no. 1, hal. 144–155, 2017.
- [13] J. K. PUPR, “PERMEN PUPR RI NO 28/PRT/M/2016,” 2016.
- [14] D. C. Nainggolan, “Analisa Waktu dan Biaya Penggunaan *Tower crane* pada Proyek Pembangunan Gedung Parkir Masjid Agung Medan,” *Braz Dent J.*, vol. 33, no. 1, hal. 1–12, 2022.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 10-07-2024 | Selesai Revisi:281-10-2024 | Diterbitkan Online: 01-11-2024
