

## ANALISIS OPTIMASI PENEMPATAN DAN PENGADAAN TOWER CRANE PADA PROYEK HIGHRISE BUILDING

Julianto Pagassang<sup>1</sup>, Susy Fatena Rostiyanti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Magister Teknik Sipil Universitas Tarumanagara  
Email: juliant\_juve@yahoo.com

<sup>2</sup>Dosen Manajemen dan Rekayasa Konstruksi Universitas Agung Podomoro  
Email: srostiya@gmail.com

### ABSTRAK

*Pengadaan tower crane untuk pekerjaan proyek highrise building dipengaruhi oleh penempatan titik supply serta kondisi lapangan atau tata letak proyek. Penentuan posisi tower crane tanpa melakukan skenario titik supply membuat kontraktor tidak mengetahui pengaruh dari penempatan titik supply yang diterapkan terhadap penentuan posisi tower crane secara optimal. Penelitian ini dilakukan dengan skenario analisis penempatan tower crane perencanaan awal kontraktor dan skenario memodelkan penempatan yang dimodifikasi. Analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis keseimbangan kerja dan analisis indeks konflik pada kelompok tower crane. Berdasarkan analisis yang dilakukan pada kedua skenario, maka diperoleh hasil bahwa penentuan titik supply sangat mempengaruhi posisi optimal tower crane. Pada skenario 1 penentuan titik supply mengikuti perencanaan awal kontraktor yang menghasilkan indeks konflik dan keseimbangan kerja yang besar. Pada skenario 2 penentuan titik supply peletakkannya dimodifikasi sebisa mungkin agar tidak terletak pada area perpotongan antara tower crane. Dengan cara tersebut maka didapatkan indeks konflik yang jauh lebih kecil dari skenario 1. Nilai indeks konflik berkurang dengan hanya memindahkan 1 titik supply. Pemindahan titik supply pada skenario 2 juga menghasilkan nilai keseimbangan kerja yang lebih kecil yaitu 50% dari skenario 1. Penentuan titik supply dengan tepat dapat mengurangi indeks konflik, nilai keseimbangan kerja yang kecil sehingga mempengaruhi posisi optimal tower crane.*

**Kata kunci:** *tower crane, highrise building, indeks konflik, keseimbangan beban kerja, titik supply.*

### 1. PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Salah satu masalah yang paling jelas dalam membangun sebuah proyek adalah bagaimana mengangkut bahan bangunan yang berat. Alat berat memberikan solusi untuk masalah itu (Peurifoy, et al., 2006). Pemilihan peralatan konstruksi dapat menentukan metode pekerjaan, waktu untuk menyelesaikan pekerjaan, dan biaya konstruksi. Dalam proyek konstruksi pembangunan gedung, salah satu alat yang sangat dibutuhkan adalah *tower crane* (Abdelmegid et al., 2015). Kebutuhan *tower crane* pada pembangunan gedung dipengaruhi oleh faktor kondisi lapangan yang tidak luas, ketinggian tidak terjangkau oleh alat lain, serta perpindahan alat tidak perlu. Day (1991) menyampaikan bahwa jika ruang kosong yang tersedia sisa sedikit dan pekerjaan yang akan dilakukan adalah pengangkutan beban maka dapat dipertimbangkan pemakaian *tower crane*. Faktor tersebut pula yang menjadi pertimbangan pemilihan *tower crane* sebagai alat yang paling tepat pada proyek pembangunan gedung, khususnya gedung bertingkat tinggi (*highrise building*).

Pertimbangan akan pemilihan dan pengadaan *tower crane* pada proyek *highrise building* harus direncanakan sebelum proyek tersebut dimulai. Karena *tower crane* harus dapat memenuhi kebutuhan pemindahan material sesuai daya jangkauan yang ditetapkan, dengan posisi yang tetap selama proyek berlangsung. Selain itu, penempatan *tower crane* harus direncanakan bisa menjangkau seluruh area proyek konstruksi bangunan yang akan dikerjakan dengan manuver yang aman tanpa terhalang. Keuntungan utama dari *tower crane* adalah jib atau boom *tower crane* yang posisinya di puncak tertinggi dari gedung konstruksi, sehingga memiliki ketinggian yang cukup untuk menghindari penghalang (Harris, 1994).

## 2. KAJIAN LITERATUR

### 2.1 Dasar Pemilihan *Tower crane*

Menurut Rostiyanti (2008), secara garis besar pada saat menghitung beban sebaiknya perhitungan total beban dilakukan dengan menambahkan 5% dari total berat maksimum. Jadi pengasumsian beban adalah 105% dari beban yang sebenarnya. Angka 5% ini adalah faktor keamanan. Faktor luar yang harus diperhatikan dalam menentukan kapasitas alat adalah kekuatan angin terhadap alat, ayunan beban pada saat dipindahkan, kecepatan pemindahan material, serta pengereman mesin dalam pergerakannya.

Menurut Rostiyanti (2008), faktor-faktor yang mempengaruhi posisi *tower crane* adalah:

1. Keamanan, untuk kepentingan keamanan dan efisiensi maka posisi *tower crane* diletakkan sejauh mungkin dari *tower crane* yang lain.
2. Kapasitas *Crane*, kapasitas angkat *crane* ditentukan dari kurva radius beban dimana semakin besar beban maka semakin kecil radius operasinya.
3. Ruang Kerja, semakin kecil ruang kerja maka meningkatkan kemungkinan terjadinya hambatan dan tabrakan.
4. Lokasi *Supply* dan *Demand*, lokasi penyediaan (*supply*) material dan lokasi yang membutuhkan (*demand*) harus yang ditentukan terlebih dahulu.
5. *Feasible area*, *feasible area* merupakan area yang paling memungkinkan untuk menempatkan *tower crane*.

### 2.2 Analisis Letak *Tower crane*

Menurut Zhang, et al.(1999), dalam analisis *tower crane* ada beberapa variabel yang penting dalam menentukan posisi optimal yaitu pemodelan kelompok kerja *tower crane*, pembagian tugas pada kelompok dan kemudian didapatkan posisi optimal dari kelompok *tower crane*. Variabel di atas secara jelas mulai dari kapasitas angkat, radius minimum, *feasible area*, indeks konflik, dan keseimbangan kerja.

#### Radius Minimum

Sebelum menentukan radius minimum maka lokasi *demand* dan *supply* harus diketahui. Selanjutnya dipilih radius terkecil dengan menarik garis dari titik *demand* dan *supply* yang dihitung dalam persamaan berikut:

$$L = \sqrt{(Xs - Xd)^2 + (Ys - Yd)^2} \quad (1)$$

L: Jarak titik *demand* dan titik *supply*

Xs, Ys: Titik koordinat *supply*

Xd, Yd: Titik koordinat *demand*

Panjang minimum jib harus dihitung dari jarak maksimum antara titik *supply* dan titik *demand*.

$$R_{min} = \frac{L_{max}}{2} + 0,50 \quad (2)$$

(sumber: Hosseini et al., 2017)

$$R_{min} = \left(\frac{L_{max}}{2}\right) \times 1,10 \quad (3)$$

(sumber: Khalek, et al., 2013)

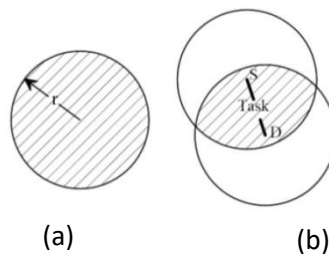
R: Radius minimum crane

Lmax: Jarak maksimum titik *demand* dan titik *supply*

#### Kapasitas Angkat dan *Feasible Area* Tunggal

Kapasitas angkat *crane* ditentukan dari kurva radius beban, untuk beban lebih besar maka radiusnya lebih pendek. Diasumsikan radius adalah r(Rmin), sehingga *tower crane* tidak bisa mengangkat beban kecuali berada dalam lingkaran dengan radius r (Gambar 1(a)). Untuk

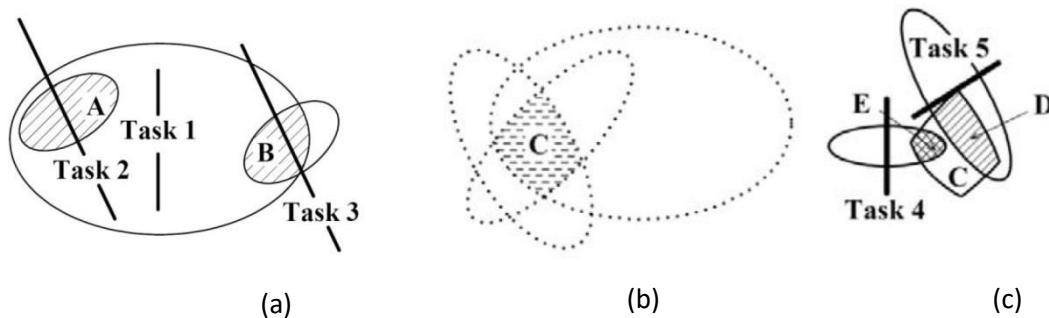
mengantar beban dari titik *supply* (S) ke titik *demand* (D), *crane* harus diposisikan dalam area berbentuk elips yang merupakan perpotongan dari dua lingkaran, seperti (Gambar 1(b)). Area ini disebut *feasible task area*. Luas area tergantung jarak antara S dan D, berat dari beban, dan kapasitas *crane*. Semakin besar *feasible area* maka semakin mudah dalam menangani pekerjaan. (Sebt, et al., 2008).



Gambar 1. *Feasible area* (sumber: Sebt, 2008)

**Feasible Area Grup**

Tiga hubungan geometris muncul untuk menentukan *feasible area* yang berdekatan. Seperti yang terlihat pada Gambar 2(a), dengan menempatkan di area A, *tower crane* bisa menangani pekerjaan 1 dan 2, demikian juga pada area B bisa menangani pekerjaan 1 dan 3. Disamping itu kasus (a) menunjukkan bahwa pekerjaan 2 dan 3 sangat berjauhan sehingga *tower crane* tunggal tidak bisa menangani keduanya tanpa memindahkannya, jadi dibutuhkan lebih dari satu *tower crane* atau *tower crane* dengan kapasitas pengangkatan yang lebih besar. Pada Gambar 2(b), area C merupakan *feasible area* dari 3 pekerjaan. Kemudian pada Gambar 2(c), apabila terdapat dua pilihan setelah area C di overlap dua pekerjaan, maka yang dipilih adalah *feasible area* yang terbesar, yaitu area D. Dan untuk pekerjaan 4 masuk area lainnya atau dilayani *tower crane* lain.



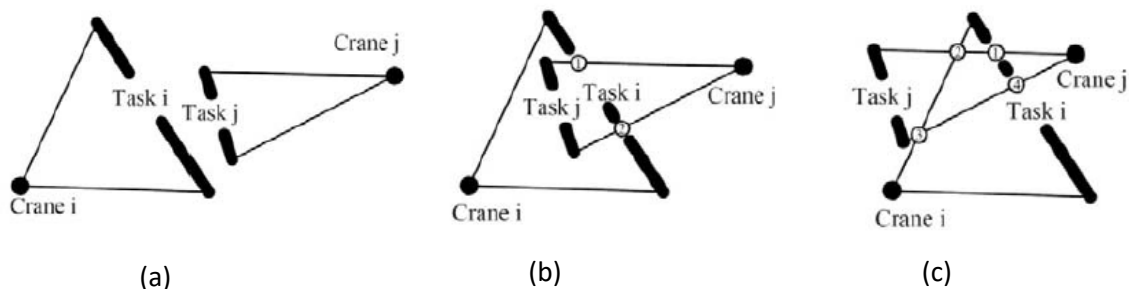
Gambar 2 *Overlap Feasible area* (sumber: Sebt, 2008)

Jika tidak ada *overlap* yang terjadi antara *feasible area* maka dua buah *tower crane* dibutuhkan untuk melayani setiap pekerjaan secara terpisah, tetapi jika tetap menggunakan satu buah *tower crane*, maka dibutuhkan alternatif lain, misalnya menggunakan *tower crane* dengan kapasitas angkat yang lebih besar.

**Conflict Index**

Untuk mengukur kemungkinan konflik, diperkenalkan parameter NC atau *conflict index*. Setiap  $\delta_{ij}$  dicocokkan pada segitiga dengan titik *supply*, titik *demand* dan lokasi *tower crane* sebagai ujung-ujungnya (Gambar 3). Jika dua segitiga letaknya berjauhan maka tidak akan terjadi konflik (Gambar 3(a)). Jumlah perpotongan antara dua segitiga menggambarkan tingkat keruwetan konflik, semakin berpotongan maka semakin mungkin terjadi konflik. Maka dari (Gambar 3(c))

konflik lebih memungkinkan terjadi daripada (Gambar 3(b)). Sebagai tambahan, semakin intensif arus material juga berpengaruh terhadap kemungkinan konflik. (Sebt, et al., 2008)



Gambar 3. Contoh Konflik Pekerjaan (sumber: Sebt, 2008)

### Keseimbangan Beban Kerja

Untuk perhitungan standar deviasi ( $\sigma$ ) keseimbangan beban kerja pada masing-masing waktu pengangkutan untuk setiap crane menggunakan persamaan:

Dimana:

$$\sigma = \sqrt{\sum_i \frac{(\bar{T} - T_i)^2}{1}} \quad (4)$$

$\sigma$  = kriteria penentuan pekerjaan

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

$T_i$  = waktu pengangkutan pengait crane ke-i

$$T_i = \sum_{j=1}^J \delta_{ij} \cdot Q_j \cdot (t_{1ij} + t_{2ij} + t_{3ij} + t_{4ij}) \quad (5)$$

Dimana:

$T_i$  = waktu pengangkutan pengait crane ke-i

$\delta_{ij}$  = variabel binary

$Q_j$  = jumlah angkatan untuk pekerjaan j

$t_{1ij}$  = waktu perjalanan pengait dengan beban

$t_{2ij}$  = waktu perjalanan pengait tanpa beban

$t_{3ij}$  = waktu jeda rata-rata pengangkatan

$t_{4ij}$  = waktu jeda rata-rata pembongkaran

$\delta_{ij}$  merupakan angka dari matriks aksesibilitas yang nilainya 1 atau 0, sedangkan Q adalah frekuensi distribusi dan  $(t_{1ij} + t_{2ij} + t_{3ij} + t_{4ij})$  merupakan total waktu yang diperlukan untuk mengangkat material dari titik *supply* ke titik *demand* dengan lokasi *tower crane* yang telah ditentukan sebelumnya. (sumber: Zhang. et al., 1999)

### Kecepatan Vertikal Hook

Kecepatan pengangkutan vertikal ( $V_v$ ) dinyatakan dalam satuan meter per menit dan bervariasi sesuai dengan kebutuhan benda yang harus diangkat. Semakin besar beban yang diangkat maka kecepatannya akan semakin rendah pula. Oleh karena itu waktu pengangkutan *tower crane* dibagi menjadi waktu penuh (*loaded*) dan waktu kosong (*unloaded*) yang dihitung dalam persamaan berikut:

$$T = \max(T_h, T_v) + \beta \cdot \min(T_h, T_v) \quad (6)$$

$$T_v = |Z_{Di} - Z_{Si}| / V_h \quad (7)$$

$$T_h = \max(T_a, T_\omega) + \alpha \cdot \min(T_a, T_\omega) \quad (8)$$

$$\rho(D_i) = \sqrt{(X_{D_i} - X_{C_{r_i}})^2 + (Y_{D_i} - Y_{C_{r_i}})^2} \quad (9)$$

$$\rho(S_i) = \sqrt{(X_{S_i} - X_{C_{r_i}})^2 + (Y_{S_i} - Y_{C_{r_i}})^2} \quad (10)$$

$$l_i = \sqrt{(X_{D_i} - X_{S_i})^2 + (Y_{D_i} - Y_{S_i})^2} \quad (11)$$

Waktu pergerakan radial trolley

$$T_a = \frac{|\rho(D_i) - \rho(S_i)|}{V_a} \quad (12)$$

$$T_\omega = \frac{1}{\omega} \text{Arc cos} \left( \frac{l_i^2 - \rho(D_i)^2 - \rho(S_i)^2}{2 \cdot \rho(D_i) \cdot \rho(S_i)} \right); (0 \leq \text{Arc cos}(\theta) \leq \pi) \quad (13)$$

Dimana:

$T_h$  = waktu perjalanan horizontal pengait

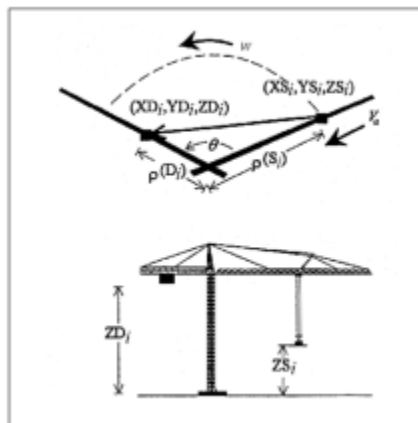
$T_v$  = waktu perjalanan vertikal pengait

$T_a$  = waktu pergerakan radial trolley

$T_\omega$  = waktu pergerakan tangensial trolley

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

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



Gambar 4 Waktu Perjalanan Pengait  
 (sumber: Tam, et al., 2008)

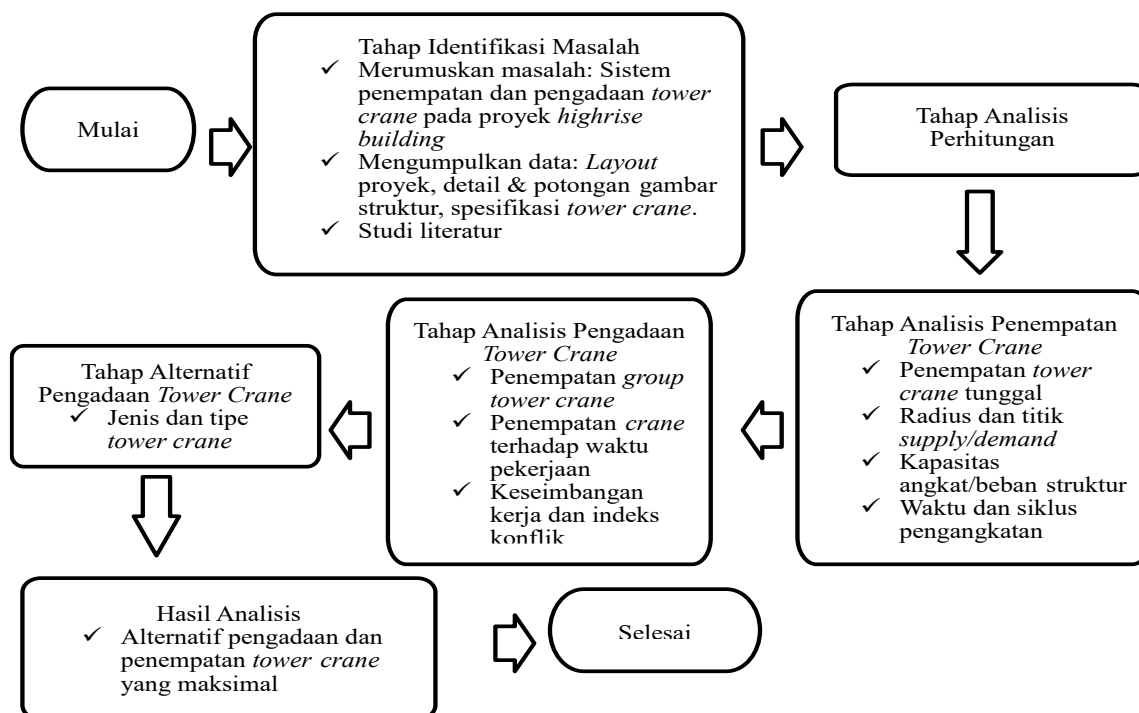
### Lokasi Optimal Tower crane

Ketika kelompok pekerjaan telah ditentukan sebelumnya, maka area overlap bisa digambarkan secara jelas. Setelah itu penetapan lokasi awal di pusat geometris *feasible area* atau dimana pun di dalam *feasible area*. Setiap pekerjaan dikelompokkan secara khusus, bersama dengan beban kerja yang seimbang dan kemungkinan terjadi gangguan yang minimal. Setelah kelompok pekerjaan terbentuk, lokasi awal yang menjadi acuan untuk perhitungan penentuan kelompok pekerjaan diabaikan. Dan pada tahap ini dicari lokasi yang paling optimal di antara titik *feasible area*. Titik yang paling optimal adalah titik yang memiliki indeks konflik dan keseimbangan beban kerja antar *tower crane* yang paling kecil.

### 3. METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif kuantitatif yang berusaha menggambarkan obyek secara nyata dan apa adanya guna mengetahui nilai suatu variabel. Ada 2 kriteria dalam menentukan letak *group tower crane* yang optimal yaitu konflik indek (NC) dan keseimbangan beban kerja ( $\sigma$ ). NC sebagai parameter nilai konflik akan menunjukkan berapa banyak intensitas tabrakan ataupun tumpang tindih yang dialami *tower crane* satu dengan yang lainnya,  $\sigma$  menunjukkan keseimbangan beban kerja pada masing-masing

*tower crane* dimana setiap *tower crane* diharapkan mendapatkan beban kerja yang sama atau memiliki selisih yang tidak terlalu besar dengan *tower crane* lainnya. Secara jelas digambarkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Flowchart analisis teknis tower crane

### 3.1 Review Metodologi

Dalam beberapa penelitian sebelumnya, menggambarkan secara jelas penentuan optimal *tower crane* disertai dengan parameter-parameter yang digunakan. Penelitian tersebut memiliki kelebihan dalam keakuratan pada penentuan *feasible area*, keseimbangan kerja serta konflik indeks. Penelitian tersebut juga memiliki beberapa kekurangan yaitu dalam menentukan radius minimum, maka pada posisi tertentu (posisi titik *supply* berada di tengah-tengah area *demand*) penentuan radius minimum tidak berlaku sehingga penentuannya mengacuh pada titik terjauh antara titik *demand*. Selain itu, kekurangan lain dari penelitian sebelumnya yaitu penentuan *feasible area*, konflik indeks yang rumit sehingga perlu disederhanakan dengan pendekatan luasan.

### 3.2 Asumsi yang digunakan

Asumsi yang digunakan dalam analisis ini sebagai berikut:

1. Tata letak geometrik semua titik *supply* dan *demand* diketahui. Asumsi ini juga dibuat dengan model yang dianalisis di sini.
2. Area *supply* dibuat dalam bentuk persegi panjang untuk menyederhanakan masalah. Setiap area diberi nama dan titik tengah (pusat) daerah ini adalah titik *supply* (unloading).
3. Area *demand* dibuat dalam bentuk persegi untuk menyederhanakan masalah. Setiap area diberi nama dan titik tengah (pusat) daerah ini adalah titik *demand*.
4. Lokasi sementara dan kendala untuk setiap lokasi diasumsikan tidak berubah.
5. Waktu tunggu crane seperti bongkar muat, penundaan tidak akan dimodelkan karena tidak berbeda ketika lokasi crane berubah dari satu tempat ke tempat lain.
6. Pembagian zone pelayanan untuk setiap tower crane mengikuti metode kerja yang telah ditetapkan di awal.

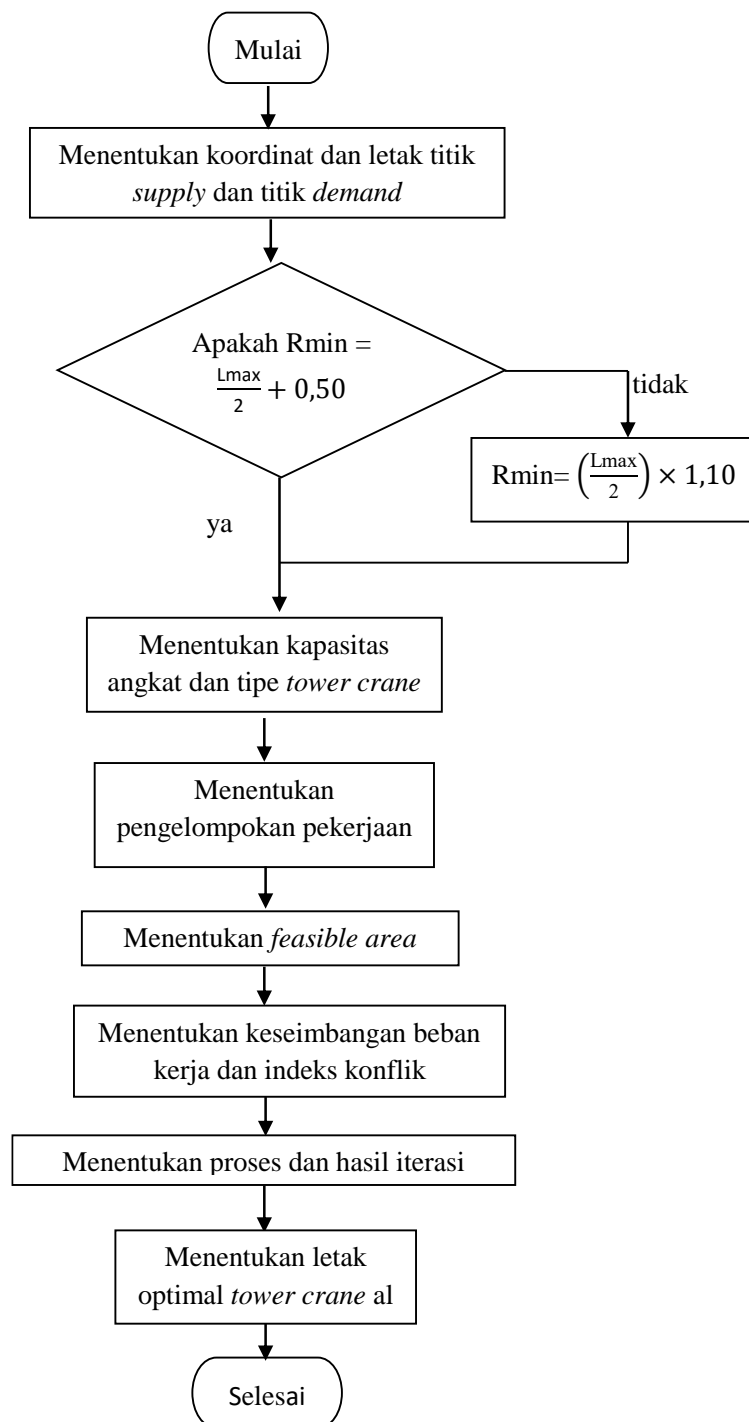
Untuk memperoleh titik optimal *tower crane* pada penelitian ini maka direncanakan ada 2 skenario. Masing-masing skenario memiliki perbedaan seperti tercantum di bawah ini:

1. Skenario 1

Dalam skenario ini mengetahui titik optimal *tower crane* sesuai dengan data denah titik *supply* pada perencanaan awal kontraktor dan radius *tower crane* dihitung sesuai dengan kebutuhan.

2. Skenario 2

Skenario 2 ini mengetahui titik optimal *tower crane* pada kondisi titik *supply* dan *tower crane* yang telah dimodifikasi penempatannya serta radius dimodifikasi sesuai kebutuhan menurut teori penelitian ini.

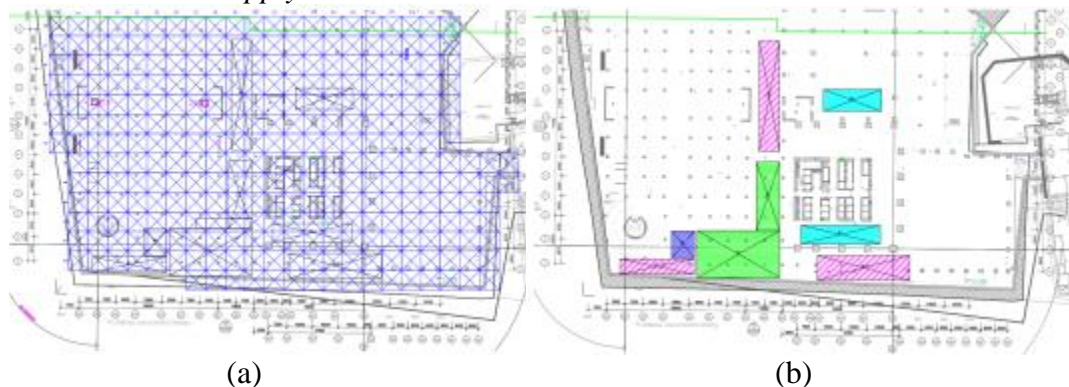


Gambar 6 Flowchart analisis teknis tower crane

## 4. HASIL DAN ANALISIS

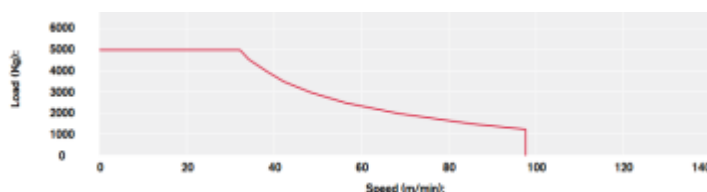
### 4.1 Skenario 1

Gambar 7(a) menunjukkan letak koordinat titik *supply* dan titik *demand* (Gambar 7(b)) dan juga penamaan dari titik *supply* dan titik *demand*.

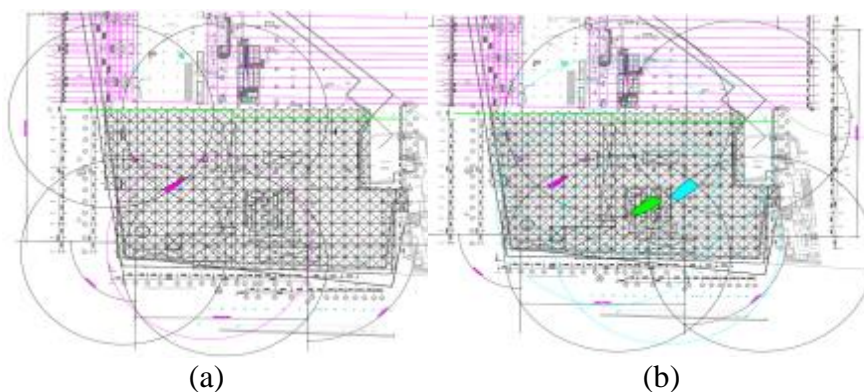


Gambar 7 (a) titik *demand* (b) titik *supply*

Berdasarkan tabel mekanisme *tower crane* sebagai contoh digunakan merek Terex dalam penelitian ini (Gambar 8), kecepatan vertikal tergantung pada beban maksimal yang diangkut. Apabila beban maksimal yang dapat diangkut adalah 2 ton, maka kecepatan vertikal ( $V_v$ ) adalah 50 m/menit dan kecepatan gerak horizontal radial pengait antara 0 sampai 55 m/menit maka dipakai ( $V_a$ ) sebesar 55 m/menit. Kecepatan putar lengan kerja antara 0 sampai 0,6 rad/menit dan dipakai ( $V_w$ ) sebesar 0,6 rpm.



Gambar 8 Mekanisme *Tower crane* (Sumber: Brosur *Tower crane* Terex)



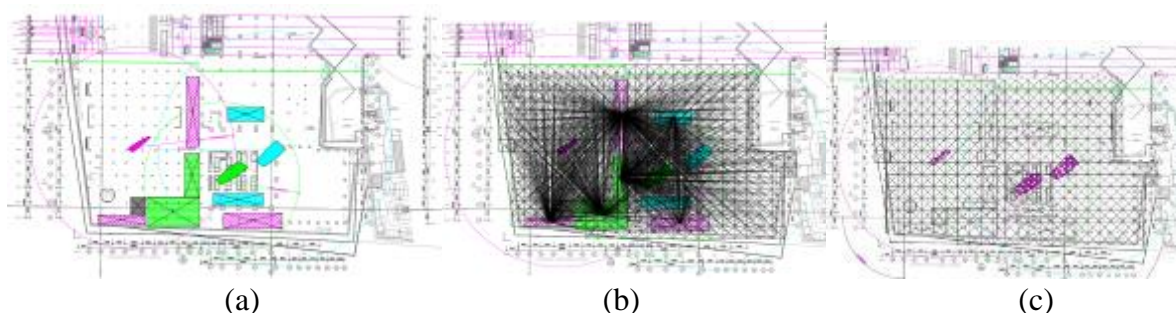
Gambar 9 (a) *Feasible area* Zona 1 terhadap S3 (*Rebar Supply*) (b) *Feasible area* Zona 1-3 terhadap S4,S5,S6,S7, dan S8

Gambar daerah yang diarsir di atas (Gambar 9(a),(b)) menunjukkan *feasible task area* pada area distribusi TC1, TC2, dan TC3. Selanjutnya daerah ini akan dibagi menjadi beberapa titik kemungkinan untuk digunakan menentukan posisi optimal pada *tower crane*.

Gambar di bawah (Gambar 10(a)) menunjukkan posisi TC1, TC2, dan TC3 dengan radius masing-masing adalah 65 m, 55 m, dan 75 m. Titik awal yang dipilih secara acak akan digunakan sebagai acuan awal perhitungan indeks konflik (NC) dan keseimbangan beban kerja



antar *tower crane* sebelum dilakukan iterasi. Pada tahap penentuan kelompok pekerjaan, lokasi *tower crane* direncanakan berada sesuai kondisi di lapangan, sehingga dapat diketahui tingkat aksesibilitasnya. Gambar 10(b) menunjukkan tingkat aksesibilitas dari masing-masing *tower crane*, dengan radius yang telah ditentukan tersebut *tower crane* mampu memenuhi semua pendistribusian material dari titik *supply* ke titik *demand*.



Gambar 10 (a) Lokasi TC1, TC2, dan TC3; (b) Aksesibilitas TC1, TC2, dan TC 3; (c)Titik Sampel dalam *Feasible Task Area* Skenario 1

Tabel 1. Hasil Iterasi TC 1,TC 2, dan TC 3

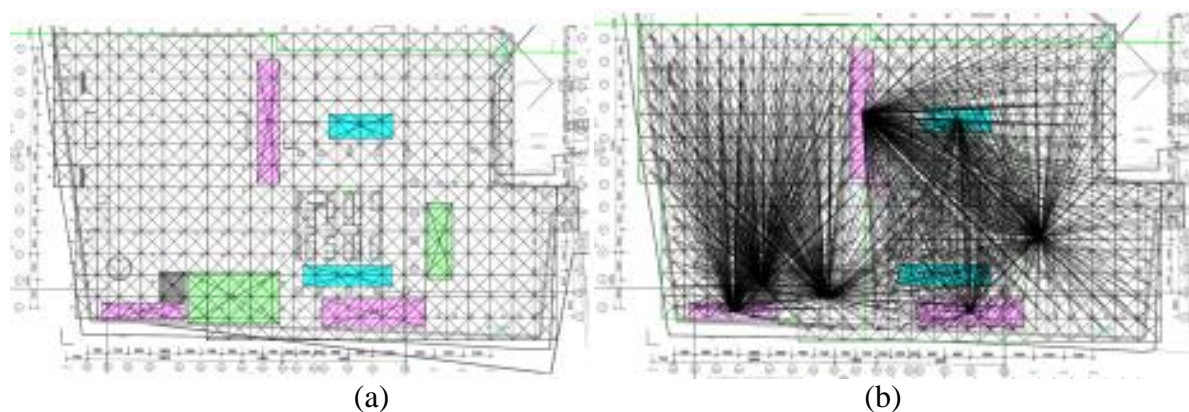
| Koordinat      | TC1         | TC2         | TC3           | NC   | $\sigma$ (jam) |
|----------------|-------------|-------------|---------------|------|----------------|
| X <sub>1</sub> | 370.991.327 | 941.521.781 | 1.321.348.144 | 1983 | 1676,023       |
| Y <sub>1</sub> | 580.254.113 | 374.404.308 | 561.920.966   |      |                |
| X <sub>2</sub> | 367.522.034 | 936.607.108 | 1.339.960.973 | 1855 | 1692,631       |
| Y <sub>2</sub> | 572.013.126 | 361.041.094 | 569.475.350   |      |                |
| X <sub>3</sub> | 367.522.034 | 936.607.108 | 120.053.687   | 1921 | 1526,835       |
| Y <sub>3</sub> | 572.013.126 | 361.041.094 | 469.475.350   |      |                |
| X <sub>4</sub> | 467.687.789 | 936.607.108 | 120.053.687   | 2008 | 1529,367       |
| Y <sub>4</sub> | 646.275.760 | 361.041.094 | 469.475.350   |      |                |
| X <sub>5</sub> | 367.522.034 | 105.631.916 | 1.200.536.870 | 1897 | 1528,525       |
| Y <sub>5</sub> | 572.013.126 | 481.041.094 | 46.947.535    |      |                |

Dalam Tabel 1 terlihat jelas perbedaan antara NC dan  $\sigma$  untuk setiap iterasi yang dilakukan. Koordinat X<sub>1</sub>;Y<sub>1</sub> menunjukkan posisi awal *crane* yang ditentukan secara acak dalam *feasible area* dan melalui analisis teknis maka didapatkan NC dan  $\sigma$  tersebut. Pada koordinat X<sub>2</sub>;Y<sub>2</sub>, TC1, TC2, dan TC3 diatur berada dalam posisi ekstrem, yaitu titik yang berada pada bagian paling tepi dari setiap *feasible area*, karena radius yang terbentuk dari 3 titik ekstrem akan menghasilkan irisan yang kecil, sehingga memiliki nilai indeks konflik yang paling minimum. Hasil analisisnya menunjukkan bahwa benar NC terkecil ada pada posisi *tower crane* X<sub>2</sub>,Y<sub>2</sub>.

#### 4.2 Skenario 2

Pada skenario 2 ini, titik optimal *tower crane* dianalisis pada kondisi titik *supply* dan *tower crane* yang telah dimodifikasi penempatannya serta radius dimodifikasi sesuai kebutuhan menurut teori penelitian ini. Dari Gambar 11(a) dapat diketahui dimana letak koordinat titik *supply* dan titik *demand*, juga penamaan dari titik *supply* dan titik *demand*. Posisi titik *demand* masih sama seperti skenario 1, namun titik *supply* pada S4 posisinya dimodifikasi. Perubahan posisi S4

tersebut dikarenakan posisi sebelumnya berada diantara perpotongan ketiga *tower crane* sehingga mengakibatkan indeks konflik yang nilainya besar.



Gambar 11(a) Denah Titik *Supply* dan titik *Demand*; (b)Aksesibilitas TC1, TC2, dan TC 3

Tabel 2. Hasil Iterasi TC 1,TC 2, dan TC 3

| Koordinat | TC1         | TC2         | TC3           | NC   | $\sigma$ (jam) |
|-----------|-------------|-------------|---------------|------|----------------|
| $X_1$     | 370.991.327 | 941.521.781 | 1.321.348.144 | 1632 | 16.037.412     |
| $Y_1$     | 580.254.113 | 374.404.308 | 561.920.966   |      |                |
| $X_2$     | 367.522.034 | 936.607.108 | 1.339.960.973 | 934  | 16.204.478     |
| $Y_2$     | 572.013.126 | 361.041.094 | 569.475.350   |      |                |
| $X_3$     | 367.522.034 | 936.607.108 | 120.053.687   | 1000 | 15.135.692     |
| $Y_3$     | 572.013.126 | 361.041.094 | 469.475.350   |      |                |
| $X_4$     | 467.687.789 | 936.607.108 | 120.053.687   | 1087 | 16.442.012     |
| $Y_4$     | 646.275.760 | 361.041.094 | 469.475.350   |      |                |
| $X_5$     | 367.522.034 | 105.631.916 | 1.200.536.870 | 976  | 15.003.015     |
| $Y_5$     | 572.013.126 | 481.041.094 | 46.947.535    |      |                |

Dalam Tabel 2 di atas terlihat jelas perbedaan antara NC dan  $\sigma$  untuk setiap iterasi yang dilakukan. Koordinat  $X_1;Y_1$  menunjukkan posisi awal *crane* yang ditentukan secara acak dalam *feasible area* dan melalui analisis teknis maka didapatkan NC dan  $\sigma$  tersebut. Pada koordinat  $X_2;Y_2$ , TC1, TC2, dan TC3 diatur berada dalam posisi ekstrem, yaitu titik yang berada pada bagian paling tepi dari setiap *feasible area*, karena radius yang terbentuk dari 3 titik ekstrem akan menghasilkan irisan yang kecil, sehingga memiliki nilai indeks konflik yang paling minimum. Hasil analisisnya menunjukkan bahwa benar NC terkecil ada pada posisi *tower crane*  $X_2,Y_2$ .

Pemindahan titik *supply* S4 yang semula posisinya berada diantara konflik/persinggungan antara TC1 dan TC2 juga TC1 dan TC3 ini menghasilkan pengurangan indeks konflik yaitu 351 untuk setiap NC antara *tower crane*.

### 4.3 Pembahasan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka beberapa hasilnya yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Perbandingan Hasil Skenario 1 dan 2

|                         | Skenario 1                         | Skenario 2                         |
|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Titik <i>supply</i>     | Sesuai perencanaan awal kontraktor | Modifikasi (posisi S4 diubah)      |
| Titik <i>demand</i>     | Sesuai dengan layout               | Sesuai dengan layout               |
| Jumlah TC               | 3                                  | 3                                  |
| Indeks konflik          | 29120                              | 27356                              |
| Keseimbangan kerja      | 728.8408 Jam                       | 355.4500 Jam                       |
| Pengelompokan pekerjaan | Sesuai perencanaan awal kontraktor | Sesuai perencanaan awal kontraktor |

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, maka dalam pemilihan dan penempatan *tower crane* perlu dipertimbangkan:

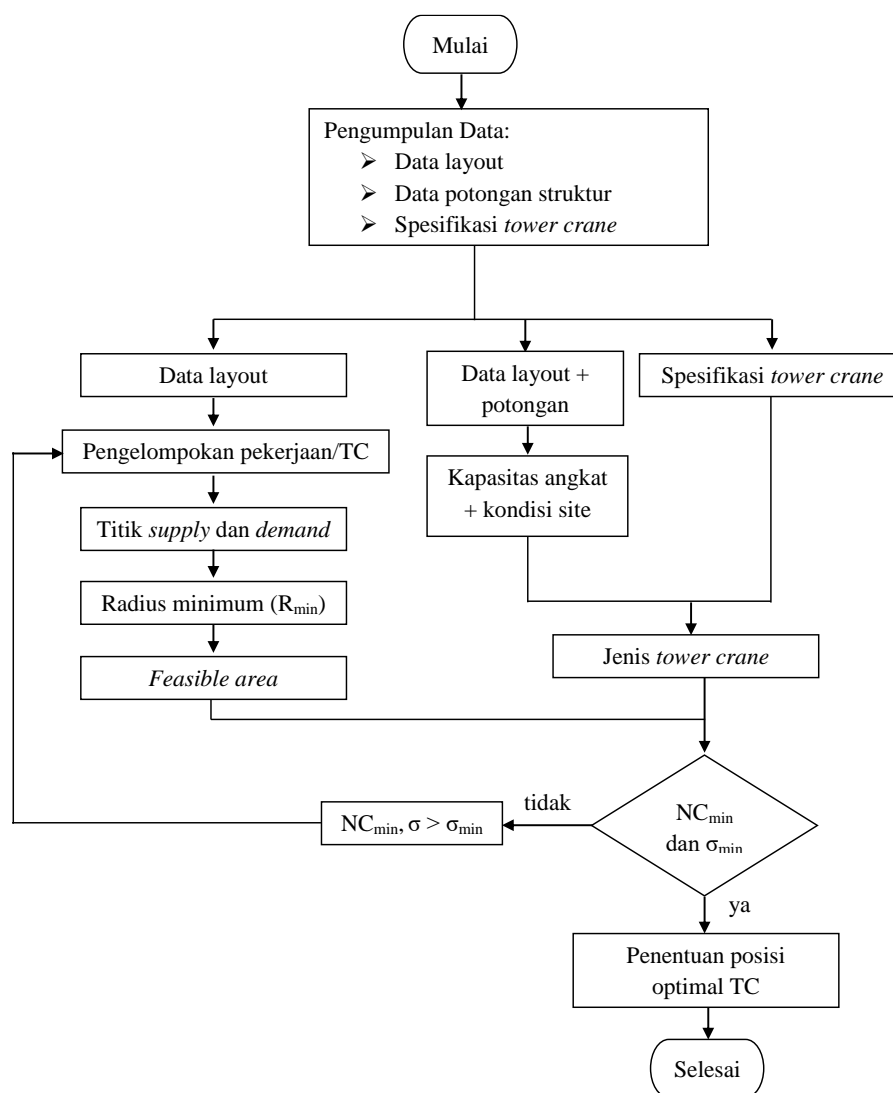
1. Pengelompokan pekerjaan, semakin luas area yang dikelompokkan maka semakin luas pula jangkauan (radius minimum) yang diperlukan. Pengelompokan pekerjaan dilakukan dengan mempertimbangkan banyaknya *task* yang dilayani oleh setiap *tower crane* sehingga menghasilkan nilai keseimbangan kerja yang kecil atau merata.
2. Kapasitas angkat, semakin besar beban maksimum yang dibebankan pada *tower crane* terhadap area yang dilayani, maka semakin besar pula kapasitas angkat yang diperlukan oleh *tower crane*.
3. Kondisi lapangan, kondisi lahan yang sempit membutuhkan jenis *tower crane* yang bisa melayani seluruh area tanpa mengganggu daerah sekitar, misalnya pemilihan jenis *luffing crane*. Kondisi lahan yang sangat luas pun membutuhkan *tower crane* yang bisa melayani seluruh area dengan jumlah *tower crane* yang minimum, misalnya pemilihan jenis *rail-mounted crane*.
4. Posisi titik *supply*, penempatan titik *supply* pada area perpotongan antara *tower crane* satu dengan yang lain perlu dihindari. Selain itu, penempatan titik *supply* sebaiknya berada pada jarak rata-rata terkecil terhadap titik *demand* dan perlu mempertimbangkan kondisi lapangan serta kemudahan akses.
5. Indeks konflik, memodifikasi posisi *tower crane* pada kondisi ekstrem menghasilkan irisan yang kecil sehingga memiliki nilai indeks konflik yang paling minimum. Semakin kecil indeks konflik maka semakin baik pula pergerakan kelompok dari *tower crane*. Sehingga untuk menghasilkan indeks konflik yang kecil, maka diperlukan posisi *tower crane* saling menjauh namun masih dalam *feasible area*.
6. Keseimbangan kerja, semakin kecil nilai keseimbangan kerja maka semakin merata pula beban kerja yang ditanggung masing-masing *tower crane*. Untuk mendapatkan nilai keseimbangan kerja yang kecil maka pembagian beban kerja antara *tower crane* yang satu terhadap yang lain harus merata. Pemerataan dilakukan dengan meninjau hasil analisis perhitungan waktu angkat *tower crane*. *Tower crane* yang memiliki waktu yang lebih besar dikurangi beban kerjanya dengan cara mengelompokkan ulang *task*/aksesibilitas pada *tower crane*.

Dari 6 butir di atas, dalam analisis pengadaan dan penempatan tower crane dapat diringkas dalam beberapa tahap seperti digambarkan dalam Gambar 12.

Dalam penelitian ini metode yang digunakan merupakan penyempurnaan dari penelitian sebelumnya sehingga memiliki kelebihan sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan lebih praktis dan dapat digunakan pada semua kondisi *layout* proyek.
2. Penentuan posisi optimal *tower crane* mencakup semua tahap dari pengumpulan data sampai penentuan posisi *tower crane*.
3. Penentuan konflik indeks, *feasible are* yang lebih sederhana yaitu dengan melakukan pendekatan luasan area.

Untuk melengkapi penelitian yang telah dilakukan maka diperlukan penyempurnaan parameter yang telah digunakan. Salah satu variabel yang penting ialah konflik indeks. Dalam penentuan konflik indeks diperlukan waktu setiap konflik indeks untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.



Gambar 12. Flowchart Analisis Pengadaan Dan Penempatan Tower Crane

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dan analisis optimasi pengadaan dan penempatan *tower crane* pada proyek *highrise building*, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penempatan optimal *tower crane* pada proyek *highrise building* dihasilkan oleh indeks konflik minimum, keseimbangan kerja minimum, posisi titik *supply* berada diluar area indeks konflik, serta pengelompokan pekerjaan yang merata.
2. Penempatan optimal bisa didapatkan dengan modifikasi pengelompokan pekerjaan dan penempatan titik *supply*, sehingga didapatkan indeks konflik dan keseimbangan kerja yang minimum.

## 6. REFERENSI

- Abdelmegid, M. A., Khaled, M. S., Abdel-Khalek, H. (2015). "GA Optimization Model For Solving Tower crane Location Problem In Construction Sites." *Alexandria Engineering Journal* (2015) 54, 519-526.
- Abdel-Khalek, H., Shawki, K., Adel, M. (2013). "A Computer-based Model for Optimizing the Location of Single Tower crane in Construction Sites." *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, Vol. 2, Issue 2, March 2013.
- Day, D.,A. (1991). "Construction Equipment Guide." John Wiley & Sons, Inc. New York. 2nd Edition.
- Harris, F. (1994). "Modern Construction and Ground Engineering Equipment ang method." Longman Scientific & Technical. New York. 2nd Edition.
- Hosseini, M., Beiranvand, P., Dadgar, M. R., Olfati, A. (2017). "A Mathematical Model for Optimal Tower crane Layout Planning." *Decision Science Letters*. Growing Science Ltd.
- Peurifoy, R. L., Shapira, A., Schexnayder, C. J. (2006). "Construction Planning, equipment, and Methods". McGraw-hill. New York. 7th Edition.
- Rostiyanti, S. F. (2008). "Alat Berat untuk Proyek Konstruksi." Rineka Cipta, Indonesia.
- Sebt, M. H., Karan, E. P., Delavar. M. R. (2008). "Potential Application of GIS to Layout of Construction Temporary Facilities." *International Journal of Civil Engineering*, Vol.6, No.4, December 2008.
- Soeharto, I. (1999). "Manajemen Proyek (Dari Konseptual Sampai Operasional)." Erlangga, Indonesia.
- Tam, C. M., Thomas, K. L., Chan, W. K. W. (2001). "Genetic Algorithm for Optimizing Supply Locations around Tower crane." *International Journal of Civil Engineering*, Vol.127, No.4, July/August 2001.
- Zhang, P., Harris F. C., Olomolaiye, P. O., Holt, G. D. (1999). "Location Optimization for A Group of Tower cranes." *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 125(2), 115-122.