

ANALISIS PERBANDINGAN WAKTU PELAKSANAAN PEKERJAAN PENGECORAN MENGGUNAKAN TOWER CRANE DENGAN CONCRETE PUMP

Anak Agung Gde Agung Yana¹, I Putu Ari Sanjaya², I Putu Agus Arie Gunawan³, I Gusti Ngurah Oka Suputra⁴, dan Made Yani Anggreni⁵.

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana, Kampus Unud Bukit Jimbaran Badung Bali
e-mail: agungyana@unud.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana, Kampus Unud Bukit Jimbaran Badung Bali
e-mail: iputuarisanjaya@unud.ac.id

³Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana, Kampus Unud Bukit Jimbaran Badung Bali
e-mail: ariegnwn23@gmail.com

⁴Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana, Kampus Unud Bukit Jimbaran Badung Bali
e-mail: okasuputra@unud.ac.id

⁵Program Studi Teknik Sipil, Universitas Ngurah Rai, Jl. Padma Penatih Denpasar Bali
e-mail: yani.anggreni@unr.ac.id

ABSTRAK

Pemilihan alat yang tepat untuk melakukan pekerjaan konstruksi sangat dibutuhkan, agar pelaksanaan pekerjaan menjadi efektif dan efisien. Menggunakan alat yang tepat akan mempengaruhi biaya dan waktu. Pada proyek Pembangunan Gedung Kantor (DPMPTSP, Disnaker, Diskes Dan Capil) Kabupaten Gianyar menggunakan dua alat pada waktu melakukan pengecoran pelat lantai yaitu *tower crane* dan *concrete pump*. Kedua alat yang digunakan memiliki kelebihan dan kekurangan, yang mempengaruhi produktivitas pelaksanaan. Produktivitas alat akan mempengaruhi waktu dan biaya proyek konstruksi. Penelitian yang dilakukan di sini adalah mencari titik impas (*break event point*) waktu penggunaan alat *tower crane* dan *concrete pump* pada waktu pelaksanaan pengecoran pelat lantai. Metoda pelaksanaan yang dilakukan dengan melakukan pengamatan siklus pengecoran yang dilakukan oleh alat *concrete pump* dan *tower crane*. Dari pengamatan yang dilakukan akan diperoleh produktivitas masing-masing alat. Dengan menggunakan metoda regresi dan hasil pengamatan yang dilakukan, selanjutnya data pengamatan dianalisis untuk mencari persamaan regresi antara volume dan waktu pelaksanaan pekerjaan pengecoran menggunakan *tower crane* dan *concrete pump*. Persamaan regresi ini akan digunakan mencari waktu pelaksanaan pengecoran pada lantai 1, 2, dan atap serta titik impas (*break event point*) dari kedua alat yang digunakan untuk melakukan pengecoran pelat lantai pada gedung. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, untuk menyelesaikan pengecoran setiap 6 m³ pada lantai II, III dan Atap secara berurutan *tower crane* memerlukan waktu (0,208; 0,219; 0,400) jam sedangkan *concrete pump* membutuhkan waktu (0,138; 0,155; 0,216) jam. Untuk titik impas kedua alat tersebut pada lantai II, III dan Atap atas volume terhadap waktu adalah (4,926 m³; 0,1 jam), (5,011 m³; 0,121 jam), (3,149 m³; 0,116 jam). Hasil titik impas menunjukkan bahwa alat *tower crane* dibatasi hingga volume titik impas tertentu pada masing-masing lantai, setelah titik impas tersebut penggunaan *concrete pump* lebih menguntungkan dari segi dan waktu.

Kata kunci: waktu, pengecoran beton, *tower crane*, *concrete pump*, *break event*.

1. PENDAHULUAN

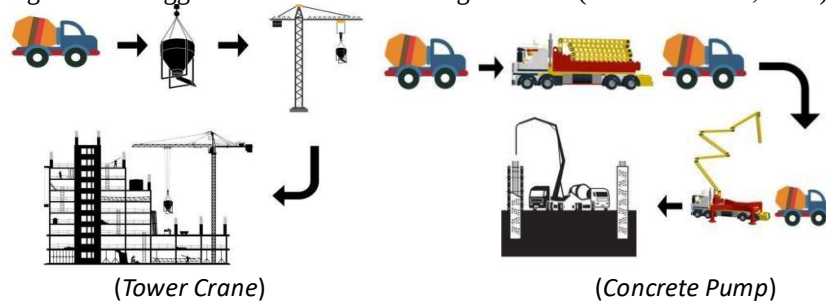
Perkembangan dan kemajuan teknologi yang pesat di bidang konstruksi membuat pembangunan hotel, mall, kantor dan sebagainya menjadi lebih mudah dikerjakan. Akibat hal tersebut menuntut perusahaan-perusahaan di bidang konstruksi untuk meningkatkan efektifitas dalam segala pekerjaan pada proyek konstruksi. Suatu perusahaan konstruksi harus mempunyai spesifikasi yang baik untuk bisa bersaing pada bidang konstruksi. Hal yang penting diperhatikan adalah pemilihan alat berat, pengendalian waktu serta pengawasan terhadap mutu bahan agar sesuai dengan spesifikasi awal yang telah direncanakan. Jenis peralatan, jumlah dan kapasitas alat yang akan digunakan merupakan faktor yang sangat penting dalam menentukan penggunaan alat berat yang digunakan pada proyek. Pada pelaksanaan proyek konstruksi terdapat beberapa item pekerjaan yang dilakukan, salah satunya pekerjaan pengecoran pelat lantai. Pengecoran pelat lantai pada pembangunan gedung bertingkat membutuhkan bantuan alat berat agar memudahkan dalam pengerjaan dan mengefisienkan waktu. Penggunaan alat berat juga sangat berpengaruh terhadap biaya karena pekerjaan yang volumenya terlalu besar dapat dikerjakan dengan mudah. Proyek pembangunan Gedung Kantor (DPMPTSP, Disnaker, Diskes Dan Capil) Kabupaten Gianyar yang berlokasi di Desa Buruan Blahbatuh,

Kabupaten Gianyar, Provinsi Bali merupakan pembangunan gedung kantor dengan luas bangunan 8,880 m² yang mencakup lantai basement, lantai 1, lantai 2, lantai 3, dan lantai atap. Pada pelaksanaan proyek menggunakan dua alat pada pekerjaan pengecoran yaitu tower crane dan concrete pump dalam satu lokasi proyek untuk mempercepat proses pengecoran, namun tetap diperhitungkan agar kedua alat berjalan dengan efisien. Dalam kontrak kerja dinyatakan bahwa metode pengecoran pelat lantai menggunakan satu alat yaitu concrete pump, sedangkan saat dilapangan terdapat pekerjaan pengecoran yang menggunakan tower crane. Hal tersebut dikarenakan disebutkan bahwa pihak kontraktor dapat melakukan inovasi dalam item pekerjaan yang dilakukan, namun pihak kontraktor tidak semata-mata melakukan sebuah inovasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan waktu pekerjaan pengecoran per meter kubik beton serta pengaruhnya terhadap produktivitas yang dihasilkan melalui analisis Break Even Point (BEP) atau titik impas. Dalam hal ini Break Even Point bertujuan untuk mengetahui metode pengecoran yang paling efektif dan efisien pada pelaksanaan proyek. Pada analisis BEP akan dicari perpotongan persamaan garis regresi dari masing-masing alat pengecoran yang digunakan.

2. TINJAUAN PUSTAKA DAN METODA

Pengecoran Beton

Menurut SNI 2847-2019 beton merupakan campuran semen hidraulis atau semen portland dengan bahan agregat kasar, agregat halus, dan air dengan atau tidak menggunakan bahan tambahan lainnya. Proses dimulai saat beton plastis dituangkan ke dalam cetakan baik menggunakan bucket (dibantu dengan alat berat) maupun melalui pipa, beton yang sudah dituangkan kemudian dikonsolidasikan dan diratakan. Menurut Saputro (2017a), konsolidasi dilakukan bertujuan untuk mengurangi rongga yang terdapat dalam beton, dapat dilakukan secara manual dengan cara menusuk menggunakan besi batang atau dapat dilakukan menggunakan alat penggetar (vibrator), hal ini dilakukan agar beton yang telah melewati pengecoran mampu menahan beban maksimal karena tidak terdapat rongga udara dalam beton tersebut. Tahapan pengecoran menggunakan *tower crane* sebagai berikut (Farhan Baskara, 2022):



Gambar 1. Proses Pengecoran
Sumber: Farhan Baskara (2022)

Alat Berat Pengecoran

Penggunaan peralatan disesuaikan dengan kebutuhan dilapangan dan bergantung pada besar proyek yang dilaksanakan. Peralatan yang akan dibahas adalah peralatan yang hanya dipakai pada proyek tempat studi kasus. Menurut Saputro (2017) masing-masing alat memiliki spesifikasi, produktivitas dan teknis pengecoran yang berbeda-beda.

Tower Crane

Tower crane merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengangkat material secara vertikal dan horizontal ke suatu tempat yang tinggi pada ruang gerak terbatas (Ahmad & Suryanto, 2012).

Concrete Pump

Menurut Limanto (2009), concrete pump merupakan alat pompa campuran beton cair menggunakan pipa untuk mengalirkan campuran beton yang dibantu dengan pompa sebagai pendorong dalam satu kesatuan pada kendaraan.

Pemilihan Alat

Dalam memilih peralatan untuk suatu proyek konstruksi harus sesuai dengan kondisi lapangan, agar dapat berproduksi dengan optimal dan seefisien mungkin (Saputro, 2017). Peralatan yang dipakai dalam proses pengecoran beton harus tetap memastikan beberapa aspek untuk memberikan kemudahan dan tidak merugikan dalam pelaksanaannya sehingga dapat mengurangi mutu beton. Perlu diketahui bahwa pemilihan peralatan untuk pengecoran pada pengangkutan bahan cor dari mixer ke bidang yang hendak dicor, perlu memperhatikan tiga aspek berikut yaitu

(Saputro, 2017):

1. Jarak antara *mixer* dengan bidang pekerjaan yang akan di cor.
2. Volume pengecoran.
3. Metode yang dipakai dalam pencampuran beton dan cara pengecoran beton.

Produktivitas Peralatan

Produktivitas adalah perbandingan antara output dan input hasil yang didapat (output) dengan seluruh sumber daya yang digunakan (input) (Fadhila & Nursin, 2019). Produktivitas alat tergantung pada kapasitas dan waktu siklus alat. Rumus persamaan dasar untuk mencari produktivitas alat adalah (Habibi et al., 2023):

$$\text{atau} \quad \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{\text{Produksi}}{\text{Waktu}} \quad (1)$$

$$\frac{\text{Produktivitas}}{\text{Waktu}} = \frac{\text{Produktivitas}}{\text{Waktu}} \quad (2)$$

Pada umumnya waktu siklus alat ditentukan menggunakan satuan menit sedangkan produktivitas alat dihitung menggunakan produksi /jam sehingga perlu adanya perubahan dari menit ke jam. Jika faktor efisiensi alat dimasukkan maka rumus menjadi:

$$\frac{\text{Produktivitas}}{\text{Waktu}} = \frac{\text{Produktivitas}}{\text{Waktu}} \times \frac{60}{r} \quad (3)$$

Keterangan:

- Produktivitas alat dihitung dalam m³/jam, waktu alat ditetapkan dalam menit (60 menit).
- kapasitas = kapasitas *bucket* untuk menampung beton dalam m³.
- CT = *cyclis time*/waktu siklus (menit).
- efisiensi = waktu efektif alat bekerja dalam satu jam (menit/jam).

Siklus kerja pemindahan material merupakan suatu kegiatan yang dilakukan berulang. Waktu yang diperlukan dalam melakukan kegiatan tersebut disebut waktu siklus atau cycle time (CT), dirumuskan sebagai berikut (Fadhila & Nursin, 2019):

$$CT = L + HT + DT + RT + ST$$

(4) Keterangan:

- LT (*loading time*) = waktu muat yang dibutuhkan alat untuk memuat material ke dalam alat angkut sesuai kapasitasnya.
- HT (*hauling time*) = waktu angkat yang diperlukan alat untuk bergerak dari tempat pemuatan ke tempat pembongkaran material.
- DT (*dumping time*) = yaitu waktu yang diperlukan alat untuk pembongkaran material di tempat yang ditentukan.
- RT (*return time*) = waktu yang diperlukan alat untuk kembali ke tempat pemuatan.
- ST (*spotting time*) = waktu alat menunggu sampai alat diisi kembali.

Faktor efisiensi alat sangat mempengaruhi produktivitas, dimana efisiensi alat tersebut bekerja tergantung dari beberapa hal yaitu:

1. Kemampuan operator memakai alat
2. Pemilihan dan pemeliharaan alat
3. Perencanaan dan pengaturan letak alat
4. Topografi dan volume pekerjaan
5. Kondisi cuaca
6. Metode pelaksanaan alat

Dalam menentukan besarnya efisiensi kerja alat di lapangan memang sulit, namun berdasarkan penelitian terdahulu dan pengalaman dapat ditentukan efisiensi yang mendekati kenyataan, seperti pada Tabel 1 (Frederika & Rai Widhiawati, 2017):

Tabel 1. Efisiensi Kerja

Kondisi Operasi Alat	Pemeliharaan Mesin				
	Baik	Baik	Sedang	Buruk	Buruk
	Sekali			Sekali	
BaikSekali	0,83	0,81	0,76	0,70	0,63
Baik	0,78	0,75	0,71	0,65	0,60
Sedang	0,72	0,69	0,65	0,60	0,54
Buruk	0,63	0,61	0,57	0,52	0,45
Buruk Sekali	0,52	0,50	0,47	0,42	0,32

Sumber: Frederika & Rai Widhiawati (2017)

Waktu Siklus Alat

Dalam perhitungan waktu siklus terdapat HT (hauling time) dan RT (return time) yang dihitung dari pergerakan hoisting, swelling, trolley dan landing yang sesuai kapasitas dari tower crane yang digunakan dalam menentukan produktivitas dari alat tersebut. Menurut Ahmad & Suryanto (2012) untuk menghitung produktivitas tower crane menggunakan persamaan sebagai berikut:

- a) Waktu Tempuh Vertikal (T_v)

$$T_v = \frac{D_v}{V_v} \quad (5)$$

Keterangan:

T_v = Waktu tempuh vertikal (menit)

D_v = Jarak tempuh vertikal (m)

V_v = Kecepatan Hoist TC angkat & kembali (m/menit)

- b) Waktu Tempuh Rotasi (T_r)

$$T_r = \frac{\alpha}{V_r} \quad (6)$$

Keterangan:

T_r = Waktu tempuh rotasi (menit)

α = Sudut putar (rad)

V_r = Kecepatan swing TC (radian/menit)

- c) Waktu Tempuh Horizontal (T_h)

$$T_h = \frac{D_h}{V_h} \quad (7)$$

Keterangan:

T_h = Waktu tempuh horizontal (menit)

D_h = Jarak tempuh horizontal (m)

V_h = Kecepatan Trolley TC angkat & kembali (m/menit)

- d) Waktu Tempuh Landing

$$T_{Landing} = \frac{V_{landing}}{g} \quad (8)$$

Keterangan:

$T_{Landing}$ = Waktu tempuh landing/mendaratkan (menit)

$V_{landing}$ = Kecepatan Trolley TC angkat & kembali (m/menit)

Dalam menentukan waktu tempuh rotasi terdapat mekanisme putar tower crane yang dihitung seperti berikut (Ahmad & Suryanto, 2012) :

- a) Jarak Asal Terhadap TC (D_1)

$$D_1 = \sqrt{(T_{T_{\phi}} - T_{\phi\phi})^2 + (T_{\phi\phi} - T_{T_{\phi}})^2} \quad (9)$$

- b) Jarak Tujuan Terhadap TC (D_2)

$$D_2 = \sqrt{(T_{T_{\phi}} - T_{\phi\phi})^2 + (T_{\phi\phi} - T_{T_{\phi}})^2} \quad (10)$$

- c) Jarak Hirizontal (D_h)

$$D_h = |D_1 - D_2| \quad (11)$$

- d) Sudut *Slewing*

$$r_3 = \sqrt{(r_{T2} - r_2)^2 + (r_1 - r_{T1})^2}$$

(12) Untuk menentukan sudut mekanisme putar :

$$\cos \alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - r_3^2}{2 \times r_1 \times r_2} \quad (13)$$

$\diamond T \diamond \diamond$ = Koordinat y posisi tujuan area pengecoran

$$\begin{aligned} \begin{array}{c} \text{---} \text{---} \text{---} \\ \text{---} \text{---} \end{array} &= \begin{array}{c} \text{---} \text{---} \text{---} \\ \text{---} \text{---} \end{array} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} + \begin{array}{c} \text{---} \text{---} \text{---} \\ \text{---} \text{---} \end{array} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} + \begin{array}{c} \text{---} \text{---} \text{---} \\ \text{---} \text{---} \end{array} h \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} + \begin{array}{c} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \\ \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \end{array} \\ \begin{array}{c} \text{---} \text{---} \text{---} \\ \text{---} \text{---} \end{array} &= \begin{array}{c} \text{---} \text{---} \text{---} \\ \text{---} \text{---} \end{array} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} + \begin{array}{c} \text{---} \text{---} \text{---} \\ \text{---} \text{---} \end{array} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} + \begin{array}{c} \text{---} \text{---} \text{---} \\ \text{---} \text{---} \end{array} h \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} + \begin{array}{c} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \\ \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \end{array} \end{aligned}$$
$$TL_{\text{landing}} = \text{Waktu tempuh landing/mendaratkan (menit)}$$

Waktu pelaksanaan suatu pekerjaan akan dipengaruhi oleh metode pekerjaan dan target waktu pekerjaan yang diinginkan untuk melaksanakan suatu item pekerjaan. Analisa perbandingan waktu pekerjaan Time Study adalah teknik pengukuran dengan cara pengumpulan data berdasarkan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan. (Ilham & Herzanita, 2021):

Regresi digunakan untuk mempelajari pola dan mengukur hubungan dua konsep statistika antara dua atau lebih variabel, jika digunakan hanya dua variabel disebut regresi sederhana dan jika digunakan lebih dari dua variabel disebut regresi berganda (Frederika & Rai Widhiawati, 2017). Secara umum persamaan garis regresi linier sederhana dinyatakan sebagai berikut (Frederika & Rai Widhiawati, 2017):

◆ = ◆ + ◆◆

Apabila diberikan serangkaian data sampel (X_1, Y_1) dengan $I = 1, 2, 3, \dots, n$, maka nilai dengan (peramalan) kuadrat terkecil bagi parameter dalam persamaan garis regresi dinyatakan sebagai berikut:

$$\hat{Y} = \blacklozenge + \blacklozenge\blacklozenge \quad (15)$$

Agar jumlah kuadrat simpangan vertikal ke garis regresi yaitu $\sum (Y_i - \hat{Y})^2$ sekecil mungkin, maka $\sum (Y_i - \hat{Y})^2 = \sum (e_i)^2$ diminimumkan terhadap a dan b untuk menentukan nilai a dan b diberikan dengan rumus berikut:

$$\text{Diagram} = \frac{\text{Diagram 1} - \text{Diagram 2}}{\text{Diagram 3} - (\Sigma_i \text{Diagram 4}_i)} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} & \frac{(\sum_{i=1}^n \mathbb{E}[\mathbf{z}_i^2])^2}{\sum_{i=1}^n \mathbb{E}[\mathbf{z}_i^2]} = \sum_{i=1}^n \mathbb{E}[\mathbf{z}_i^2] \\ & = \sum_{i=1}^n \mathbb{E}[\mathbf{z}_i^2] = \sum_{i=1}^n \mathbb{E}[\mathbf{z}_i^2] = \sum_{i=1}^n \mathbb{E}[\mathbf{z}_i^2] \end{aligned} \quad (17)$$

Keterangan:

$\hat{Y}$ = Taksiran nilai Y

X = Variabel bebas (volume)

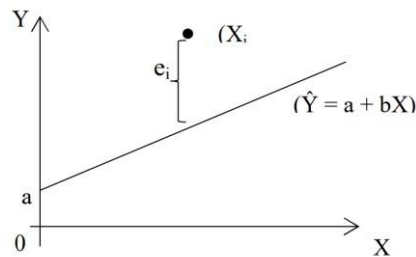
Y = Variabel terikat (waktu)

a = Konstanta atau titik potong dengan sumbu Y, bila X = 0

b = Arah garis regresi, yang menyatakan perubahan nilai Y akibat perubahan 1 unit X

n = banyaknya pasangan data obeservasi/pengukuran

Nilai koefisien regresi bisa bertanda positif atau negatif, hal tersebut menyatakan arah hubungan atau pengaruh variabel bebas X terhadap variabel terikat Y.



Gambar 2. Kriteria Kuadrat Kecil
Sumber: (Frederika & Rai Widhiawati, 2017)

Analisis BEP

Menurut Ryan Kumala (2022), titik impas adalah suatu keadaan dimana suatu alternatif tidak lebih baik ataupun tidak lebih buruk dari alternatif yang lainnya. Dalam analisis BEP ini dicari perpotongan dari persamaan garis regresi dari masing-masing peralatan pengecoran. Perpotongan dari persamaan garis yang dapat digunakan adalah metode eliminasi, yaitu dengan cara mengalikan dengan sebuah angka sehingga ada variabel yang mempunyai koefisien yang sama. Berikut merupakan contoh perhitungan titik impas (Ryan Kumala, 2022).

Misalkan terdapat dua buah persamaan garis yaitu $2x + 5y = 6$, dan $3x - 7y = 5$, maka penyelesaian titik potongnya yaitu:

- Masing-masing persamaan dikalikan dengan 3 (persamaan I) dan 2 (persamaan II) untuk mengeliminasi nilai x (untuk mendapatkan nilai y) menjadi:

$$\begin{array}{rclcl} 2x + 5y = 6 & (x\ 3) & 6x + 15y & = & 18 \\ 3x - 7y = 5 & \underline{-(x\ 2)\ 6x + 14y} & & = & \underline{10} \\ 0 + 29y & = & 8 & & \\ y & = & 0,276 & & \end{array}$$
- Kemudian substitusi nilai y yang didapat kedalam rumus pertama atau ke dua (untuk mendapatkan nilai x)

$$\begin{array}{rcl} 2x + 5y = 6 & 2x + 5(0,276) & 6 \\ & 2x & 6 - 1,38 \\ & x & 4,62/2 \\ & x & 2,31 \end{array}$$
- Sehingga titik potongnya berada di koordinat $(x = 2,31; y = 0,276)$

Metode Penelitian

Objek penelitian dilakukan pada proyek Pembangunan Gedung Kantor (DPMPTSP, Disnaker, Diskes, dan Capil) Kecamatan Blahbatuh, Kabupaten Gianyar. Pelaksanaan proyek tersebut menggunakan kedua alat pengecoran dalam pelaksanaannya yaitu tower crane dan concrete pump. Metode observasi yaitu pengamatan lapangan dan mengadakan wawancara langsung. Pengolahan data dilakukan mulai dari waktu siklus pengecoran dan produktivitas peralatan. Dalam pengamatan waktu siklus yang digunakan merupakan waktu siklus masing-masing peralatan namun berbeda lantai dalam hal penggunaannya, maka dari itu perlu adanya penyesuaian data dengan melakukan analisis perhitungan waktu siklus pada masing-masing peralatan tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Waktu Siklus

Waktu siklus TC rata-rata 1 concrete bucket pada lantai II:

$$\begin{aligned} \text{Waktu} &= L + \text{Waktu} + \text{Waktu} + \text{Waktu} + \text{Waktu} \\ \text{Waktu} &= 36 + 96,6 + 20 + 88,0 + 60 = 299,9 \text{ detik} \end{aligned}$$

Jumlah mobilisasi concrete bucket dalam proses pengecoran tiap 6 m³ beton ready mix sebanyak 7 kali. Maka waktu total tiap pengecoran 6 m³ pada pekerjaan pengecoran pelat lantai II = $7 \times 299,9 = 2099,58$ detik 34,99 menit 0,583 jam. Untuk menyesuaikan data waktu siklus dilakukan perhitungan estimasi waktu siklus TC pada lantai III dan Atap. Berikut merupakan perhitungan hauling time dan return time pada lantai III:

Kapasitas Mekanisme Tower crane:

Tabel 2 Spesifikasi Mekanisme Tower crane

Keterangan	Hoisting	Slewing	Trolley	Landing
	m/menit	rpm	m/menit	m/menit
Waktu Angkat	40	0.7	100	40
Waktu Kembali	80	0.7	100	80

Sumber: PT. Gaharu Sempana

Volume pengecoran = 215,93 m³

Jarak vertikal (Dv) = 10,17 m

Jarak tambahan = 2 m

Koordinat posisi TC (x;y) = 367540,66; 60783,37

Koordinat posisi awal bucket (x;y) = 315952,15; 89660,09

Koordinat area pengecoran (x;y) = 388431,00; 68088,94

Jarak Jarak Asal Terhadap TC (D1)

$$D1 = \sqrt{(x_{TC} - x_{Awal})^2 + (y_{Awal} - y_{TC})^2}$$

$$D1 = \sqrt{(60783,37 - 89660,09)^2 + (315952,15 - 367540,66)^2}$$

$$D1 = 59,12 \text{ m}$$

Jarak Tujuan Terhadap TC (D2)

$$D2 = \sqrt{(x_{TC} - x_{Tujuan})^2 + (y_{Tujuan} - y_{TC})^2}$$

$$D2 = \sqrt{(60783,37 - 68088,94)^2 + (388431,00 - 367540,66)^2}$$

$$D2 = 22,13 \text{ m}$$

Jarak Horizontal (Dh)

$$Dh = |D1 - D2|$$

$$Dh = |59,12 - 22,13|$$

$$Dh = 36,99 \text{ m}$$

Sudut Slewing (D3)

$$D3 = \sqrt{(x_{Tujuan} - x_{Awal})^2 + (y_{Awal} - y_{Tujuan})^2}$$

$$D3 = \sqrt{(68088,94 - 89660,09)^2 + (315952,15 - 388431,00)^2}$$

$$D3 = 75,62 \text{ m}$$

$$\cos \alpha = \frac{D1^2 + D3^2 - D2^2}{2 \cdot D1 \cdot D3}$$

$$\cos \alpha = \frac{59,12^2 + 75,62^2 - 22,13^2}{2 \cdot 59,12 \cdot 75,62}$$

$$\cos \alpha = -0,66^\circ$$

$$\alpha = 2,295^\circ$$

1. Perhitungan Waktu Pengangkatan (Hauling Time)

a) Waktu Tempuh Vertikal (Tv)

$$Tv = \frac{Dv}{V_h}$$

$$Tv = \frac{10,17}{40} \cdot 60 = 15,255 \text{ s}$$

b) Waktu Tempuh Rotasi (Tr)

$$Tr = \frac{D3}{V_r}$$

$$Tr = \frac{75,62}{0,7} \cdot 60 = 651,429 \text{ s}$$

c) Waktu Tempuh Horizontal (Th)

$$Th = \frac{Dh}{V_h}$$

$$Th = \frac{36,99}{40} \cdot 60 = 55,485 \text{ s}$$

$$\frac{60}{100} \times 22,19 = 13,31$$

d) Waktu Tempuh Landing

$$= \frac{\frac{2}{40} \times 60 \times \frac{h}{V}}{60} = 3$$

Total waktu pengangkatan = $T_v + T_r + T_h + T_{\text{landing}}$
 Total waktu = $18,3 + 196,7 + 22,19 + 3 = 240,2$ detik

2. Perhitungan Waktu Kembali (Return Time)

a) Waktu Tempuh Vertikal (T_v)

$$T_v = \frac{V}{10} \times 60 = 9,1$$

b) Waktu Tempuh Rotasi (T_r)

$$T_r = \frac{295}{0,7} \times 60 = 196,7$$

c) Waktu Tempuh Horizontal (T_h)

$$T_h = \frac{36}{99} \times 60 = 22,19$$

d) Waktu Tempuh Landing

$$= \frac{\frac{2}{80} \times 60 \times \frac{h}{V}}{60} = 1,5$$

Total waktu kembali = $T_v + T_r + T_h + T_{\text{landing}}$
 Total waktu = $9,1 + 196,7 + 22,19 + 1,5 = 229,5$ detik

Waktu siklus TC rata-rata 1 concrete bucket lantai III:

$$= L + T_v + T_r + T_h + T_{\text{landing}}$$

$$= 36 + 101,8 + 20 + 91,2 + 60 = 309,0$$

Jumlah mobilisasi concrete bucket dalam proses pengecoran tiap 6 m³ beton ready mix sebanyak 7 kali. Maka waktu total tiap pengecoran 6 m³ pada pekerjaan pengecoran pelat lantai III = $7 \times 309,0 = 2162,7$ detik 36,04 menit 0,601 jam. Untuk lantai atap waktu total tiap pengecoran 6 m³ pada pekerjaan pengecoran = $7 \times 334,5 = 2319,5$ detik 38,66 menit 0,644 jam.

Waktu siklus CP rata-rata /6m³ beton ready mix lantai III:

$$= L + T_v + T_r + T_h + T_{\text{landing}}$$

$$= 15,1 + 0 + 0 + 0 + 0 = 15,1$$

Maka waktu siklus concrete pump pada pengecoran pelat lantai III /6m³ adalah 15,1 menit 0,252 jam. Untuk lantai atap waktu siklus concrete pump pada pengecoran pelat lantai III /6m³ adalah 15,1 menit 0,252 jam. Untuk menyesuaikan data waktu siklus CP maka dilakukan pendekatan dengan cara mengurangi waktu siklus lantai III dengan selisih rata-rata waktu siklus pengamatan.

Rata-rata CT Lantai III = 13,7 menit

Rata-rata CT Lantai Atap = 15,1 menit

Waktu siklus lantai II:

$$\begin{aligned} \text{CT}_{\text{II}} &= L_{\text{II}} - (\text{CT}_{\text{Atap}} - \text{CT}_{\text{III}}) \\ \text{CT}_{\text{II}} &= 11,10 - (15,1 - 13,7) \\ \text{CT}_{\text{II}} &= 9,76 \end{aligned}$$

Waktu siklus CP rata-rata /6m³ beton ready mix lantai II:

$$\begin{aligned} \text{CP}_{\text{II}} &= L_{\text{II}} + \text{CT}_{\text{II}} + \text{CT}_{\text{II}} + \text{CT}_{\text{II}} + \text{CT}_{\text{II}} \\ \text{CP}_{\text{II}} &= 12,4 + 0 + 0 + 0 + 0 = 12,4 \text{ menit} \end{aligned}$$

Maka waktu siklus *concrete pump* pada pengecoran pelat lantai II /6m³ adalah 12,4 menit 0,207 jam.

Tabel 3 Rata-rata waktu siklus

Rata-rata	Total Waktu (dt)					
	Tower Crane			Concrete Pump		
	Lt. II	Lt. III	Lt. Atap	Lt. II	Lt. III	Lt. Atap
detik	2099,58	2162,66	2319,51	12,41	13,75	15,09
menit	34,99	36,04	38,66	0,21	0,23	0,25
jam	0,583	0,601	0,644	0,003	0,004	0,004

Analisis Regresi

Dari hasil perhitungan waktu yang telah dilakukan, maka dilanjutkan dengan analisis regresi seperti persamaan 14. Pada analisis ini diberikan contoh satu perhitungan detail hingga analisis BEP dan rekapan persamaan regresi dapat dilihat pada Tabel 6. Adapun contoh perhitungan yang dapat ditampilkan yaitu regresi waktu lantai II. Kumulatif waktu siklus rata-rata yang didapatkan dibuat dalam tabel sebanyak truck mixer yang diperlukan yaitu $n=36$, dikarenakan variabel X menggunakan volume truck mixer maka X merupakan kelipatan 6. Kemudian dijumlahkan dan dijabarkan dalam rumus sebagai berikut:

Perhitungan persamaan regresi waktu TC:

$$Y = a + bX$$

Dimana persamaan tersebut dijabarkan dalam persamaan 16 dan 17 sebagai berikut:

$$b = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}} = 0,1$$

$$a = \frac{(\sum Y - b \sum X)}{\sum 1} = -0,392$$

Jadi diperoleh persamaan regresi:

$$Y = -0,392 + 0,1X$$

Perhitungan persamaan regresi waktu CP:

$$Y = a + bX$$

Dimana persamaan tersebut dijabarkan dalam persamaan 16 dan 17 sebagai berikut:

$$b = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}} = 0,035$$

$$a = \frac{(\sum Y - b \sum X)}{\sum 1} = -0,072$$

Jadi diperoleh persamaan regresi:

$$Y = -0,072 + 0,035X$$

Tabel 6 Persamaan Regresi

Lantai	Persamaan Regresi Waktu ($Y=a+bX$)	
	Tower Crane	Concrete Pump
II	$-0,392+0,1X$	$-0,072+0,035X$
III	$-0,380+0,1X$	$-0,055+0,035X$
Atap	$-0,197+0,099X$	$0,007+0,035X$

Analisis BEP

Metode yang digunakan untuk menentukan koordinat titik perpotongan garis yaitu dengan eliminasi persamaan garis regresi.

Koordinat titik impas tower crane dengan concrete pump Lantai II:

Eliminasi 'Y':

$$Y = -0,392 + 0,1X$$

$$Y = -0,072 + 0,035X$$

$$X$$

$$35X$$

$$2$$

$$2$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Dikurangi:} & 65 X & \\ & X & \\ & X & \\ & \hline & & = \frac{-0,32}{4,926} \end{array}$$

Masukan nilai 'X' ke persamaan regresi TC:

$$Y = -0,392 + 0,1(4,926) = 0,1$$

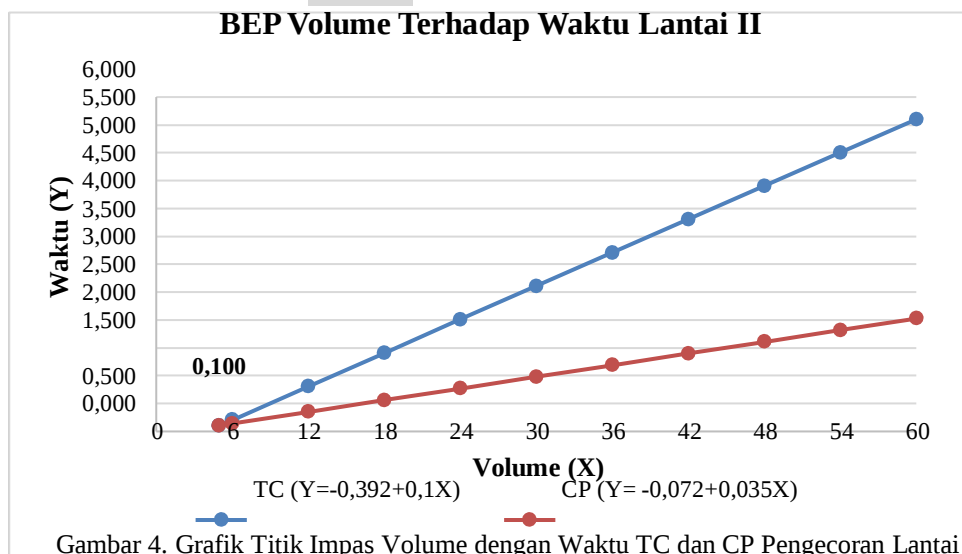
Jadi diantara TC dan CP bertitik impas pada $x = 4,926$ dan $y = 0,1$.

Perbandingan waktu pengecoran beserta grafik titik impas lantai II ditampilkan dalam Tabel dan Gambar 4.

Tabel 7 Perbandingan Volume dengan Waktu Pengecoran Lantai II

Volume (m3)	Waktu (jam)	
(X)	TC ($Y = -0,392 + 0,1X$)	CP ($Y = -0,072 + 0,035X$)
4,926	0,100	0,100
6	0,208	0,138
12	0,807	0,348
18	1,406	0,557
24	2,005	0,767
30	2,604	0,977
36	3,203	1,186
42	3,802	1,396
48	4,401	1,606
54	5,001	1,816
60	5,600	2,025

Keterangan:  = Titik impas TC dan CP



Gambar 4. Grafik Titik Impas Volume dengan Waktu TC dan CP Pengecoran Lantai II

Berdasarkan Tabel 2 diketahui perbandingan waktu pengecoran pelat lantai II yang menyatakan setiap kelipatan volume 6 m3 membutuhkan waktu 0,208 jam untuk TC dan 0,138 jam untuk CP. Pada Gambar 4 diketahui grafik titik impas dari waktu pengecoran TC dengan CP adalah pada volume 4,926 m3 dengan waktu yang dibutuhkan 0,1 jam. Dengan adanya titik impas dapat dilihat bahwa concrete pump melakukan pekerjaan pengecoran lebih cepat dibandingkan tower crane.

4. SIMPULAN

Untuk lantai II, III dan Atap secara berurutan TC membutuhkan waktu yaitu (0,208 jam; 0,219 jam; 0,400 jam) sedangkan CP membutuhkan waktu (0,138 jam; 0,155 jam; 0,216 jam) pada setiap volume 6 m3 pekerjaan pengecoran. Maka pada ketiga lantai tersebut CP melakukan pekerjaan lebih cepat dibandingkan TC. Titik impas volume terhadap waktu pada lantai II, III dan Atap adalah (4,926 m3; 0,1 jam), (5,011 m3; 0,121 jam), (3,149 m3; 0,116 jam). Dari segi waktu penggunaan concrete pump lebih menguntungkan karena setelah titik impas concrete pump membutuhkan waktu yang lebih sedikit dibanding tower crane untuk melakukan pengecoran pelat lantai dengan volume yang lebih besar dari 4,923 m3).

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, I. A., & Suryanto, M. (2012). *Analisis Produktivitas Dan Biaya Operasional Tower Crane Pada Proyek Puncak Central Business District Surabaya*.
- Fadhila, H., & Nursin, A. (2019). *Analisis Waktu Siklus Tower Crane Pada Proyek South Side Apartment*.
- Farhan Baskara. (2022). *Analisis Biaya Dan Waktu Pelaksanaan Pekerjaan Pengecoran Menggunakan Concrete Pump Dan Concrete Bucket*.
- Frederika, A., & Rai Widhiawati, I. A. (2017). *Analisis Produktivitas Metode Pelaksanaan Pengecoran Beton Ready Mix Pada Balok Dan Pelat Lantai Gedung*. *Jurnal Spektran*, 5(1).
- Habibi, M., Pramanda, H., Idroes, I., & Ariansyah, D. (2023). *Analisis Perbandingan Waktu, Biaya Dan Tenaga Kerja Alat Concrete Lift Dan Concrete Pump Pada Pembangunan Gedung Pusdalops Kota Banda Aceh*. *Maret*, 2(1), 135–146.
- Ilham, M., & Herzanita, A. (2021). *Analisis Perbandingan Bekisting Konvensional Dengan Bekisting Aluminium Ditinjau Dari Aspek Biaya Dan Waktu Pelaksanaan*. *Jurnal Artesis*, 1(1).
- Limanto, S. (2009). *Analisis Produktivitas Concrete Pump Pada Proyek Bangunan Tinggi*. In *Konferensi Nasional Teknik Sipil* (Vol. 3).
- Ryan Kumala. (2022). *Analisis Break Even Point Terhadap Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Beton Dan Profitabilitas Proyek (Studi Kasus Proyek Pembangunan Pandawa Residence)*.
- Saputro, C. D. (2017). *Studi Komparasi Biaya Dan Waktu Berdasarkan Metode Pelaksanaan Pekerjaan Pengecoran Beton (Studi Kasus Proyek Pembangunan Hotel Sewutomo Yogyakarta)*.
- Sni 2847-2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan*.