



## Evaluasi Penempatan Tower Crane Pada Proyek Pembangunan Jember Icon<sup>1</sup>

### *Evaluation of Tower Crane Positioning in Jember Icon Project*

Bima Anggaruci B.Y.<sup>a</sup>, Jojok Widodo S.<sup>b</sup>, Dwi Nurtanto<sup>b,2</sup>

<sup>a</sup> Alumni Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

<sup>b</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

#### ABSTRACT

Settling of Tower Crane (TC) will influence efficiency of task served, it will effect to leasing cost and operational cost of TC. This problem is gotten by contractors while they arrange construction schedule. TC's placement isn't exact that due to extend scheduling and cost wasteful. Therefore, TC's settling needs a calculation of TC workload balance in order to minimize duration time. To field observation will be taken an ongoing construction project which is Jember Icon's Project on Gajah Mada street in Jember. Results of these researches shown exactly settling of TC will reduce operational hours and project schedule.

*Keywords: Tower Crane, Evaluation of positioning, Total transporting time, Efficiency*

#### ABSTRAK

Penempatan Tower Crane (TC) akan mempengaruhi efisiensi pekerjaan yang dilayani, hal ini juga akan berpengaruh pada biaya sewa dan biaya operasional TC. Permasalahan ini sering dihadapi oleh kontraktor ketika menyusun rencana pelaksanaan kegiatan proyek. Penempatan TC yang tidak tepat dapat mengakibatkan jadwal pelaksanaan yang panjang dan pemborosan biaya. Oleh karena itu dalam penempatan TC memerlukan perhitungan keseimbangan beban kerja TC agar dapat meminimalisasi durasi penggunaan TC. Observasi lapangan dilakukan pada proyek konstruksi yang sedang berjalan yaitu pada proyek Jember Icon, yang berlokasi di Jalan Gajah Mada, Jember. Hasil penelitian menunjukkan penempatan TC dapat diketahui bahwa penempatan TC yang tepat dapat mereduksi jam operasional TC dan jadwal proyek.

*Kata kunci: Tower Crane, Evaluasi Penempatan, Total Waktu Pengangkutan, Efisiensi*

<sup>1</sup> Info Artikel: Received 1 Juli 2016, Received in revised form 18 Agustus 2016, Accepted 3 November 2016

<sup>2</sup> E-mail: [bhiwrawa2468@gmail.com](mailto:bhiwrawa2468@gmail.com) (B.A.B. Yudha), [jojok.teknik@unej.ac.id](mailto:jojok.teknik@unej.ac.id) (J.W. Soetjipto), [tanto.teknik@unej.ac.id](mailto:tanto.teknik@unej.ac.id) (D. Nurtanto)

## PENDAHULUAN

Di era pembangunan saat ini, teknologi pelaksanaan proyek konstruksi bangunan bertingkat semakin berkembang. Dalam pelaksanaannya pun perlu direncanakan dengan tepat dan cermat. Salah satunya adalah penggunaan alat berat yang optimal agar pekerjaan konstruksi terlaksana dengan efisien (Asiyanto, 2008)<sup>[1]</sup>. Untuk menjalankan fungsi dan cara pengoperasiannya, maka dalam memilih alat berat harus dilakukan identifikasi dengan cermat agar dapat diperkirakan produktivitas dan efisiensi kerja alat tersebut (Rostiyanti, 2008)<sup>[2]</sup>.

Proyek gedung bertingkat tinggi pada umumnya menggunakan TC sebagai alat pemindah material karena jangkauannya luas dan ketinggiannya dapat disesuaikan menurut kebutuhan bangunan yang tinggi. Namun pemakaian TC memiliki kendala yaitu mahal biaya sewa dan biaya operasional. Sedangkan proyek gedung tinggi memiliki jangkauan area yang sangat luas dan elevasi yang tinggi. Oleh karena itu kontraktor harus menempatkan TC yang tepat agar penggunaan TC tersebut dapat efisien sehingga dapat mereduksi waktu dan biaya penggunaan TC (Rahman S, 2012)<sup>[3]</sup>. Permasalahannya adalah bagaimana merencanakan penempatan TC yang efisien agar diperoleh waktu layanan yang optimal.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini mengambil studi kasus pada proyek Jember Icon yang sedang dalam tahap pelaksanaan, di Jalan Gajah Mada, Jember. Luas bangunan  $\pm 1,8$  ha yang terdiri dari 15+2 lantai dengan ketinggian  $\pm 70$  m. Pada pelaksanaan pembangunan proyek ini menggunakan 3 buah TC mengingat jangkauan area proyek yang sangat luas. Oleh karena itu penempatan TC menjadi sangat penting karena akan mempengaruhi waktu dan biaya proyek.

### Analisis Penempatan Tower Crane

Analisis penempatan TC diawali dengan penentuan penempatan supply point dan demand point. Penempatan ini tergantung pada site lay out proyek dimana penempatan material merupakan supply point sedangkan lokasi pekerjaan merupakan demand point. Setiap melayani pengambilan material dari lokasi *supply point* ke *demand point* akan membentuk suatu pekerjaan (*task*). Karena karena material yang dilayani cukup banyak jenisnya maka membutuhkan *supply point* dan *demand point* yang banyak pula, dengan demikian maka akan memunculkan *task* yang banyak juga. *Task-task* ini akan dianalisa kedekatannya sehingga membentuk suatu kelompok pekerjaan. Kedekatan suatu pekerjaan diukur dari *overlapping area*, semakin besar *overlapping area* maka semakin dekat antar pekerjaan sehingga cukup dilayani oleh 1 TC. Tetapi apabila pekerjaan yang satu dengan yang lain terlalu jauh *overlapping area*-nya, maka diperlukan lebih dari 1 TC. Berdasarkan *overlapping area* group *task*, maka akan terbentuk *feasible area* untuk penempatan TC dan jumlah TC yang dibutuhkan agar dapat melayani grup *task* tersebut. Kemudian analisa ini dilanjutkan dengan memindah-mindahkan letak TC pada posisi yang berbeda-beda sampai diperoleh hasil yang optimal (Sunur R., et al, 2007)<sup>[4]</sup>.

Pada penelitian ini menggunakan empat variabel yaitu waktu pengangkatan pengait crane (*hook*), waktu pergerakan *radial trolley*, waktu rata-rata pengangkutan dari semua crane, dan keseimbangan beban kerja pada masing-masing waktu pengangkutan setiap crane (Sunur R., et al, 2007)<sup>[4]</sup>. Adapun persamaan untuk mencari variable-variabel tersebut adalah sebagai berikut:

1. Rumus-rumus di bawah ini adalah rumus untuk perhitungan waktu pengangkatan pengait untuk melakukan pekerjaan.

$$T = \max (T_h, T_v) + \beta \min (T_h, T_v)$$

$$T_v = (ZD_j - ZS_j) / V_v$$

$$T_h = \max (T_a, T_\omega) + \alpha \min (T_a, T_\omega)$$

$$\rho(D_j) = \sqrt{(XD_j - x)^2 + (YD_j - y)^2}$$

$$\rho(S_j) = \sqrt{(XS_j - x)^2 + (YS_j - y)^2}$$

$$l_j = \sqrt{(XD_j - XS_j)^2 + (YD_j - YS_j)^2}$$

2. Waktu pergerakan radial trolley :

$$T_a = \left| \frac{\rho(D_j) - \rho(S_j)}{v_a} \right|; T_\omega = \frac{1}{\omega} \cdot \text{Arc cos} \left( \frac{1_j^2 - \rho(D_j)^2 - \rho(S_j)^2}{2 * \rho(D_j) * \rho(S_j)} \right); (0 < \text{Arc cos} (\theta) < \pi)$$

Dimana :

$T_h$  = Waktu perjalanan horizontal pengait

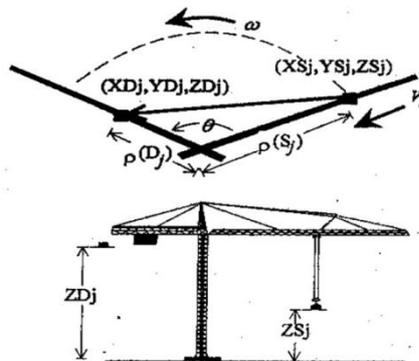
$T_v$  = Waktu perjalanan vertikal pengait

$T_a$  = Waktu pergerakan *radial trolley*

$T_\omega$  = Waktu pergerakan *tangensial trolley*

$\alpha$  = Derajat koordinasi pergerakan pengait dalam arah radial dan tangensial pada bidang horisontal ; (antara 0 sd 1)

$\beta$  = Derajat koordinasi pergerakan pengait dalam arah radial dan tangensial pada bidang vertikal dan horisontal ; (antara 0 sd 1)



Gambar 1. Waktu perjalanan pengait

Optimalisasi lokasi untuk grup *Tower Crane* bisa dilakukan dengan menghubungkan dua sub model di atas yaitu dengan mencari  $\sigma$  yang paling kecil dan setiap titik dalam *feasible area*.

3. Waktu rata-rata pengangkutan dari semua crane:

$$T = \frac{1}{I} \cdot \sum_i T_i$$

Dimana :

$T$  = Waktu rata-rata pengangkutan dari semua crane

$T_i$  = Waktu pengangkutan pengait crane ke-i

$$T_i = \sum_{j=1}^J \delta_{ij} \cdot Q_j \cdot (t1_{ij} + t2_{ij} + t3_{ij} + t4_{ij})$$

Di mana :

$T_i$  = waktu pengangkutan pengait crane ke-i.

$\delta_{ij}$  = variabel binary.

$Q_j$  = Jumlah angkatan untuk pekerjaan j.

$t1_{ij}$  = Waktu perjalanan pengait dengan beban.

$t2_{ij}$  = Waktu perjalanan pengait tanpa beban.

$t3_{ij}$  = Waktu jeda rata-rata pengangkatan.

$t4_{ij}$  = Waktu jeda rata-rata pembongkaran.

4. Waktu keseimbangan beban kerja pada masing-masing waktu pengangkutan setiap crane:

$$\sigma = \sqrt{\sum_i \frac{(\bar{T} - T_i)^2}{i}}$$

$$= \sigma (\delta_{11}, \delta_{12}, \dots, \delta_{21}, \delta_{22}, \dots, \delta_{ij}, \dots, \delta_{ij})$$

Dimana :

$\sigma$  = Keseimbangan beban kerja

$\bar{T}$  = Waktu rata-rata pengangkutan dari semua crane

$T_i$  = Waktu pengangkutan pengait crane ke-i

Untuk memperoleh titik optimal penempatan TC, maka diperlukan langkah-langkah seperti berikut (Winanda LAR, 2005, 2010)<sup>[5,6]</sup>:

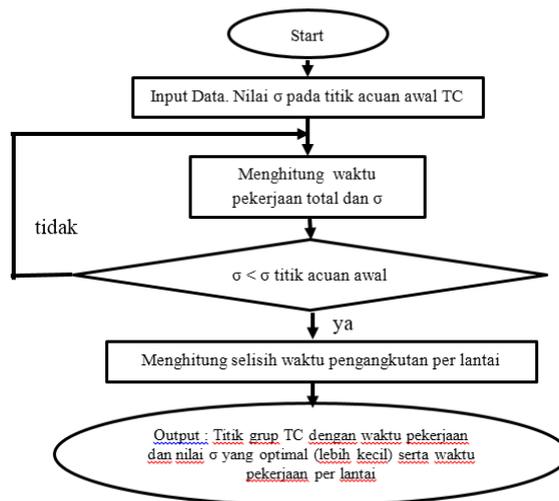
Langkah 1 : Menentukan titik koordinat *supply*, *demand*, dan TC pada kondisi eksisting di lapangan sesuai data dengan radius TC sebesar 50 m.

Langkah 2 : Memperbaiki penempatan TC dengan metode *trial and error* lalu menentukan distribusi pekerjaan yang baru pada kondisi titik TC yang telah dimodifikasi penempatannya.

Langkah 3 : Memeriksa nilai keseimbangan beban kerja dengan perhitungan standar deviasi, apakah lokasi TC yang baru sudah cukup baik.

Langkah 4 : Selisih Waktu Pengangkutan TC per Lantai. Pada langkah ini bukan memodifikasi penempatan TC, namun untuk mengetahui seberapa besar selisih waktu pengangkutan TC per lantai.

Flow chart penentuan penempatan TC dapat dilihat pada gambar 1.



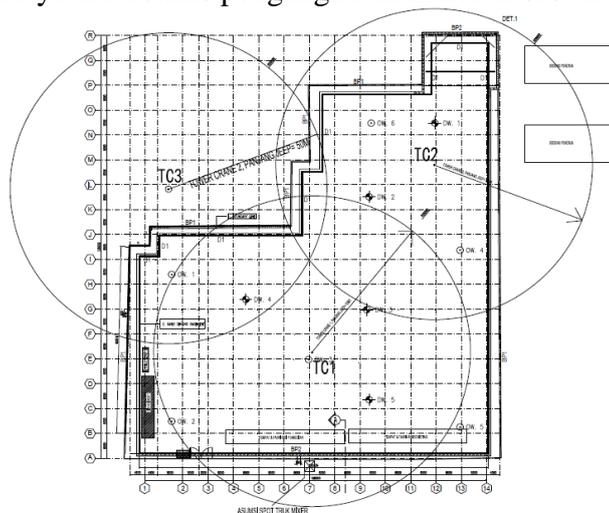
Gambar 2. Flowchart penentuan nilai  $\sigma$  pada grup *Tower Crane*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Layout Proyek Lokasi Penelitian

Sebelum melakukan analisis penempatan *tower crane*, maka perlu dilakukan analisa gambar lay out proyek yang akan dilaksanakan. Pada gambar lay out proyek tersebut dibuat grid-grid sebagai titik koordinat *supply*, *demand* dan penempatan TC. Adapun penentuan kordinat tersebut akan lebih mudah jika menggunakan pengolah gambar dengan menggunakan koordinat adalah titik tengah dari setiap grid tersebut. Pada penelitian ini *site layout* bangunan dibagi menjadi beberapa grid dengan ukuran grid 1 x 1 m. Hasil analisis *layout* dapat dilihat pada gambar 3.

Pada proyek ini TC hanya digunakan untuk pekerjaan struktur, sehingga item pekerjaan yang dilayani adalah pengangkutan material besi, bekisting dan beton. Oleh karena itu dalam penelitian ini hanya membahas pengangkutan material sesuai data di lapangan.



Gambar 3. Denah Koordinat Bangunan

## Analisis Penempatan Tower Crane

Untuk menganalisa penempatan tower crane maka dapat mengikuti langkah-langkah dan persamaan yang sudah dijelaskan pada metodologi di atas. Adapun penjelasan hasil analisa langkah tersebut adalah sebagai berikut:

### Langkah 1

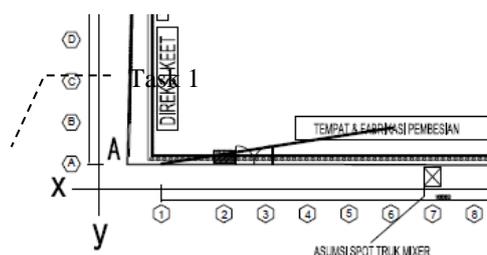
Untuk menentukan waktu perjalanan TC, maka digunakan koordinat sebagai acuan seberapa besar nilai titik *supply* dan titik *demand*, lalu nantinya akan digunakan sebagai variabel dalam perhitungan. Titik koordinat dapat dilihat pada gambar denah koordinat bangunan pada gambar 3.

**Tabel 1.** Lokasi awal Tower Crane

TC 1		TC 2		TC 3	
x	y	x	y	x	y
64,778	39,119	103,38	99,32	21,281	91,886

Pada gambar 3 menunjukkan koordinat titik *supply* dan titik *demand* untuk mempermudah perhitungan waktu tempuh TC. Perencanaan koordinat pada gambar tersebut 1 satuan yang berarti 1 meter di lapangan. Dari observasi lapangan, terdapat 3 jenis titik *supply* yaitu *supply* besi, bekisting dan beton sedangkan titik-titik *demand* yang mengacu pada grid pada lantai kerja bangunan. Selanjutnya dihitung waktu jeda rata-rata angkut dan bongkarnya yang nilainya berbeda di setiap material. Sehingga setiap pekerjaan mempunyai waktu jeda yang bervariasi.

Setelah itu dibuat garis-garis yang menunjukkan pekerjaan angkut dari *supply* menuju *demand* yang disusun menjadi 621 pekerjaan/*task* yang meliputi semua pekerjaan angkut pada *site layout*. Berikut contoh ilustrasi berupa garis dari pekerjaan pertama (*Task 1*) pada gambar 4.

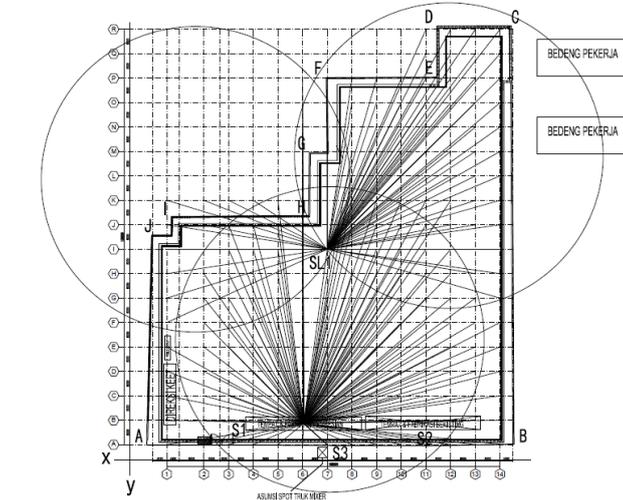


**Gambar 4.** Denah Pendistribusian Task 1

Task 1 menunjukkan titik *supply* S1 (Pabrikasi besi) menuju titik *demand* A-1. Task 2 sampai dengan task 621 diuraikan berdasarkan titik *supply* (S1, S2 dan S3) dan titik *demand* sesuai grid yang sudah dibuat. Secara umum dapat lihat gambar 5 dimana setiap garis merupakan sebuah *task*.

Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa masih terdapat beberapa titik koordinat yang tidak terjangkau oleh semua TC, oleh karena itu dalam analisa perhitungan titik ini akan

diberikan nilai penalti sebanyak 6 menit untuk asumsi kerja manual yang dilakukan guna memenuhi kebutuhan dari titik *demand* yang tidak terjangkau oleh TC. Selain itu, semua titik *supply* hanya bisa dijangkau oleh TC1, sehingga harus ada titik *supply* lanjutan (SL) yang melanjutkan pekerjaan TC1. Titik *supply* lanjutan diambil dari titik *demand* yang juga ada di dalam area kerja TC2 dan TC3. Sebagai contoh diambil ilustrasi pekerjaan angkut besi hasil pabrikasi yang titik *supply* lanjutannya ada pada SL1. Bisa dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Denah Pendistribusian Besi

Dengan cara yang sama seperti pada penentuan *task* untuk pekerjaan besi, maka dilakukan juga analisis penentuan *task* untuk pekerjaan bekisting dan beton dimana masing-masing mempunyai titik *supply* lanjutan yang beragam pula. Titik *supply* lanjutan ini nantinya dihitung terlebih dahulu dan hasilnya ditambahkan ke waktu pekerjaan yang menggunakan titik *supply* lanjutan tersebut.

Dengan menggunakan persamaan-persamaan di atas maka dapat diperoleh hasil nilai total waktu kerja TC, rata-rata waktu dan keseimbangan beban kerja seperti berikut:

Total Waktu Kerja TC	=	10623	menit
Rata-rata waktu	=	3541	menit
Keseimbangan Beban Kerja ( $\sigma$ )	=	111,3	menit

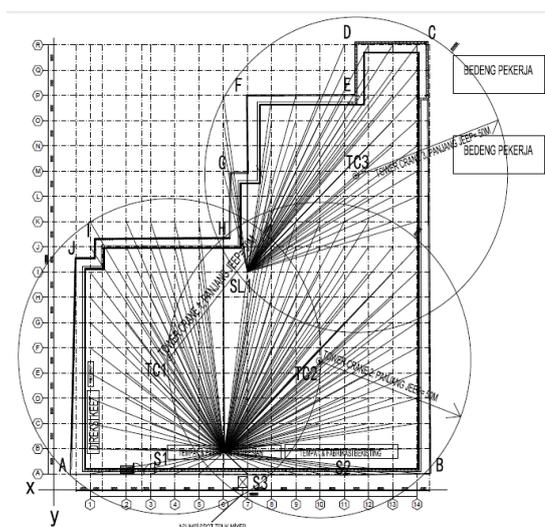
## Langkah 2

Pada tahap ini, ditentukan lokasi baru untuk TC. Kemudian diperiksa keseimbangan beban kerjanya dengan cara yang sama seperti tahap sebelumnya. Pada langkah 2 ini selain merubah koordinat TC juga merubah koordinat distribusi materialnya karena tiap pekerjaan juga tergantung aksesibilitas TC yang dipakai. Koordinat lokasi baru TC dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Lokasi baru Tower Crane

TC 1		TC 2		TC 3	
x	y	x	y	x	y
38,303	41,934	87,681	40,794	99,856	99,586

Adapun titik *supply* lanjutan (*dropping point*) yang juga harus dipertimbangkan letaknya. Namun pada penelitian ini, titik *supply* lanjutan tidak dirubah lagi karena letak TC diatur sedemikian rupa agar tidak mengubah lokasi titik SL. Sebagai contoh, berikut pekerjaan distribusi besi setelah koordinat TC diubah pada gambar 6.



**Gambar 6.** Denah Pendistribusian Besi dan koordinat baru Tower Crane

Dengan memakai perhitungan dan pengaturan seperti tahap sebelumnya sambil memerhatikan kriteria yang diharuskan, maka akan didapatkan hasil seperti berikut:

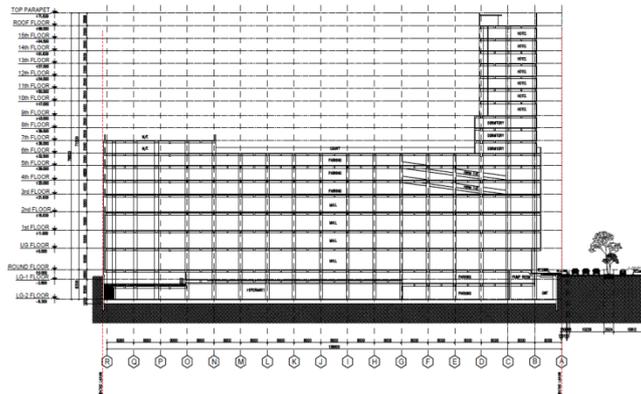
Total Waktu Kerja TC	= 9925,2	menit
Rata-rata waktu	= 3308,4	menit
Keseimbangan Beban Kerja ( $\sigma$ )	= 96,937	menit

### Langkah 3

Dari hasil perhitungan langkah 1 dan 2, ternyata Keseimbangan Beban Kerja ( $\sigma$ ) setelah lokasi TC dimodifikasi, hasilnya lebih kecil ( $96,937 < 111,3$ ). Maka penempatan TC pada lokasi yang telah diperbaharui sudah lebih baik.

### Langkah 4

Perhitungan Selisih Waktu Pengangkutan Tower Crane per Lantai dilakukan untuk mengetahui seberapa besar selisih waktu pengangkutan TC per lantai. Setiap lantai mempunyai tinggi yang bervariasi seperti yang dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Potongan Bangunan

Dalam proyek ini seluruh titik supply bersifat kondisional kecuali titik supply beton segar (S3) karena berada di luar bangunan yang otomatis tidak berada pada lantai kerja. Maka dari itu hasil perhitungannya seperti yang disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Selisih Waktu Perjalanan Tower Crane untuk pengangkutan beton

Lantai	Elevasi (m)	T (mnt)	$\Delta T$ (mnt)
3	21	14,5564	0,2345
4	25	14,744	0,1876
5	29	14,9316	0,1876
6	32,5	15,0958	0,1641
7	36	15,2599	0,1641
8	39,5	15,4241	0,1641
9	43	15,5882	0,1641
10	47	15,7758	0,1876
11	50,5	15,9399	0,1641
12	54	16,1041	0,1641
13	57,5	16,2682	0,1641
14	61	16,4324	0,1641
15	64,5	16,5965	0,1641
Rata-rata			0,175

## KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Lokasi TC1 yang semula mempunyai koordinat di (64,778; 3,9119), TC2 di (103,38; 99,32), dan TC3 di (21,281; 91,886) lalu diperbaharui menjadi TC1 di (38,303; 41,934), TC2 di (87, 681; 40, 794), dan TC3 di (99,856; 99,586) dapat menekan nilai

keseimbangan beban kerja ( $\sigma$ ) menjadi lebih kecil yaitu sebesar 96,9 menit dari lokasi TC yang sebelumnya yaitu 111,3 menit.

2. Total waktu kerja seluruh TC dapat diminimalisir dari 10623 menit menjadi 9925,2 menit dengan rata-rata waktu setiap pekerjaan yang semula 3541 menit menjadi 3308,4 menit. Di samping itu, hanya pekerjaan beton saja yang dapat dihitung selisih waktunya terhadap pekerjaan per lantai karena titik supply beton berada di luar bangunan. Didapatkan rata-rata selisih waktu per lantai adalah 0,175 menit

### **Rekomendasi**

Berdasarkan hasil penelitian tentang penentuan titik optimum lokasi grup TC yang memiliki keseimbangan beban kerja antar TC paling kecil pada proyek pembangunan Jember Icon, maka disarankan untuk penelitian selanjutnya:

1. Menambah atau mengurangi jumlah TC agar bisa dibandingkan efisiensinya.
2. Memodifikasi titik supply yang lain dan ditempatkan di luar bangunan agar dapat dihitung konflik indeks sebagai faktor penentu keoptimalannya.
3. Penentuan titik optimal TC menggunakan cara manual yang dihitung satu persatu menggunakan Microsoft Office Excel, maka untuk penelitian selanjutnya disarankan menggunakan proses iterasi menggunakan Algoritma Genetik atau software lain agar lebih cepat (Tam et al, 2008)<sup>[7]</sup>.
4. Menghitung biaya operasional TC sehingga dapat diketahui perbandingan biaya operasional aktual dengan biaya setelah dilakukan evaluasi.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Bangun Karya Semesta selaku kontraktor yang menangani proyek pembangunan Jember Icon yang telah memberikan informasi dan data pada penelitian ini.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Asiyanto. 2008. Manajemen Alat Berat Untuk Konstruksi : PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Rostiyanti, Susy Fatena. 2008. Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi. Edisi 2 : PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- Rahman, Sofyan. 2012. Optimasi Lokasi Untuk Groop Tower Crane Pada Proyek Apartemen Guna Wangsa Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya (SKRIPSI).
- Sunur, Robertus R. dan Adi Kurniawan. 2007. Program Perhitungan Efektivitas Penggunaan Tower Crane Pada Bangunan Bertingkat, Universitas Kristen Petra, Surabaya (SKRIPSI).
- Winanda, Lila Ayu Ratna. 2005. Penentuan Lokasi Tower Crane Menggunakan Algoritma Genetika Pada Proyek Perkantoran Halim Sakti, Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil I – 2005 Peran Rekayasa Teknik Sipil Dalam Menunjang Pelaksanaan Otonomi Daerah, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, C-1.
- Winanda, Lila Ayu Ratna. 2010. Evaluasi Penempatan Lokasi Group Tower Crane Terhadap Titik Layanan, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Ramah Lingkungan dalam Pembangunan Berkelanjutan, Institut Teknologi Nasional, Malang.

Tam and Arthur W T Leung. 2008. Genetic Algorithm Modeling Aided with 3D Visualization in Optimizing Construction Site Facility Layout. International Department of Building & Construction and Division of Building Science and Technology, City University of Hong Kong.