

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERBANDINGAN LOKASI UNTUK
TOWER CRANE PADA PROYEK RUMAH SAKIT UII
YOGYAKARTA
(*COMPRETIVE ANALYSIS LOCATION FOR TOWER
CRANE AT HOSPITAL PROJECTOF UII*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Untuk Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Mutiara Chandra Dewi
13511027**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2017**

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERBANDINGAN LOKASI UNTUK
TOWER CRANE PADA PROYEK RUMAH SAKIT UII
YOGYAKARTA
(*COMPRETIVE ANALYSIS LOCATION FOR TOWER
CRANE AT HOSPITAL PROJECTOF UII*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Untuk Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Mutiara Chandra Dewi
13511027**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2017**

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERBANDINGAN LOKASI UNTUK TOWER CRANE PADA PROYEK RUMAH SAKIT UII YOGYAKARTA (*COMPRETIVE ANALYSIS LOCATION FOR TOWER CRANE AT HOSPITAL PROJECT OF UII*)

Disusun Oleh

Mutiara Chandra Dewi
13511027

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 25 Oktober 2017

Oleh dewan penguji :

Pembimbing

Penguji 1

Penguji 2

Fitri Nugraheni S.T.,M.T.,Ph.D
NIK: 005110101

Tuti Sumarningsih, Dr., Ir., M.T.
NIK: 875110101

Faisal A M, Ir.,M.S.
NIK: 885110104

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Miftahul Fauziah , S.T.,M.T.,Ph.D.
NIK:95511010



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk menyelesaikan program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 3 Oktober 2017

Yang membuat pernyataan



Mutiara Chandra Dewi

(13511027)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Tugas Akhir ini Mutiara persembahkan untuk:

Mama dan Papa

Yang selalu memberi support dan mendoakan.

Tanpa mereka tugas akhir ini tidak akan pernah selesai.

...

UNIVERSITAS INDONESIA
UNIVERSITAS INDONESIA
UNIVERSITAS INDONESIA

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Optimalisasi Lokasi Untuk Towe Crane Pada Proyek Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia.

Tersusunnya Tugas Akhir ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi berbagai pihak yang banyak membantu dan memberi masukan. Untuk itu ucapan terima kasih ditujukan terutama kepada :

1. Ibu Miftahul Fauziah, ST, MT, Ph.D selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia,
2. Ibu Fitri Nugraheni ST , MT, Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, terimakasih atas bimbingan, nasehat dan segala dukungan baik moral maupun non moral yang diberikan kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini,
3. Ibu Tuti Sumarningsih, Dr., Ir., M.T. selaku Dosen Penguji, atas masukan-masukan dan saran-sarannya.
4. Bapak Albani Musyafa', S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Penguji, atas masukan-masukan dan saran-sarannya,
5. Bapak Faisol A M, Ir.,M.S.selaku Dosen Penguji, atas masukan-masukan dan saran-sarannya,
6. Seluruh dosen dan staff pengajar Teknik Sipil-UII yang telah memberikan ilmu selama masa kuliah,
7. Karyawan Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, yang selalu setia memberikan pelayanan yang terbaik

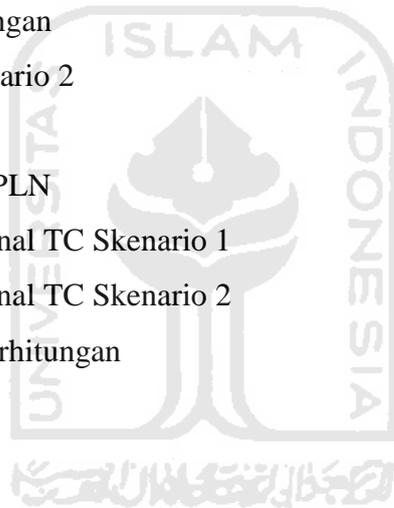
DAFTAR ISI

Judul	i
Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
ABSTRAK	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	3
1.3. TUJUAN PENELITIAN	3
1.4. MANFAAT PENELITIAN	3
1.5. BATASAN PENELITIAN	4
BAB II STUDI PUSTAKA	5
2.1. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.2. PENELITIAN TERDAHULU	6
2.3. PERBEDAAN PENELITIAN	9
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1. KONSEP ALAT <i>TOWER CRANE</i>	10
3.1.1. Jenis <i>Tower Crane</i>	10
3.1.2. Bagian-Bagian <i>Tower Crane</i>	11
3.1.3. Mekanisme Kerja	14
3.1.4. Kapasitas <i>Tower Crane</i>	15

3.1.5. Pemilihan <i>Tower Crane</i>	15
3.1.6. Faktor Posisi <i>Tower Crane</i>	16
3.1.7. Menentukan Posisi Optimal <i>Tower Crane</i>	16
3.1.8. Menentukan Lokasi Awal <i>Tower Crane</i>	17
3.1.9. Pekerjaan Yang Memperingan Beban Kerja	19
3.1.10. Menentukan Posisi Optimal <i>Tower Crane</i>	20
3.2. KONSEP BIAAYA	22
3.2.1. Pengertian Biaya	22
3.2.2. Biaya Alat Berat	23
3.2.3. Biaya Pengoperasian Alat Berat	24
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	25
4.1. TAHAPAN PENELITIAN	25
4.1.1. Teori Data	27
4.1.2. Pengumpulan Data	27
4.1.3. Skenario Permodelan Posisi Titik <i>Supply</i>	29
4.1.4. Penentuan Lokasi Awal	28
4.1.5. Pekerjaan Yang Meringankan Beban Kerja	28
4.1.6. Optimalisasi <i>Tower Crane</i>	29
4.1.7. Perhitungan Biaya	29
BAB V ANALISIS DATA	30
5.1. ANALISIS DATA	30
5.1.1. Skenario 1	31
5.1.2. Skenario 2	58
5.1.3. Perhitungan Biaya <i>Tower Crane</i>	88
5.2. PEMBAHASAN	94
BAB VI	
6.1. SIMPULAN	95
6.2. SARAN	96

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1. Koordinat Titik Supply Skenario 1	32
Tabel 5.2. Koordinat Titik Demand Skenario 1	32
Tabel 5.3. Waktu Delay Skenario 1	47
Tabel 5.4. Aksesibilitas TC Gabungan	53
Tabel 5.5. Aksesibilitas TC Skenario 1	53
Tabel 5.6. Koordinat Titik Supply Skenario 2	59
Tabel 5.7. Posisi Demand Skenario 2	60
Tabel 5.8. Waktu Delay Skenario 2	76
Tabel 5.9. Aksesibilitas TC Gabungan	82
Tabel 5.10. Aksesibilitas TC Skenario 2	82
Tabel 5.11. Volume Material	87
Tabel 5.11. Tarif Tenaga Listrik PLN	90
Tabel 5.12. Total Biaya Operasional TC Skenario 1	91
Tabel 5.13. Total Biaya Operasional TC Skenario 2	94
Tabel 5.14. Rekapitulasi Hasil Perhitungan	94



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. <i>Tower Crane</i>	11
Gambar 3.2. <i>Mast Section</i>	12
Gambar 3.3. <i>Slewing Mast</i>	12
Gambar 3.4. <i>Cat Head</i>	13
Gambar 3.5. <i>Jib</i>	13
Gambar 3.6. <i>Cabin Seat</i>	15
Gambar 3.7. <i>Feasible Area</i>	17
Gambar 3.8. <i>Overlap Feasible Area</i>	18
Gambar 3.9. Contoh konflik antara dua pekerjaan	20
Gambar 3.10. Waktu perjalanan pengait	21
Gambar 4.1. Tahapan Penelitian	26
Gambar 4.2. Flowchart Penentuan Nilai NC dan σ	34
Gambar 5.1. <i>Site Plan</i> Rumah Sakit Pendidikan UII	30
Gambar 5.2. Denah titik <i>supply</i> dan titik <i>demand</i>	31
Gambar 5.3. <i>Tower Crane</i> FO23B	45
Gambar 5.4 Spesifikasi Tower Crane Potain FO 23B (a)	46
Gambar 5.5 Spesifikasi Tower Crane Potain FO 23 B (b)	47
Gambar 5.6. Feasible Area Pembesian	49
Gambar 5.7. Feasible Area Scaffolding Skenario 1	49
Gambar 5.8. Feasible Area Bekisting Skenario 1	50
Gambar 5.9. Feasible Area <i>Ready Mix</i> Skenario 1	51
Gambar 5.10. Irisan <i>feasible area</i> skenario 1	52
Gambar 5.11. Lokasi awal TC pada skenario 1	52
Gambar 5.12. Waktu Perjalanan Pengait	56
Gambar 5.13. Denah titik <i>supply</i> dan titik <i>demand</i>	59
Gambar 5.14 Spesifikasi Tower Crane Potain FO 23 B (a)	75
Gambar 5.15 Spesifikasi Tower Crane Potain FO 23 B (a)	76
Gambar 5.16. Feasible Area Pembesian Skenario 2	78

Gambar 5.17. Feasible Area Scaffolding Skenario 2	79
Gambar 5.18. Feasible Area Bekisting Skenario 2	79
Gambar 5.19. Feasible <i>Ready Mix</i> Skenario 2	80
Gambar 5.20. irisan <i>feasible area</i> skenario 2	81
Gambar 5.21. Lokasi awal TC pada skenario 2	82
Gambar 5.22. Waktu Perjalanan Pengait	85



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. *Site Plan* Pembangunan RSA UII

Lampiran 2. Tabel Perhitungan Optimalisasi TC 1

Lampiran 3. Tabel Perhitungan Optimalisasi TC 2





ABSTRAK

Pada proyek konstruksi bangunan bertingkat, perencanaan merupakan hal yang sangat penting untuk mencapai hasil yang diharapkan. Perencanaan yang kurang baik akan mengakibatkan bermacam – macam persoalan dan masalah yang menjurus pada kerugian. Alat berat yang paling sering digunakan pada proyek bangunan bertingkat adalah tower crane (TC). Tower crane merupakan jenis crane yang statis dan berfungsi untuk memindahkan material baik secara vertikal maupun secara horizontal.

Setiap proyek dalam pelaksanaan maupun pemilihan alat berat yang digunakan berbeda. Proyek Rumah Sakit Pendidikan Universitas Islam Indonesia memiliki lokasi proyek yang efisien pada penempatan bangunannya dimana bangunan didirikan pada lokasi tanah yang memiliki luas yang hampir sama dengan luas bangunan yang didirikan, sehingga hampir tidak menyisakan banyak lahan kosong yang tersisa.

Dari permasalahan tersebut perlu adanya pengoptimalan lokasi untuk group tower crane. Lokasi yang optimal adalah lokasi yang memiliki konflik indek dan keseimbangan beban kerja antar tower crane terkecil. Karena tower crane yang digunakan lebih dari satu maka penempatan tower crane harus sesuai pada titik yang optimal. Dari perhitungan 2 skenario yang direncanakan pada penelitian ini, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Skenario 1

Titik optimal group tower crane berada pada koordinat TC1 (20 ; 13) pada gambar atau letak posisinya adalah sejauh 55 meter ke selatan dan 37,5 meter utara dari as kemudian jumlah pekerjaan yang dapat dikerjakan pada matriks aksesibilitas adalah 67 pekerjaan atau dengan persentase pekerjaan yang mampu dilayani oleh tower crane sebesar 63,208 % serta dengan jumlah 543 jam dengan biaya jika sewa per-jam adalah Rp.435,549,000 dan jika sewa per-shift adalah Rp 924,996,500.

2. Skenario 2

Titik optimal group tower crane berada pada koordinat TC1 (11,9) dan TC 2 (37 ; 9), pada gambar atau letak posisi tower crane 1 adalah sejauh 50 meter ke selatan dan 35 meter utara dari as dan letak posisi tower crane 2 adalah sejauh 90 meter ke selatan dan 35 meter utara dari as kemudian jumlah pekerjaan yang dapat dikerjakan pada matriks aksesibilitas adalah 85 pekerjaan atau dengan persentase pekerjaan yang mampu dilayani oleh tower crane sebesar 80,189% untuk TC 1 543 jam dan TC 2 dengan jumlah jam 457 jam masing-masing TC dengan biaya dengan biaya jika sewa per-jam adalah Rp. 742,322, 000 dan jika sewa per-shift adalah Rp. 1,565,007,000.

Kata Kunci: Tower Crane, Konflik Indek, Keseimbangan Beban Kerja, Optimasi Lokasi

ABSTRACT

At the construction project of multistory building, planning is very important thing to achieve the expected result. Poor quality planning will create many issue and problems lead to disadvantage of the project. One of the most heavy equipment which frequently used at the project of multistory building construction is tower crane (TC). Tower crane is type of static crane which has a function to move material whether it's vertical or horizontal.

In every project the selection of tower crane can be different. The project of educational hospital of Indonesia Islamic University (UII) has project location which very efficient in land utilization where the land dimension almost same with building landscape, therefore free space of land is very limited.

Base on that issue need to optimize the land for group tower crane. The optimum location need to have lowest conflict index and load stability among tower crane. Since the tower crane used is more than one unit, hence tower crane placement has to be selected at optimum point (location). From 2 calculation scenario planned in this research, the result as follow:

1. Scenario 1

The optimal point of the tower crane group is at the coordinates of TC1 (20; 13) in the figure or the location of the position is 55 meters to the south and 37.5 meters north of the ace then the amount of work that can be done on the access matrix is 67 jobs or with the percentage of work able to be serviced by tower crane of 63.208% and with 543 hours with cost if hourly rent is Rp.435,549,000 and if per-shift rent is Rp 924,996,500.

2. Scenario 2

The optimum point of the tower crane group is at the coordinates of TC1 (11.9) and TC 2 (37; 9), the image or position of tower crane 1 is 50 meters to the south and 35 meters north of the ace and the position of tower crane 2 is as far as 90 meters to south and 35 meters north of the ace then the amount of work that can be done on the accessibility matrix is 85 jobs or with percentage of work that can be served by tower crane of 80.189% for TC 1 543 hours and TC 2 with 457 hours each - TC at a cost with a fee if the rent per hour is Rp. 742,322,000 and if the rent per shift is Rp. 1,565,007,000.

Keywords : *Tower crane, conflict index, load stability, location optimizing*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada proyek konstruksi bangunan bertingkat, perencanaan merupakan hal yang sangat penting untuk mencapai hasil yang diharapkan. Perencanaan yang kurang baik akan mengakibatkan bermacam – macam persoalan yang menjurus pada kerugian. Alat berat yang paling sering digunakan pada proyek bangunan bertingkat adalah *tower crane* (TC). *Tower crane* merupakan jenis crane yang statis dan berfungsi untuk memindahkan material baik secara vertikal maupun secara horizontal.

Ada beberapa jenis dari *tower crane* itu sendiri bermacam-macam. Untuk pemilihan TC sebagai alat angkat, perlu memperhatikan beberapa faktor seperti kondisi lapangan yang tidak luas, ketinggian tidak terjangkau, dan pergerakan alat tidak perlu. Pertimbangan ini harus direncanakan sebelum proyek dimulai karena *tower crane* diletakkan di tempat yang tetap selama proyek berlangsung. Dalam pemasangan *tower crane* harus diperhitungkan tambahan pondasi dan tenaga listrik untuk pengoperasian. Sehingga penggunaan *tower crane* memerlukan biaya yang cukup tinggi. Idealnya penggunaan di proyek jumlah *tower crane* yang digunakan adalah sesuai dengan kebutuhan dari proyek itu sendiri karna kebutuhan proyek berbeda-beda.

Pada umumnya proyek-proyek biasanya hanya menggunakan satu buah *tower crane* karena faktor biaya yang cukup tinggi. Di satu sisi cukup ekonomis namun apakah cukup efisien jika digunakan. Banyak faktor lain yang seharusnya juga diperhitungkan seperti dari segi waktu. Dalam proyek segala sesuatunya berkesinambungan satu sama lain. Sebaiknya dipilih penggunaan alat berat yang ekonomis serta efisien.

Setiap proyek dalam pelaksanaan maupun pemilihan alat berat yang digunakan berbeda. Proyek Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia memiliki lokasi proyek yang efisien pada penempatan bangunannya, artinya bangunan didirikan pada lokasi tanah yang memiliki luas yang hampir sama dengan luas bangunan yang didirikan, sehingga hampir tidak menyisakan banyak lahan kosong yang tersisa. Dengan kondisi seperti ini perencana harus merencanakan titik-titik yang paling penting seperti *supply point* (titik penyediaan) dan titik *tower crane*. *Supply Point* atau titik penyediaan material akan direncanakan penempatannya sehingga *Supply Point* akan ditempatkan pada lahan kosong yang tersisa di lapangan. Kontraktor di lapangan menggunakan alat berat *passanger hoist*. Pada proyek ini diperlukan alat bantu *passanger hoist* untuk mengangkat material secara vertikal karena bangunan dari proyek ini terdiri dari 7 lantai. Proyek Pembangunan Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia memiliki wilayah yang luas dan aktifitas pengangkutan material konstruksi yang banyak jika digunakan *passanger hoist* tidak efisien terhadap waktu karna faktor kapasitas yang terbatas serta kecepatan pengangkutan, maka akan diambil alat berat yang lain yaitu *tower crane*. Namun, *tower crane* tunggal atau satu *tower crane* apakah bisa menjangkau semua wilayah proyek dan memenuhi semua kebutuhan aktivitas pengangkutan oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan modifikasi *tower crane* yang digunakan lebih dari satu buah, yang dinamakan dengan *group tower crane*.

Berdasarkan latar belakang diatas, dalam penelitian ini akan diteliti tentang lokasi yang optimal untuk *tower crane*. Lokasi optimal yang dimaksud adalah lokasi yang memiliki konflik indek dan keseimbangan beban kerja antar *tower crane* terkecil pada perencanaan dengan tower crane ganda. Mengingat *tower crane* salah satu skenario yang akan direncanakan akan lebih dari satu maka *tower crane* harus ditempatkan dengan benar dan tepat pada titik yang optimal. Apabila posisi *tower crane* tidak ditempatkan pada titik yang optimal maka waktu produksi pada pelaksanaan proyek juga tidak bisa optimal. Salah satu cara untuk

mengoptimalkan produktivitas pengangkutan *tower crane* tersebut adalah dengan cara melakukan optimasi lokasi *tower crane*.

1.2. Rumusan Masalah

1. Apa jenis *tower crane* yang lebih efisien dan ekonomis digunakan pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Islam Indonesia?
2. Dimana titik lokasi *tower crane* yang akan dipasang pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Islam Indonesia?
3. Berapa keseluruhan biaya dari skenario 1 dan 2 yang dibutuhkan pada penggunaan *tower crane* hasil modifikasi posisi titik *supply*?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui jenis *tower crane* yang ekonomis dan efisien digunakan pada Proyek Rumah Sakit Pendidikan Universitas Islam Indonesia.
2. Mengetahui titik lokasi *tower crane* yang akan dipasang pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Islam Indonesia.
3. Mengetahui keseluruhan biaya dari skenario 1 dan 2 yang dihabiskan pada penggunaan *tower crane* yang telah dimodifikasi.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Dapat diketahuinya pemilihan jenis *tower crane* yang tepat sesuai dengan kondisi proyek sesuai dengan biaya masing-masing alat tersebut.
2. Memberi informasi tentang skenario modifikasi titik penempatan *tower crane* pada proyek konstruksi.
3. Masukan bagi Tugas Akhir lanjutan di bidang alat berat konstruksi.

1.5. Batasan Penelitian

1.5.1 Subyek Penelitian

Yang dimaksud dengan subyek penelitian ini adalah perencanaan letak group *tower crane* dengan memperhatikan penentuan semua titik permintaanya. Adapun yang menjadi batasannya adalah :

1. Bangunan di sekitar proyek pembangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Islam Indonesia kosong atau tidak ada bangunan tinggi lainnya.
2. Untuk setiap hubungan Supply Point (S) dan Demand Point (D) tingkat kebutuhan pengangkutan sudah diketahui misalnya total jumlah pengangkutan dan lain sebagainya yang bersumber dari data yang didapat dari lapangan.
3. Optimasi yang dilakukan adalah optimasi lokasi penempatan *tower crane* dengan memperhatikan konflik indek dan keseimbangan beban kerja antar *tower crane* terkecil pada perencanaan tower crane grup dan tunggal.
4. Biaya pelaksanaan pekerjaan *tower crane* dibatasi dengan kondisi bahwa semua alat berat diasumsikan baru dan digunakan sesuai dengan peraturan umur ekonomisnya. Hal ini dikarenakan sulitnya mendapatkan data yang valid mengenai harga beli alat, kondisi alat, dan lamanya alat tersebut digunakan.
5. Tower Crane yang digunakan adalah merk Potain dengan seri F23B

1.5.2. Obyek Penelitian

Yang dimaksud dengan obyek pada penelitian ini adalah proyek konstruksi yang menggunakan alat berat *tower crane*. Adapun yang menjadi batasan adalah proyek pembangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Islam Indonesia.

BAB II STUDI PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Proyek adalah suatu kegiatan yang berlangsung dalam jangka waktu terbatas, dengan alokasi sumber daya tertentu sesuai dengan Budget yang ditetapkan untuk mencapai sasaran yang ditentukan pula. Perencanaan pelaksanaan dari proyek satu dengan yang lain berbeda karena sifat proyek tersebut, sehingga dalam perencanaan proyek harus benar-benar dikerjakan dengan persiapan yang matang sehingga dapat dicapai efisiensi yang tinggi (Suharto, 1995)

Konstruksi adalah kegiatan yang tidak lepas dari suatu resiko, termasuk di dalamnya adalah pemakaian alat berat dengan biaya yang tidak sedikit. Walaupun untuk proyek kecil, peralatan yang mahal sering digunakan dan angka disini mempengaruhi angka kontrak. Kemampuan kontraktor untuk membuat perencanaan yang matang terhadap pemakaian berbagai peralatan disini akan membantu kontraktor untuk mengoptimalkan pemakaiannya sehingga mampu memenangkan proses tender (Peurifoy, 1996) .

Perencanaan yang tepat mengenai letak berbagai peralatan konstruksi disini dipercaya sebagai kunci dari efisiensi produktifitas. Perencanaan perletakan yang mana mendefinisikan mengenai tipe perlatan, kuantitas alat, posisi dari peralatan yang digunakan, Storage Area dan fabrikasi sangat berpengaruh dalam hal produktifitas, biaya dan durasi dari pekerjaan konstruksi (Tam, 2011) *tower crane* sebagai target optimasi merupakan salah satu peralatan dalam pelaksanaan konstruksi memegang peran yang cukup besar dalam hal pengangkutan material dan merupakan peralatan terkritis dari pelaksanaan suatu gedung bertingkat sehingga menuntut perencanaan yang tepat. Pemakaian *tower crane* memerlukan pertimbangan perencanaan yang matang karena *tower crane* disini diletakkan secara tetap pada suatu lokasi selama aktivitas konstruksi dikerjakan. *tower crane* harus mampu melayani semua titik permintaan dari posisinya yang tetap.

Perencana harus dapat memastikan bahwa pengangkutan material disini dapat dipenuhi dalam radius yang disediakan *tower crane* (Peurifoy, 1996).

2.2. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai referensi-referensi penelitian yang berkaitan dengan subyek dan objek penelitian. Dalam penelitian-penelitian sebelumnya telah dilakukan beberapa analisis mengenai penempatan alat konstruksi *tower crane*.

2.2.1. Optimalisasi Lokasi Untuk Grup *Tower Crane* Pada Proyek Apartemen Guna Wangsa Surabaya.

Rahman (2013), menyimpulkan penemuannya sebagai berikut ini.

Proyek Apartemen Guna Wangsa Surabaya menggunakan Tower Crane sebagai alat berat yang digunakan untuk mengangkut alat konstruksi dan material konstruksi. Material konstruksi yang diangkut meliputi besi tulangan dan batu bata ringan sedangkan alat konstruksi berupa scaffolding dan bekesting. Proyek Apartemen Guna Wangsa Surabaya memiliki aktivitas pengangkutan yang banyak dan area proyek yang luas sehingga satu buah Tower Crane tidak cukup untuk memenuhi seluruh aktivitas pengangkutan, maka digunakan lebih dari satu Tower Crane. Mengingat Tower Crane yang digunakan lebih dari satu buah maka penempatan Tower Crane harus ditempatkan pada titik yang optimal. Dengan memindahkan titik Supply dan memperkecil radius *tower crane* dapat membuat waktu pengangkutan lebih cepat dan tentunya membuat biaya operasional *tower crane* menjadi lebih kecil. Radius *tower crane* yang besar selain menyebabkan biaya sewa yang lebih mahal juga akan menyebabkan konflik antar *tower crane* menjadi besar.

2.2.2. Perbandingan Biaya dan Waktu Pemakaian Alat Berat *Tower Crane* dan Mobile Crane Pada Proyek Rumah Sakit Haji Surabaya.

Ridha (2011), menyimpulkan penemuannya sebagai berikut ini.

Pada Proyek Pembangunan Gedung IGD, Bedah Sentral dan Rawat Inap Maskin RSUD Haji Surabaya peralatan yang digunakan untuk pekerjaan struktur

atau beton adalah *tower crane* (TC) dan *concrete pump* (CP), sedangkan *mobile crane* (MC) sendiri direncanakan sebagai pengganti tower crane dalam pelaksanaan pekerjaan struktur. Langkah perhitungan dibagi menjadi dua tahap, yaitu perhitungan waktu pelaksanaan peralatan dan perhitungan biaya peralatan. Dalam menghitung waktu pelaksanaan langkah yang diambil adalah menghitung dan menentukan beban kerja alat, kapasitas dan produktivitasnya dari peralatan yang digunakan. Sedangkan dalam menentukan biaya pelaksanaan yang diperhitungkan adalah biaya sewa, biaya mobilisasi dan demobilisasi, biaya peralatan penunjang serta biaya operasi alat yang meliputi bahan bakar, pelumas, pemeliharaan dan operator. Dari perhitungan waktu dan biaya pelaksanaan alat dan ditinjau dari segi waktu dan biaya pelaksanaan. Berdasarkan perbandingan waktu dan biaya maka pada proyek pembangunan Gedung IGD, Bedah Sentral dan Rawat Inap RSUD Haji Surabaya, untuk pekerjaan pengangkatan material dan pengecoran sebaiknya menggunakan kombinasi peralatan *tower crane* dan *concrete pump*, karena lebih efisien dari segi waktu mengingat proyek tersebut berada pada area Rumah Sakit yang sedang aktif pada saat pembangunannya.

2.2.3. Pemilihan Tower Crane Berdasarkan Lokasi Proyek (Studi Kasus Proyek Pembangunan Hotel Unisi)

Parinra (2015), menyimpulkan penemuannya sebagai berikut ini.

Alat berat yang sering digunakan dalam pembangunan gedung bertingkat adalah tower crane. Pengadaan *tower crane* mutlak dilakukan untuk mendukung proses pekerjaan, sehingga diharapkan pelaksanaan proyek konstruksi dapat tercapai dengan lebih mudah pada waktu yang relatif singkat. Pemilihan tower crane juga didasarkan oleh lokasi proyek yang akan digunakan *tower crane*. Oleh karena itu kontraktor harus mengetahui *tower crane* yang cocok untuk digunakan serta produktifitas dan harga sewa dari *tower crane* tersebut. Metode penelitian yaitu dengan melaksanakan observasi pada proyek Hotel UNISI. Dimana pembangunan Hotel UNISI itu terletak didaerah yang padat pemukiman penduduk. Dari letak atau *siteplan* Hotel UNISI dapat disimpulkan tower crane apa yang layak dipakai, beserta produktifitas *tower crane* tersebut.

2.2.4. Optimasi Penempatan Group Tower Crane pada Proyek Pembangunan My Tower Surabaya.

Septiawan (2017), menyimpulkan penemuannya sebagai berikut ini.

Pada konstruksi proyek yang besar, seperti pada proyek My Tower Surabaya, tower crane bekerja lebih ekstra terutama ketika tower crane tunggal tidak bisa melayani keseluruhan pekerjaan pengangkatan dari semua titik persediaan dan titik kebutuhan, maka perlu digunakan lebih dari satu tower crane, atau biasa disebut group tower crane. Dengan adanya lebih dari satu tower crane bukan berarti semua masalah pekerjaan pengangkatan bisa teratasi, karena pada proyek yang memiliki lahan yang kurang luas, semakin banyak tower crane menyebabkan sering terjadinya tabrakan ataupun tumpang tindih antar tower crane. Dari permasalahan tersebut perlu adanya pengoptimalan lokasi untuk group tower crane. Lokasi yang optimal adalah lokasi yang memiliki konflik indek dan keseimbangan beban kerja antar tower crane terkecil. Karena tower crane yang digunakan lebih dari satu maka penempatan tower crane harus sesuai pada titik yang optimal. Dari perhitungan 3 skenario yang direncanakan pada penelitian ini, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Skenario 1 Titik optimal group tower crane berada pada koordinat TC1 (19 ; 4) dan TC 2 (121 ; 54), nilai konflik indek (NC) sebesar 36, keseimbangan beban kerja antar tower crane (σ) 3,202 jam
2. Skenario 2 Titik optimal group tower crane berada pada koordinat TC1 (19 ; 3) dan TC 2 (121 ; 53), nilai konflik indek (NC) sebesar 36, keseimbangan beban kerja antar tower crane (σ) 2,749 jam
3. Skenario 3 Titik optimal group Tower Crane berada pada koordinat TC1 (34 ; 4) dan TC 2 (111 ; 54), nilai konflik indek (NC) sebesar 6, keseimbangan beban kerja antar Tower Crane (σ) 2,249 jam Jadi dari hasil ketiga skenario perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa skenario 3 adalah yang paling optimal, karena memiliki nilai nilai konflik indek (NC) dan keseimbangan beban kerja antar tower crane (σ) terendah dari skenario lainnya, serta dengan biaya operasional sebesar Rp 1.256.778.497, -.

2.3. Perbedaan Penelitian

Berdasarkan referensi diketahui bahwa dengan peneliti memindahkan titik Supply dan memperkecil radius *tower crane* dapat membuat biaya operasional *tower crane* menjadi lebih kecil. Radius *tower crane* yang besar selain menyebabkan biaya sewa yang lebih mahal juga akan menyebabkan konflik antar *tower crane* menjadi besar jika direncanakan lebih dari satu buah *tower crane*. Serta dengan berdasarkan perbandingan biaya maka untuk pekerjaan pengangkatan material dan pengecoran sebaiknya menggunakan kombinasi peralatan *tower crane* dan concrete pump, karena lebih efisien dari segi waktu mengingat beberapa proyek dilakukan pada tempat yang sedang aktif pada saat pembangunannya.

Pada penelitian yang akan dilakukan diperuntukan bagi pengembangan suatu ilmu pengetahuan serta memiliki tujuan guna pengembangan teori-teori yang ada atau menemukan teori baru, karena sifat-sifat penelitian dan metodologi penelitian yang sama tetapi berbeda pada ruang lingkup dan penyajiannya. Perbedaan penelitian dengan referensi pertama adalah pada penelitian ini berbeda pada ruang lingkup proyek serta pada referensi pertama tersebut tidak dilakukan analisis biaya pada penggunaan tower crane pada penelitian yang akan dilakukan akan dilakukan analisis biaya penggunaan pada modifikasi *tower crane*. Pada referensi kedua perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan penelitian yang akan dilakukan tidak melibatkan penggunaan *concrete pump* hanya mempertimbangkan penggunaan *tower crane* serta pada referensi kedua sudah diketahui letak posisi dan jumlah *tower crane* sementara pada penelitian yang akan dilakukan letak posisi dan jumlah *tower crane* akan direncanakan. Pada referensi ketiga perbedaan dengan penelitian sebelumnya adalah penelitian yang dilakukan sejenis namun berbeda lokasi proyek serta penentuan scenario titik optimal pada *tower crane*. Perbedaan penelitian dengan referensi keempat Penelitian ini disebut adalah penelitian terapan karena menggunakan metode yang sama tetapi berbeda pada ruang lingkup dan penyajiannya.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Konsep Alat *Tower Crane*

3.1.1. Jenis *Tower Crane*

Jenis *tower crane* memiliki banyak model yang disesuaikan dengan kondisi proyek. Ada empat jenis *tower crane* (Chudley, 2004) yaitu :

1. Self Supporting Static *Tower Crane*

Sesuai dengan namanya, *tower crane* jenis ini berdiri di atas pondasi yang diam di tanah. Kemampuan mengangkat barang yang berat dan jangkauan yang luas membuat *tower crane* ini cocok untuk proyek dengan lahan terbuka yang luas.

2. Supported Static *Tower Crane*

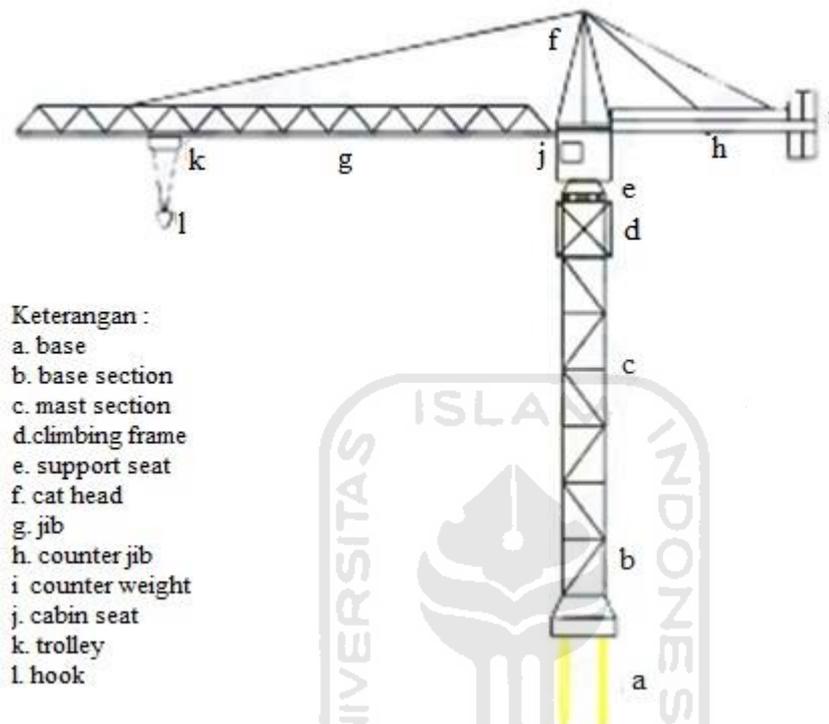
Memiliki sistem kerja yang serupa dengan Self Supporting Static *tower crane*, dan digunakan jika diperlukan pengangkatan material ke tempat yang sangat tinggi. Bagian mast atau tower dari *tower crane* jenis ini diikat ke bangunan untuk memberikan tambahan stabilitas.

3. Travelling *Tower Crane*

Tower crane jenis ini bisa berpindah tempat, karena didirikan diatas bogi roda (sejenis roda kereta api) dan berjalan sepanjang rel. Karena dapat bergerak sepanjang rel, *tower crane* ini dapat menjangkau area proyek yang jauh lebih luas dari pada *tower crane* yang diam di tempat. Namun karena berjalan di atas rel, maka lokasi proyek haruslah dibuat cukup rata agar *tower crane* berjalan.

4. Climbing *tower crane* Biasa digunakan di bangunan tinggi, *tower crane* jenis climbing diletakkan di dalam struktur bangunan yang dibangun. Seiring bertambah tingginya bangunan yang dibangun, *tower crane* juga ikut bertambah tinggi .

3.1.2. Bagian-Bagian *Tower Crane*



Gambar 3.1. *Tower Crane*

(sumber:Rostiyanti,2002)

Adapun bagian-bagian *tower crane* dapat dilihat pada yang terdiri dari (Rostiyanti, 2002) :

1. *Base*

Merupakan tempat kedudukan *tower crane* yang berfungsi menahan gaya aksial dan gaya tarik, berupa blok beton atau tiang pancang.

2. *Base section*

Bagian paling dasar dari badan *tower crane* yang langsung dipasang atau dijangkar ke pondasi.

3. *Mast section*

Bagian dari badan *tower crane* yang berupa segmen kerangka yang dipasang untuk menambah ketinggian *tower crane*.



Gambar 3.2. Mast Section

(sumber:google)

4. *Climbing frame*

Bagian dari badan *tower crane* yang berfungsi sebagai penyangga saat penambahan massa.

5. *Support seat*

Merupakan tumpuan atau dudukan yang menyokong slewing ring dalam mekanisme putar, terdiri dari bagian atas (upper) dan bagian bawah (lower).

6. *Slewing ring*

Merupakan alat yang dapat berputar 360°, berperan dalam mekanisme putar.

7. *Slewing mast*

Merupakan alat yang ikut berputar bersama jib, terletak di bawah cat head.



Gambar 3.3. Slewing Mast

(sumber:google.com)

8. *Cat head*

Puncak *tower crane* berfungsi sebagai tumpuan kabel jib dan counter jib.



Gambar 3.4. *Cat Head*

(sumber: google)

9. *Jib*

Lengan pengangkut beban dengan panjang bermacam-macam tergantung kebutuhan.



Gambar 3.5. *Jib*

(sumber: google)

10. *Counter jib*

Lengan penyeimbang terhadap beban momen dari lattice jib.

11. *Counter weight*

Blok beton yang merupakan pemberat, yang dipasang pada ujung counter jib.

12. *Cabin set*

Ruang operator pengendali *tower crane*.



Gambar 3.6. Cabin Seat

(sumber:google)

13. *Access ladder*

Tangga vertikal yang berfungsi sebagai akses bagi operator menuju cabin set, terletak di bagian mast section.

14. *Trolley*

Alat untuk membawa hook sehingga dapat bergerak secara horisontal sepanjang lattice jib.

15. *Hook*

Alat pengait beban yang terpasang pada trolley.

3.1.3. Mekanisme Kerja

Mekanisme kerja *tower crane* Mekanisme kerja *tower crane* meliputi (Rostiyanti, 2002) :

1. Mekanisme angkat (hoisting mechanism) Mekanisme ini digunakan untuk mengangkat beban.
2. Mekanisme putar (slewing mechanism) Mekanisme yang digunakan untuk memutar jib dan counter jib sehingga dapat mencapai radius yang diinginkan.
3. Mekanisme jalan dari trolley (trolley traveling mechanism) Mekanisme ini digunakan untuk menjalankan trolley maju dan mundur sepanjang jib.
4. Mekanisme jalan (traveling mechanism) Mekanisme yang digunakan untuk menjalankan kereta untuk traveling *tower crane*.

3.1.4. Kapasitas *Tower Crane*

Kapasitas *tower crane* Besarnya muatan yang dapat diangkat oleh *tower crane* telah diatur dan ditetapkan dalam manual operasi *tower crane* yang dikeluarkan oleh pabrik pembuat *tower crane*. Prinsip dalam penentuan beban yang bisa diangkat adalah berdasarkan prinsip momen. Jadi jarak dan ketinggian tertentu *tower crane* memiliki momen batas yang tidak boleh dilewati. Panjang lengan muatan dan daya angkut muatan merupakan suatu perbandingan yang bersifat linier. Perkalian panjang lengan dan daya angkut maksimum pada setiap titik adalah sama dan menunjukkan kemampuan momen yang bisa diterima *tower crane* tersebut. Semakin berat beban yang harus diangkat maka radius operasi yang dapat dicapai juga akan semakin kecil.

3.1.5. Pemilihan *Tower Crane*

Pemilihan *tower crane* Pemilihan *tower crane* sebagai alat untuk memindahkan material didasarkan pada kondisi lapangan yang tidak luas, ketinggian yang tidak terjangkau oleh alat lain, dan tidak dibutuhkan pergerakan alat. Pemilihannya harus direncanakan sebelum proyek tersebut dimulai. Hal tersebut dikarenakan dalam pengoperasiannya *tower crane* harus diletakkan di suatu tempat yang tetap selama proyek berlangsung, sehingga *tower crane* mampu memenuhi kebutuhan akan pemindahan material dari suatu tempat ke tempat berikutnya sesuai daya jangkauan yang ditetapkan. Selain itu pada saat proyek telah selesai, pembongkaran *tower crane* harus dapat dilakukan dengan

mudah. Pemilihan jenis *tower crane* yang akan di pakai harus mempertimbangkan (Rostiyanti, 2002) :

1. Situasi dari proyek (ruang yang ada, batasan lokasi, alat-alat lain yang ada).
2. Bentuk dari struktur bangunan.
3. Ketinggiann struktur bangunan yang dikerjakan.
4. Radius yang dapat dijangkau oleh *tower crane* yang digunakan.

3.1.6. Faktor-faktor posisi *Tower Crane*

Faktor-faktor posisi *tower crane* Faktor-faktor yang mempengaruhi posisi *tower crane* (Rostiyanti, 2002) :

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 ditentukan terlebih dahulu.

5. Feasible Area

Feasible Area merupakan area yang paling memungkinkan untuk menempatkan *tower crane*.

3.1.7. Menentukan Posisi Optimal Group Tower Crane

Dalam menentukan posisi optimal Group *tower crane* ada tiga tahap yaitu :

1. Menentukan lokasi awal *tower crane* untuk memperkirakan kelompok pekerjaan setiap *tower crane*.

2. Menentukan kelompok pekerjaan yang mampu memperingan beban kerja pada setiap *tower crane* dan meminimalkan konflik yang terjadi.
3. Menentukan posisi optimal tiap *tower crane* dengan mengaplikasikan model optimasi *tower crane* tunggal pada setiap *tower crane*

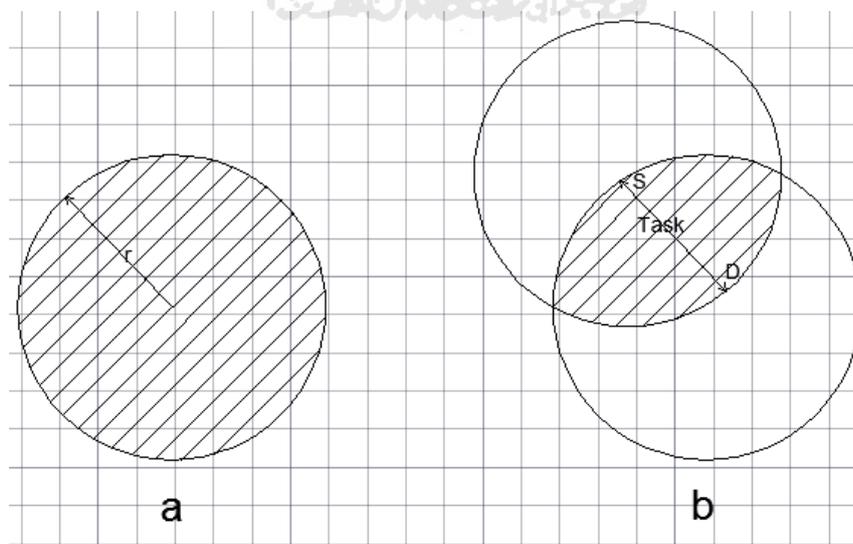
3.1.8. Menentukan Lokasi Awal *Tower Crane* Untuk Memperkirakan Kelompok Pekerjaan Setiap *Tower Crane*

1. Menentukan kapasitas angkatan dan Feasible Area

Kapasitas angkatan *tower crane* ditentukan dari kurva radius beban, dimana baban lebih besar maka radiusnya lebih pendek.

Diasumsikan beban dari titik penyediaan (S) adalah w dan radius adalah r . Oleh karena itu *tower crane* tidak bisa mengangkat beban kecuali berada dalam lingkaran dengan radius r (gambar 3.7(a)). Untuk mengangkat beban dari (S) ke titik kebutuhan (D), *tower crane* harus diposisikan dalam area berbentuk elips yang merupakan perpotongan dari dua lingkaran (gambar 3.7(b)). Area ini disebut Feasible Area.

Luas area tergantung jarak antara S dan D berat dari beban dan kapasitas *tower crane*. Semakin besar Feasible Area maka semakin mudah dalam menangani pekerjaan. (Sebt, et al, 2008).

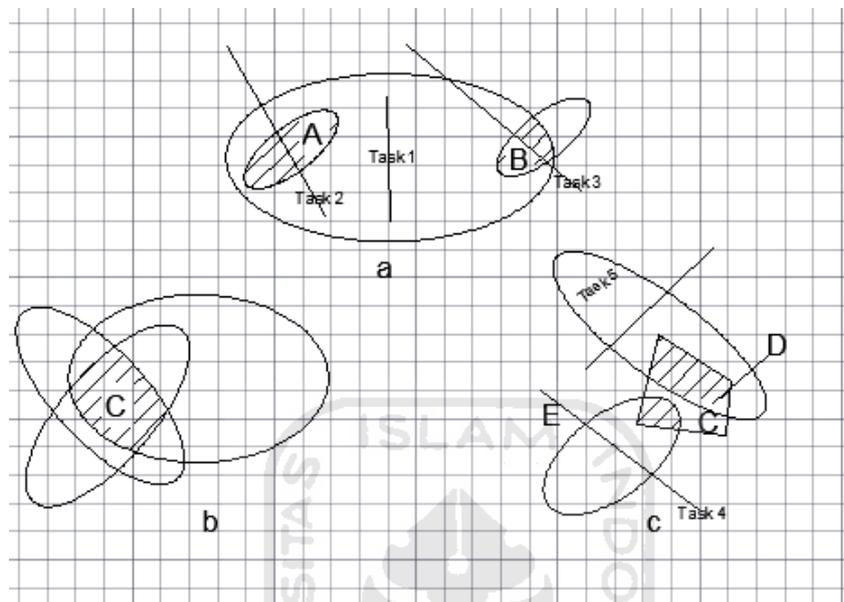


Gambar 3.7. Feasible Area

(Sumber : Sebt, et al, 2008)

2. Menentukan Feasible Area

Tiga hubungan geometris muncul untuk menentukan Feasible Area yang berdekatan.



Gambar 3.8. Overlap Feasible Area

(Sumber : Sebt, et al, 2008)

Seperti yang terlihat pada gambar 3.8 (a), dengan menempatkan di area A, *tower crane* bisa menangani pekerjaan 1 dan 2, demikian juga bila di dalam 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 pengangkutan yang lebih besar. Pada gambar 3.8 (b) area c merupakan Feasible Area dari tiga pekerjaan. Kemudian pada gambar 3.8 (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* lainnya (Sebt, et al, 2008)

3. Mengelompokkan pekerjaan ke dalam kelas terpisah Jika tidak ada Overlap yang terjadi diantara Feasible Area maka dua buah *tower crane* dibutuhkan untuk menangani setiap pekerjaan secara terpisah. Tetapi jika tetap

menggunakan satu buah *tower crane* maka menggunakan alternatif lain, misalnya menggunakan *tower crane* dengan kapasitas angkat yang lebih besar.

4. Menentukan lokasi awal *tower crane* Ketika kelompok pekerjaan telah dibuat, Area Overlap bisa digambarkan. Setelah itu kita bisa langsung menetapkan lokasi awal di pusat geometris Feasible Area atau di manapun di dalam Feasible Area.

3.1.9. Menentukan Kelompok Pekerjaan yang Mampu Meringankan Beban Kerja Pada Setiap *Tower Crane* dan Meminimalkan Konflik

1. Matrik Aksesibilitas

Pada tahap ini, diasumsikan bahwa semua *tower crane* diletakan pada lokasi awal. Matrik aksesibilitas digunakan untuk mengetahui kemampuan *tower crane* untuk mengakses tiap pekerjaan, dimana δ_{ij} merupakan variabel binary sebagai berikut:

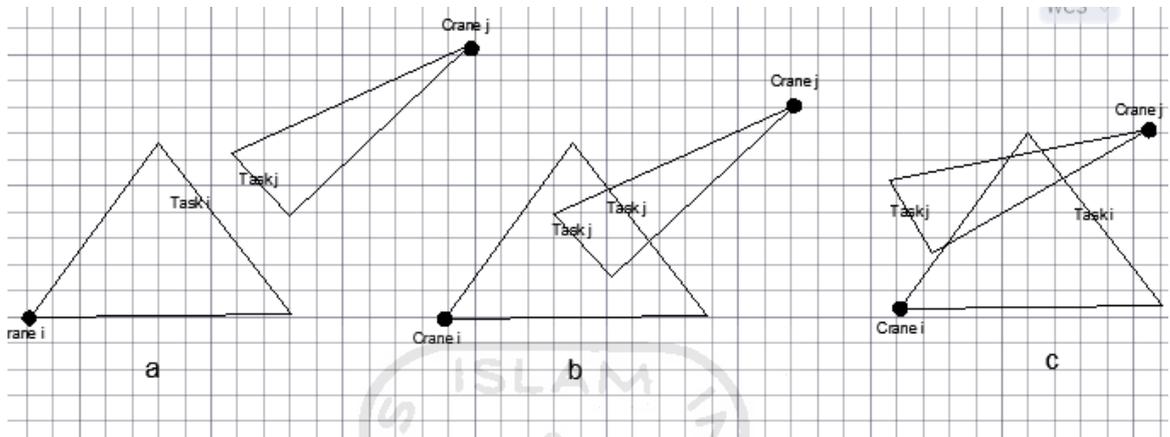
$$\delta_{ij} \begin{cases} = 1 & \text{jika } \textit{tower crane} \textit{ i bisa menangani pekerjaan j} \\ = 0 & \text{jika } \textit{tower crane} \textit{ i tidak bisa menangani pekerjaan j} \end{cases}$$

Penentuan kelompok pekerjaan diperlukan agar pekerjaan bisa dijangkau oleh satu *tower crane*. Jadi apabila satu pekerjaan bisa dijangkau oleh dua *tower crane* maka kita harus menentukan *tower crane* mana yang akan menangani pekerjaan tersebut (Tam dan Leung, 2008).

2. Kriteria penentuan pekerjaan

Ada dua kriteria yang diterapkan untuk mengukur efektifitas penentuan pekerjaan, antara lain keseimbangan beban kerja pada masing-masing waktu pengangkutan untuk setiap *tower crane* dan kemungkinan konflik terendah. Kondisi keseimbangan beban kerja dapat diukur standart deviasi T_i , T_i merupakan waktu pengangkutan pengait *tower crane* ke- i . Untuk mengukur kemungkinan konflik, diperkenalkan parameter NC atau conflict index. Setiap δ_{ij} dicocokkan pada segitiga dengan titik Supply, titik demand dan lokasi *tower crane* sebagai ujung-ujungnya (gambar 3.9). Jika dua segitiga letaknya berjauhan maka tidak akan terjadi konflik (gambar 3.9(a)). Jumlah perpotongan antara dua segitiga menggambarkan tingkat keruwetan konflik, semakin

berpotongan maka semakin mungkin terjadi konflik. Maka dari (gambar 3.9 (b)) konflik lebih memungkinkan terjadi dari pada (gambar 3.9(c)). Sebagai tambahan, semakin intensif arus material juga berpengaruh terhadap kemungkinan konflik (Sebt, et al, 2008)



Gambar 3.9. Contoh konflik antara dua pekerjaan

(Sumber : Sebt, et al, 2008)

3.1.10. Menentukan Posisi Optimal Tiap *Tower Crane* Dengan Mengaplikasikan Model Optimasi *Tower Crane* Tunggal Pada Setiap *Tower Crane*

1. Model lokasi *tower crane* tunggal

Setiap pekerjaan (task) 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 diantara titik Feasible Area. Titik yang paling optimal adalah titik yang memiliki konflik indek dan keseimbangan beban kerja antar *tower crane* yang paling kecil.

2. Waktu perjalanan pengait untuk melakukan pekerjaan

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

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

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

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

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

Waktu pergerakan radial trolley

$$T_a = \left| \frac{\rho(D_j) - \rho(S_j)}{v\alpha} \right| ; T_\omega = \frac{1}{\omega} \cdot \text{Arc}$$

$$\cos\left(\frac{l_j^2 - \rho(D_j)^2 - \rho(S_j)^2}{2 \cdot \rho(D_j) \cdot \rho(S_j)}\right) ; (0 \leq \text{Arc cos}(\theta) \leq \pi)$$

Dimana :

T_h = Waktu perjalanan horizontal pengait

T_v = Waktu perjalanan vertikal pengait

T_a = Waktu pergerakan radial trolley

T_ω = Waktu pergerakan tangensial trolley

α = Derajat koordinasi pergerakan pengait dalam arah radial dan tangensial pada bidang horisontal ; (antara 0 s.d. 1)

β = Derajat koordinasi pergerakan pengait dalam arah radial dan tangensial pada bidang vertikal dan horisontal ; (antara 0 s.d. 1)



Gambar 3.10. Waktu Perjalanan Pengait

(Sumber : Tam dan Leung, 2008)

3. Optimasi lokasi untuk group *tower crane*

Optimasi lokasi untuk Group *tower crane* bisa dilakukan dengan menggabungkan dua sub model di atas yaitu dengan mencari NC, σ yang paling kecil dari setiap titik dalam Feasible Area.

3.1.10. Menentukan Posisi Optimal Tiap *Tower Crane* Dengan Mengaplikasikan Model Optimasi *Tower Crane* Tunggal Pada Setiap *Tower Crane*

1. Model lokasi *tower crane* tunggal

Setiap pekerjaan (task) 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 diantara titik Feasible Area. Titik yang paling optimal adalah titik yang memiliki konflik indek dan keseimbangan beban kerja antar *tower crane* yang paling kecil.

2. Optimasi lokasi untuk group *tower crane*

Optimasi lokasi untuk Group *tower crane* bisa dilakukan dengan menggabungkan dua sub model di atas yaitu dengan mencari nilai yang paling kecil dari setiap titik dalam Feasible Area.

3.2. Konsep Biaya

3.2.1. Biaya

Biaya proyek merupakan hal yang penting selain waktu, kedua hal ini berkaitan erat dan dipengaruhi oleh metode pelaksanaan, pemakaian peralatan, bahan, dan tenaga kerja yang dipakai. Dengan adanya persaingan harga dalam suatu tender maka perlu adanya estimasi yang tepat dan akurat, dan harus dimulai sejak pelaksanaan tender dimulai, sebab biaya yang disetujui dalam kontrak tidak dapat diubah tanpa adanya sebab yang tepat. Untuk itu diperlukan perhitungan analisa, dan pengalaman kerja yang banyak supaya tidak mengalami kerugian di kemudian hari.

Menurut Raharjaputra, H.S. (2009), biaya merupakan pengorbanan atau pengeluaran yang dilakukan oleh suatu perusahaan atau perorangan yang bertujuan untuk memperoleh manfaat lebih dari aktivitas.

3.2.2. Biaya Alat Berat

Biaya alat berat terdiri dari biaya kepemilikan alat dan biaya operasional alat (Rosiyanti,2008)

1. Biaya Kepemilikan Alat Berat

Berikut ini macam-macam biaya kepemilikan alat berat :

a. Alat Berat yang Dibeli oleh Kontraktor

Jika alat berat yang digunakan adalah milik kontraktor pelaksana proyek, maka ada beberapa faktor yang harus diperhitungkan antara lain:

1) Biaya investasi pembelian alat jika pemilik meminjam uang dari bank untuk membeli alat tersebut maka akan ada biaya bunga pinjaman.

2) Depresiasi atau penurunan nilai alat yang akan disebabkan bertambahnya umur alat. Beberapa cara yang dipakai untuk menghitung nilai depresiasi alat antara lain :

a) Metode Garis Lurus

Metode ini merupakan metode yang paling mudah dalam perhitungan depresiasi. Metode ini merupakan metode yang paling sering digunakan.

b) Metode Penjumlahan Tahun

Metode ini merupakan metode percepatan sehingga nilai depresiasinya akan lebih besar daripada depresiasi yang dihitung dengan metode garis lurus.

c) Metode Penurunan Seimbang

Metode ini menghitung depresiasi pertahun dengan mengkalikan nilai buku pada akhir tahun dengan suatu faktor. Nilai depresiasi dengan cara ini lebih besar daripada kedua metode sebelumnya.

b. Alat yang Disewa-Beli (*Leasing*) oleh kontraktor.

Biasanya sewa-beli alat dilakukan jika pihak kontraktor pelaksana proyek menyewa alat berat dalam jangka waktu yang lama. Kontraktor membayar biaya sewa kepada perusahaan *leasing* dan karena periode sewa yang lama maka pada akhir masa sewa alat berat tersebut menjadi milik dari

kontraktor. Biaya sewa umumnya lebih tinggi daripada biaya beli namun kontraktor tidak harus berinvestasi dalam jumlah besar diawal.

c. Alat berat yang disewa oleh kontraktor

Umumnya alat berat digunakan tidak untuk waktu yang lama. Biaya sewa umumnya relative jauh lebih tinggi dari membeli alat ataupun sewa-beli, namun karena penyewaan berlangsung dalam jangka waktu singkat maka akan lebih menguntungkan disbanding membeli atau menyewa-beli alat.

3.2.3. Biaya Pengoperasian Alat Berat

Biaya pengoperasian adalah biaya yang harus dikeluarkan saat menggunakan alat berat. Biaya pengoperasian meliputi :

a. Biaya Bahan Bakar

Setiap jenis alat berat menggunakan bahan bakar yang berbeda. Ada yang menggunakan bensin, solar, maupun listrik. Kebutuhan bahan bakar masing-masing alatpun berbeda.

b. Biaya Pelumas

Jenis pelumas yang digunakan alat berat dipengaruhi oleh jenis penggerak utamanya yaitu traktor sebagai penggerak utama, *excavator* sebagai penggerak utama atau bukan traktor maupun *excavator*.

c. Biaya Mobilisasi dan Demobilisasi

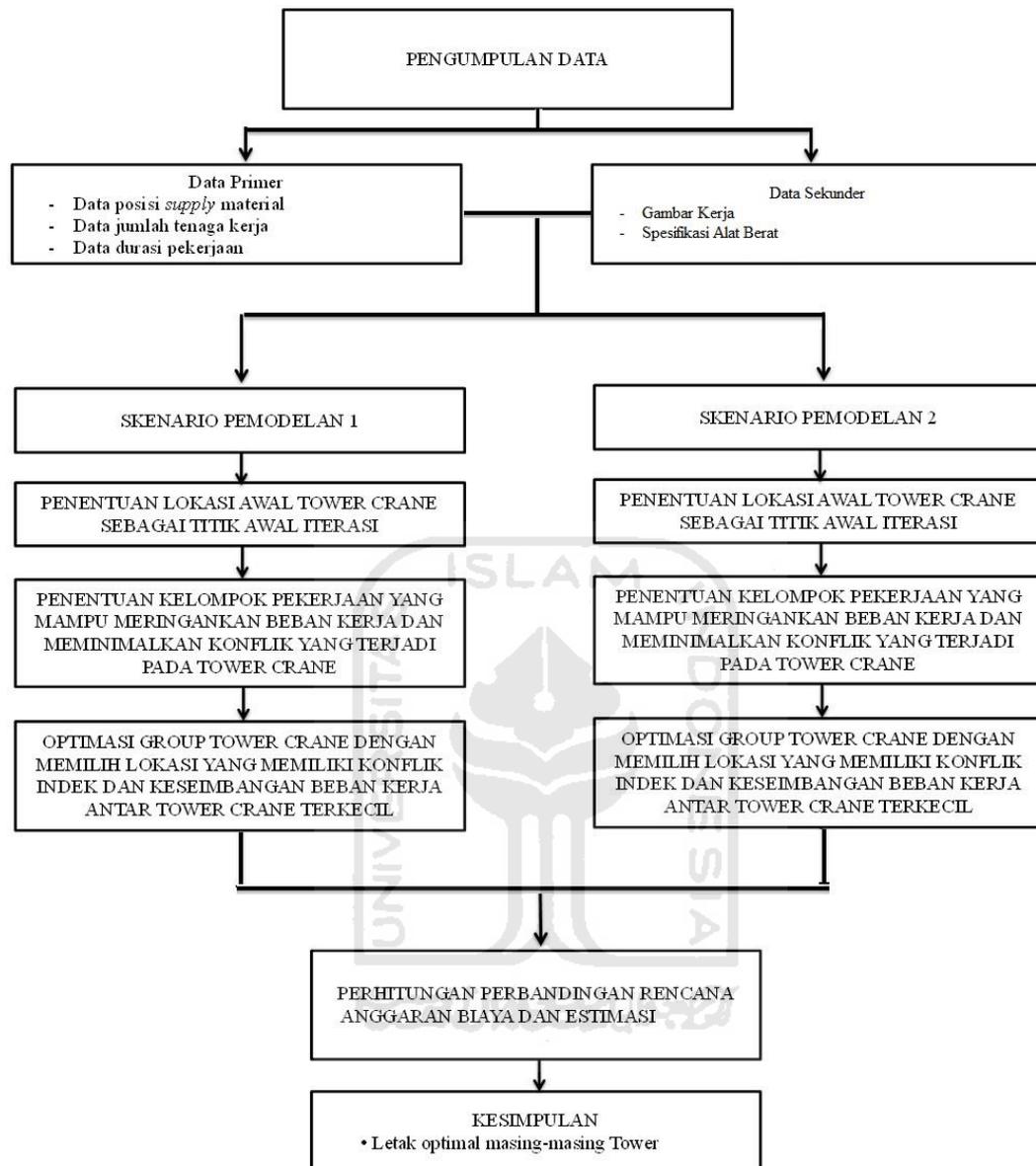
Mobilisasi adalah proses pengadaan alat ke proyek dan demobilisasi adalah proses pengembalian alat dari proyek setelah alat tersebut selesai digunakan. Biaya ini perlu diperhitungkan karena umumnya alat berat tidak berjalan sendiri dari tempat penyimpanannya ke proyek atau sebaliknya, melainkan harus diangkut menggunakan *lowbed trailer*.

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Tahapan Penelitian

Untuk analisa pada *group tower crane*, hasil penempatan Supply Point dari Single *tower crane* digunakan untuk memulai proses analisa. Dimana antara Supply Point dan Demand Point membentuk suatu Task yang selanjutnya akan dianalisa kedekatannya sehingga membentuk suatu group Task. Kedekatan suatu *task* diukur dari *overlapping area*, semakin besar *overlapping area* maka semakin dekat antar *task*. Apabila diantara Task yang satu dengan yang lain terlalu jauh maka ditempatkan pada *tower crane* yang berbeda. Berdasarkan pada group Task yang berbentuk maka akan terbentuk *feasible area* untuk penempatan *tower crane* untuk group Task yang ditinjau kemudian dilanjutkan dengan analisa letak group *tower crane* yang dapat memberikan hasil yang optimal. Sehingga pada nantinya diharapkan *tower crane* yang bekerja pada Pembangunan Proyek Rumah Sakit Pendidikan Universitas Islam Indonesia akan membentuk suatu group task yang baik.

Tahapan penelitian merupakan proses penelitian dari awal sampai akhir yang akan dilakukan pada proposal tugas akhir ini. Tahapan ini meliputi latar belakang penelitian, permasalahan yang dihadapi, studi literatur mengenai penelitian, pengumpulan data proyek, skenario pemodelan yang dilakukan, penentuan lokasi awal *tower crane*, penentuan kelompok pekerjaan, optimasi lokasi group *tower crane* yang optimal, kesimpulan. Tahapan ini dapat dilihat pada **gambar 4.1**. Tahapan Penelitian.



Gambar 4.1. Tahapan Penelitian

4.1.1. Teori Data

Data adalah hasil pengukuran yang bisa memberikan gambaran suatu keadaan atau memberikan suatu informasi. Data merupakan sesuatu yang belum mempunyai arti bagi penerimanya dan masih memerlukan adanya suatu pengolahan. Data bisa berupa suatu keadaan, gambar, suara, huruf, angka, matematika, bahasa ataupun simbol-simbol lainnya yang bisa kita gunakan sebagai bahan untuk melihat lingkungan, obyek, kejadian ataupun suatu konsep.

Informasi merupakan hasil pengolahan dari sebuah model, formasi, organisasi, ataupun suatu perubahan bentuk dari data yang memiliki nilai tertentu, dan bisa digunakan untuk menambah pengetahuan bagi yang menerimanya. Dalam hal ini, data bisa dianggap sebagai obyek dan informasi adalah suatu subyek yang bermanfaat bagi penerimanya. Informasi juga bisa disebut sebagai hasil pengolahan ataupun pemrosesan data.

4.1.2. Pengumpulan Data

Untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam penelitian ini, pengambilan data dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Data primer diperoleh dengan tinjauan langsung dilapangan untuk data yang berkaitan dengan lokasi penelitian seperti posisi *supply*, data jumlah tenaga kerja, data durasi pekerjaan.
2. Data sekunder diperoleh melalui referensi adapun data sekunder yang digunakan adalah gambar kerja sebagai acuan dalam menghitung volume pekerjaan dilapangan dan spesifikasi alat berat yang digunakan sebagai acuan untuk perkiraan harga sewa dan biaya pengirimannya.

4.1.3. SKENARIO PEMODELAN POSISI TITIK SUPPLY

Tugas akhir ini direncanakan sebagai penelitian terapan pada alat berat *tower crane* karena penelitian ini dikerjakan dengan tujuan untuk memperoleh lokasi group *tower crane* yang paling optimal pada proyek Pembangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Islam Indonesia dengan cara meminimalkan konflik indek dan keseimbangan beban kerja antar *tower crane* terkecil.

Untuk memperoleh titik optimal *tower crane* ada 3 skenario yang harus dilakukan dalam mengerjakan tugas akhir ini. Masing-masing skenario memiliki perbedaan sendiri-sendiri seperti tercantum di bawah ini.

1.Skenario 1.

Skenario 1 ini dicari titik optimal *tower crane* pada kondisi titik Supply yang telah di modifikasi penempatan dan jumlahnya dengan radius *tower crane* yang digunakan adalah 50 m.

2.Skenario 2.

Skenario 2 ini dicari titik optimal *tower crane* pada kondisi titik Supply seperti skenario 1 tetapi radius *tower crane* yang digunakan diperkecil sampai mencapai radius yang optimal.

4.1.4. Penentuan Lokasi Awal *Tower Crane*

Penentuan lokasi awal *tower crane* bertujuan untuk memperkirakan kelompok pekerjaan setiap *tower crane*. Dalam hal ini dibagi menjadi menjadi empat tahap yaitu :

Menentukan kapasitas angkatan dan *feasible Area*

1. Menentukan *feasible area*
2. Mengelompokkan pekerjaan ke dalam kelas terpisah
3. Menentukan lokasi awal *tower crane*

4.1.5. Penentuan Kelompok Pekerjaan Yang Mampu Meringankan Beban Kerja Dan Meminimalkan Konflik Yang Terjadi Pada *Tower Crane*

Dalam penentuan kelompok pekerjaan ini dibagi menjadi tiga tahap yaitu :

1. Matrik Aksesibilitas
2. Kriteria penentuan pekerjaan
3. Penentuan pekerjaan

4.1.6. Optimasi *Tower Crane* Tunggal Diterapkan Pada Setiap *Tower Crane*

Pada tahap ini bertujuan untuk memilih waktu perjalanan pengait rata-rata *tower crane* yang kecil. Tahap ini dibagi menjadi tiga tahap yaitu :

1. Model lokasi *tower crane* tunggal
2. Waktu perjalanan pengait untuk melakukan pekerjaan
3. Optimasi lokasi untuk group *tower crane*

4.1.7. Perhitungan Biaya

Perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan biaya pelaksanaan pekerjaan *tower crane* adalah sebagai berikut.

1. Biaya sewa alat berat

Analisis biaya sewa alat berat dilakukan berdasarkan perhitungan biaya sewa yang terdiri dari biaya pelumas, biaya bahan bakar, biaya operator.

2. Biaya Sewa *Tower Crane*

Setelah waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan dari kedua alat berat diperoleh, maka dibandingkan antara kedua skenario tersebut antara rencana proyek dengan hasil optimalisasi manakah yang paling efisien dari segi waktu dan biaya.

3. Biaya Mobilisasi dan Demobilisasi

Pekerjaan mendatangkan (mobilisasi) dan mengembalikan (demobilisasi) alat-alat proyek, personil dan material yang digunakan selama pekerjaan berlangsung sesuai dengan ketentuan yang berlaku dan biaya berdasarkan biaya yang berlaku di daerah proyek tersebut.

BAB V ANALISA DATA

5.1. Analisis Data

Untuk memperoleh lokasi group *tower crane* yang paling optimal pada proyek Pembangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Islam Indonesia dengan cara meminimalkan konflik indek dan keseimbangan beban kerja antar *tower crane* terkecil ada 4 skenario yang harus dilakukan dalam mengerjakan tugas akhir ini. Masing-masing skenario memiliki perbedaan sendiri-sendiri seperti berikut.

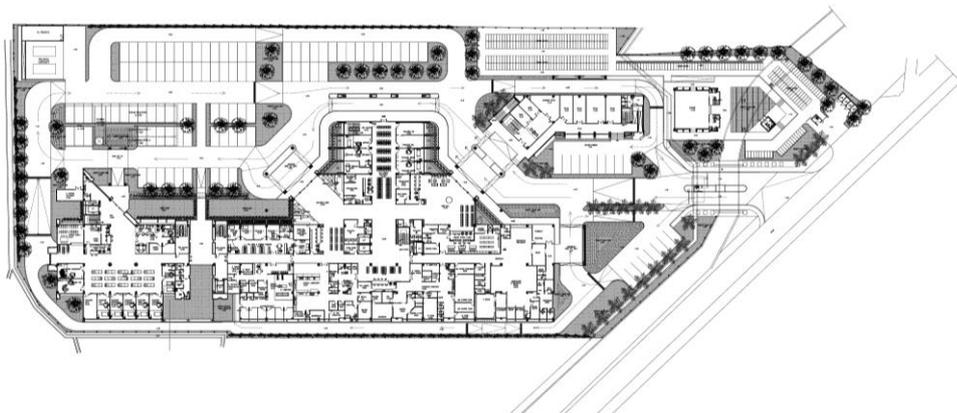
1. Skenario 1,

Skenario 1 ini dicari titik optimal *tower crane* pada kondisi titik Supply yang telah di modifikasi penempatan dan jumlahnya dengan radius *tower crane* yang digunakan adalah 50 meter.

2. Skenario 2.

Skenario 2 ini dicari titik optimal *tower crane* pada kondisi titik Supply seperti skenario 1 tetapi radius *tower crane* yang digunakan diperkecil sampai mencapai radius yang optimal.

Skenario yang direncanakan ini berdasarkan gambar *Site Plan* dari Rumah Sakit Pendidikan Universitas Islam Indonesia berikut.



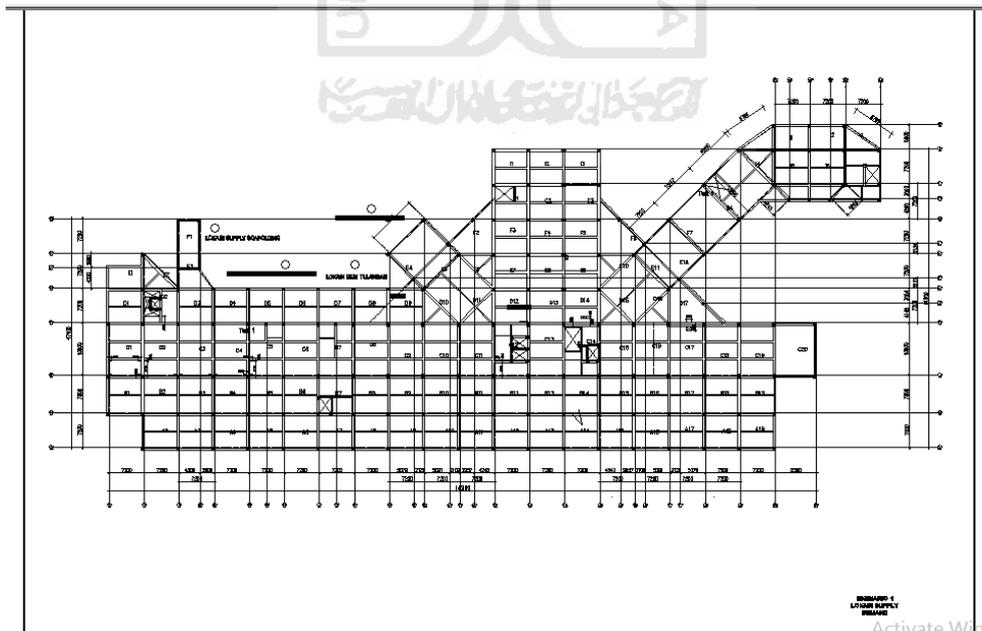
Gambar 5.1. *Site Plan* Rumah Sakit Pendidikan Universitas Islam Indonesia

5.1.1.Skenario 1

a. Menentukan Titik Supply dan Titik Demand

Titik supply adalah titik penyedia bahan maupun material yang ditempatkan di area strategis dan dapat memenuhi kebutuhan bahan dan material ke titik supply lain dan ke titik demand. Titik supply terdiri dari titik penyediaan material dan fabrikasi. Pada proyek akhir ini ditentukan titik supply yang meliputi titik penyediaan scaffolding, titik penyediaan bata ringan, titik fabrikasi pembesian dan titik fabrikasi bekisting. Faktor lain yang menjadi bahan pertimbangan dalam menentukan ukuran dan koordinat titik demand adalah pergerakan pekerja. Dengan direncanakannya titik demand menggunakan ukuran tersebut diasumsikan dalam memasang atau merakit material, pekerja tidak perlu berjalan jauh untuk mendistribusikan material dari pusat titik demand ke semua sisi dalam area demand tersebut, sehingga diharapkan waktu pendistribusian material bisa diminimalisir.

Untuk menentukan waktu perjalanan tower crane, maka digunakan koordinat, koordinat tersebut digunakan untuk mengetahui letak titik supply dan titik demand, yang nantinya akan digunakan sebagai variabel dalam perhitungan.



Gambar 5.2. Denah titik *supply* dan titik *demand*

Dari gambar di atas dapat diketahui dimana letak koordinat titik supply dan titik demand dan juga penamaan dari titik supply dan titik demand. Adapun koordinat titik supply dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini:

Tabel 5.1. Koordinat titik *supply* skenario 1

TITIK SUPPLY	KOORDINAT		
	X	Y	Z
F2	7	12	0
E5	11	10	0
E7	15	10	0
G8	16	13	0
F2	Lokasi supply scaffolding		
E5	Lokasi supply Bekisting		
E7	Lokasi supply besi tulangan		
G8	Lokasi supply ready mix		

Dari tabel di atas dapat diketahui koordinat X, Y, dan Z dari masing masing titik supply. Pada koordinat $Z = 0$ menandakan bahwa seluruh titik supply tersebut berada pada elevasi + 0.00 atau berada di tanah asli. Untuk posisi titik demand dapat dilihat pada Tabel 5.2. berikut

Tabel 5.2. Posisi *demand* skenario 1

	Titik Demand	Koordinat		
		X	Y	Z
A1	6	12	1	0
	7	14	1	0
	8	16	1	0
	9	18	1	0
	10	20	1	0
	11	22	1	0
	12	24	1	0
	13	26	1	0
	14	28	1	0

Lanjutan Tabel 5.2 Posisi *demand* skenario 1

	Titik Demand	Koordinat		
		X	Y	Z
B1	5	10	3	0
	6	12	3	0
	7	14	3	0
	8	16	3	0
	9	18	3	0
	10	20	3	0
	11	22	3	0
	12	24	3	0
	13	26	3	0
	14	28	3	0
	15	30	3	0
C1	4	8	5	0
	5	10	5	0
	6	12	5	0
	7	14	5	0
	8	16	5	0
	9	18	5	0
	10	20	5	0
	11	22	5	0
	12	24	5	0
	13	26	5	0
	14	28	5	0
	15	30	5	0
	16	32	5	0
D1	4	8	8	0
	5	10	8	0
	6	12	8	0
	7	14	8	0
	8	16	8	0
	9	18	8	0
	10	20	8	0
	11	22	8	0
	12	24	8	0
	13	26	8	0
	14	28	8	0
	15	30	8	0
	16	32	8	0
	17	34	8	0

Lanjutan Tabel 5.2 Posisi *demand* skenario 1

	Titik Demand	Koordinat		
		X	Y	Z
E1	4	18	10	0
	5	20	10	0
	6	22	10	0
	7	24	10	0
	8	26	10	0
	9	28	10	0
	10	30	10	0
	11	32	10	0
	12	34	10	0
F1	2	22	12	0
	3	24	12	0
	4	26	12	0
	5	28	12	0
	6	31	12	0
G1	1	24	13	0
	2	26	13	0
	3	28	13	0
I1	1	24	15	0
	2	26	15	0
	3	28	15	0
A2	6	12	1	4
	7	14	1	4
	8	16	1	4
	9	18	1	4
	10	20	1	4
	11	22	1	4
	12	24	1	4
	13	26	1	4
B2	5	10	3	4
	6	12	3	4
	7	14	3	4
	8	16	3	4
	9	18	3	4
	10	20	3	4
	11	22	3	4
	12	24	3	4
	13	26	3	4

Lanjutan Tabel 5.2 Posisi *demand* skenario 1

	Titik Demand	Koordinat		
		X	Y	Z
B2	14	28	3	4
	15	30	3	4
C2	4	8	5	4
	5	10	5	4
	6	12	5	4
	7	14	5	4
	8	16	5	4
	9	18	5	4
	10	20	5	4
	11	22	5	4
	12	24	5	4
	13	26	5	4
	14	28	5	4
	15	30	5	4
D2	4	8	8	4
	5	10	8	4
	6	12	8	4
	7	14	8	4
	8	16	8	4
	9	18	8	4
	10	20	8	4
	11	22	8	4
	12	24	8	4
	13	26	8	4
	14	28	8	4
	15	30	8	4
E2	4	18	10	4
	5	20	10	4
	6	22	10	4
	7	24	10	4
	8	26	10	4
	9	28	10	4
	10	30	10	4
	11	32	10	4
	12	34	10	4

Lanjutan Tabel 5.2 Posisi *demand* skenario 1

	Titik Demand	Koordinat		
		X	Y	Z
F2	2	22	12	4
	3	24	12	4
	4	26	12	4
	5	28	12	4
	6	31	12	4
G2	1	24	13	4
	2	26	13	4
	3	28	13	4
I2	1	24	15	4
	2	26	15	4
	3	28	15	4
A3	6	12	1	8
	7	14	1	8
	8	16	1	8
	9	18	1	8
	10	20	1	8
	11	22	1	8
	12	24	1	8
	13	26	1	8
B3	5	10	3	8
	6	12	3	8
	7	14	3	8
	8	16	3	8
	9	18	3	8
	10	20	3	8
	11	22	3	8
	12	24	3	8
	13	26	3	8
	14	28	3	8
	15	30	3	8

Lanjutan Tabel 5.2 Posisi *demand* skenario 1

	Titik Demand	Koordinat			
		X	Y	Z	
C3	9	18	5	8	
	10	20	5	8	
	11	22	5	8	
	12	24	5	8	
	13	26	5	8	
	14	28	5	8	
	15	30	5	8	
	16	32	5	8	
D3	4	8	8	8	
	5	10	8	8	
	6	12	8	8	
	7	14	8	8	
	8	16	8	8	
	9	18	8	8	
	10	20	8	8	
	11	22	8	8	
	12	24	8	8	
	13	26	8	8	
	14	28	8	8	
	15	30	8	8	
	16	32	8	8	
	17	34	8	8	
E3	4	18	10	8	
	5	20	10	8	
	6	22	10	8	
	7	24	10	8	
	8	26	10	8	
	9	28	10	8	
	10	30	10	8	
	11	32	10	8	
	12	34	10	8	
	F3	2	22	12	8
		3	24	12	8
		4	26	12	8
5		28	12	8	
6		31	12	8	
G3	1	24	13	8	
	2	26	13	8	
	3	28	13	8	

Lanjutan Tabel 5.2 Posisi *demand* skenario 1

	Titik Demand	Koordinat		
		X	Y	Z
C3	9	18	5	8
	10	20	5	8
	11	22	5	8
	12	24	5	8
	13	26	5	8
	14	28	5	8
	15	30	5	8
D3	16	32	5	8
	4	8	8	8
	5	10	8	8
	6	12	8	8
	7	14	8	8
	8	16	8	8
	9	18	8	8
	10	20	8	8
	11	22	8	8
	12	24	8	8
	13	26	8	8
E3	14	28	8	8
	15	30	8	8
	16	32	8	8
	17	34	8	8
	4	18	10	8
	5	20	10	8
	6	22	10	8
	7	24	10	8
	8	26	10	8
9	28	10	8	
F3	10	30	10	8
	11	32	10	8
	12	34	10	8
	2	22	12	8
	3	24	12	8
	4	26	12	8
G3	5	28	12	8
	6	31	12	8
	1	24	13	8

Lanjutan Tabel 5.2 Posisi *demand* skenario 1

	Titik Demand	Koordinat		
		X	Y	Z
I3	1	24	15	8
	2	26	15	8
	3	28	15	8
A4	6	12	1	12
	7	14	1	12
	8	16	1	12
	9	18	1	12
	10	20	1	12
	11	22	1	12
	12	24	1	12
	13	26	1	12
B4	5	10	3	12
	6	12	3	12
	7	14	3	12
	8	16	3	12
	9	18	3	12
	10	20	3	12
	11	22	3	12
	12	24	3	12
	13	26	3	12
	14	28	3	12
	15	30	3	12
	C4	4	8	5
5		10	5	12
6		12	5	12
7		14	5	12
8		16	5	12
9		18	5	12
10		20	5	12
11		22	5	12
12		24	5	12
13		26	5	12
14		28	5	12
15		30	5	12
16		32	5	12

Lanjutan Tabel 5.2 Posisi *demand* skenario 1

	Titik Demand	Koordinat			
		X	Y	Z	
D4	4	8	8	12	
	5	10	8	12	
	6	12	8	12	
	7	14	8	12	
	8	16	8	12	
	9	18	8	12	
	10	20	8	12	
	11	22	8	12	
	12	24	8	12	
	13	26	8	12	
	14	28	8	12	
	15	30	8	12	
	16	32	8	12	
	17	34	8	12	
E4	4	18	10	12	
	5	20	10	12	
	6	22	10	12	
	7	24	10	12	
	8	26	10	12	
	9	28	10	12	
	10	30	10	12	
	11	32	10	12	
	12	34	10	12	
	F4	2	22	12	12
		3	24	12	12
		4	26	12	12
5		28	12	12	
6		31	12	12	
G4	1	24	13	12	
	2	26	13	12	
	3	28	13	12	
I4	1	24	15	12	
	2	26	15	12	
	3	28	15	12	

Lanjutan Tabel 5.2 Posisi *demand* skenario 1

	Titik	Koordinat		
	Demand	X	Y	Z
A5	6	12	1	16
	7	14	1	16
	8	16	1	16
	9	18	1	16
	10	20	1	16
	11	22	1	16
	12	24	1	16
	13	26	1	16
	14	28	1	16
B5	5	10	3	16
	6	12	3	16
	7	14	3	16
	8	16	3	16
	9	18	3	16
	10	20	3	16
	11	22	3	16
	12	24	3	16
	13	26	3	16
	14	28	3	16
C5	4	8	5	16
	5	10	5	16
	6	12	5	16
	7	14	5	16
	8	16	5	16
	9	18	5	16
	10	20	5	16
	11	22	5	16
	12	24	5	16
	13	26	5	16
	14	28	5	16
	15	30	5	16
	16	32	5	16
D5	4	8	8	16
	5	10	8	16
	6	12	8	16
	7	14	8	16
	8	16	8	16
	9	18	8	16

Lanjutan Tabel 5.2 Posisi *demand* skenario 1

	Titik	Koordinat		
	Demand	X	Y	Z
D5	10	20	8	16
	11	22	8	16
	12	24	8	16
	13	26	8	16
	14	28	8	16
	15	30	8	16
	16	32	8	16
	17	34	8	16
E5	4	18	10	16
	5	20	10	16
	6	22	10	16
	7	24	10	16
	8	26	10	16
	9	28	10	16
	10	30	10	16
	11	32	10	16
F5	2	22	12	16
	3	24	12	16
	4	26	12	16
	5	28	12	16
	6	31	12	16
	G5	1	24	13
2		26	13	16
3		28	13	16
I5	1	24	15	16
	2	26	15	16
	3	28	15	16
A6	6	12	1	20
	7	14	1	20
	8	16	1	20
	9	18	1	20
	10	20	1	20
	11	22	1	20
	12	24	1	20
	13	26	1	20
14	28	1	20	

Lanjutan Tabel 5.2 Posisi *demand* skenario 1

	Titik Demand	Koordinat		
		X	Y	Z
B6	5	10	3	20
	6	12	3	20
	7	14	3	20
	8	16	3	20
	9	18	3	20
	10	20	3	20
	11	22	3	20
	12	24	3	20
	13	26	3	20
	14	28	3	20
	15	30	3	20
C6	4	8	5	20
	5	10	5	20
	6	12	5	20
	7	14	5	20
	8	16	5	20
	9	18	5	20
	10	20	5	20
	11	22	5	20
	12	24	5	20
	13	26	5	20
	14	28	5	20
15	30	5	20	
16	32	5	20	
D6	4	8	8	20
	5	10	8	20
	6	12	8	20
	7	14	8	20
	8	16	8	20
	9	18	8	20
	10	20	8	20
	11	22	8	20
	12	24	8	20
	13	26	8	20
	14	28	8	20
	15	30	8	20
	16	32	8	20
17	34	8	20	

Lanjutan Tabel 5.2 Posisi *demand* skenario 1

	Titik	Koordinat		
	Demand	X	Y	Z
E6	4	18	10	20
	5	20	10	20
	6	22	10	20
	7	24	10	20
	8	26	10	20
	9	28	10	20
	10	30	10	20
	11	32	10	20
	12	34	10	20
F6	2	22	12	20
	3	24	12	20
	4	26	12	20
	5	28	12	20
	6	31	12	20
G6	1	24	13	20
	2	26	13	20
	3	28	13	20
I6	1	24	15	20
	2	26	15	20
	3	28	15	20

b. Menentukan Model Lokasi Awal *Tower Crane*

1) Data Tower Crane

Data tower crane yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

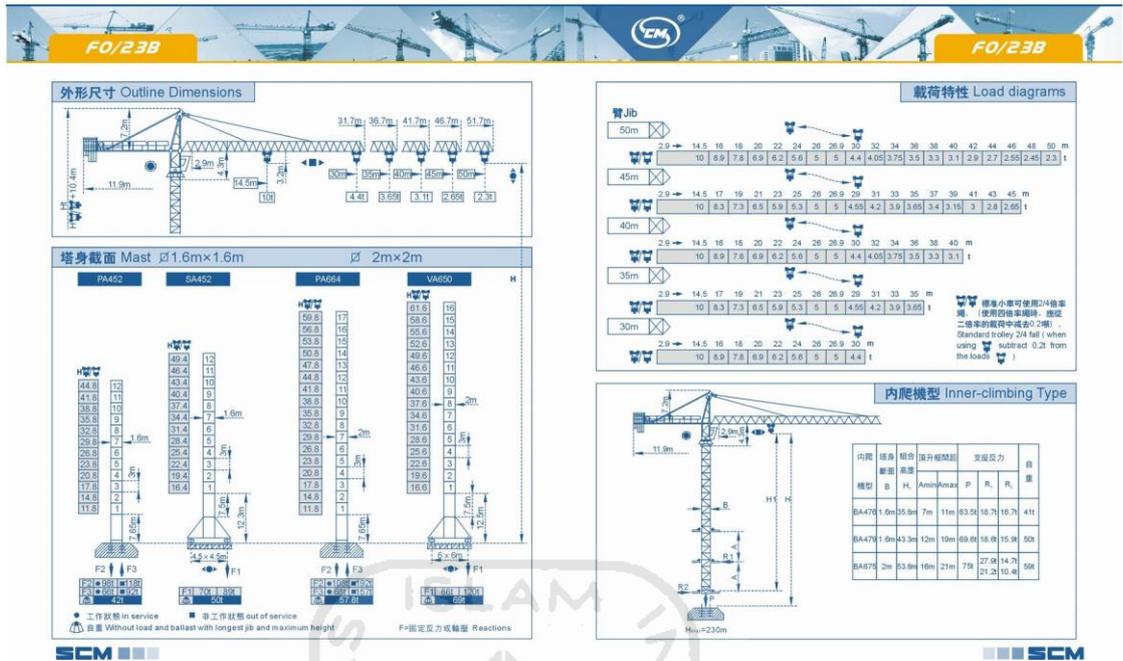
1. Dibuat oleh : Potain Sichuan Qiangli Construction Machinery Co. Ltd
2. Sertifikat bahan : besi baja
3. Untuk mengangkut : penumpang /barang/ penumpang dan barang
4. Kapasitas angkut : radius 50 meter
5. *Tip load* : 2.3 Ton
5. Kecepatan angkat : 80 meter/menit (tanpa beban)
6. Tinggi angkut : \pm 48 meter
7. Jenis motor penggerak : motor yang digunakan jenis arus AC
8. Kekuatan motor penggerak : 380V, 50Hz
9. Alat-alat pengaman / perlengkapan : struktur besi, seling, kabel-kabel



Gambar 5.3. Tower Crane FO23B

Untuk menghitung produktivitas tower crane yang perlu diperhatikan adalah kapasitas angkut, untuk kapasitas angkut tower crane FO 23 B ini tidak bisa diambil angka yg ditetapkan oleh perusahaan yang menyewakan tower crane dikarenakan ada faktor yang mempengaruhinya yaitu faktor usia alat. pada pelaksanaannya spesifikasi yang dikeluarkan oleh perusahaan penyewaan tower crane harus dilakukan pemeriksaan pemakaian alat terlebih dahulu. Maka dilakukan berita acara pemeriksaan. Berdasarkan berita acara pemeriksaan dihasilkan data-data sebagai berikut :

1. Pemilik alat : PT. Indo Tower Crane Jakarta
2. Merk : Potain
3. Tipe : FO 23 B
4. Kapasitas : 60 meter atau 2300 kg
5. Keterangan : layak pakai



Gambar 5.4 Spesifikasi Tower Crane Potain FO 23 B (a)

(sumber : www.indotowercrane.com)

Kapasitas angkatan tower crane ditentukan oleh radius tower crane yang digunakan, semakin besar radius yang digunakan maka kapasitas angkatan tower crane semakin kecil dan begitu sebaliknya. Tower crane yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah tower crane dengan radius 50 m dengan kapasitas angkat 2.3 ton.

機構特性 Specifications Mechanisms

名稱 Name	機構代號 Model	工作速度 m/min Operating speeds	起重量 t Hoist weight	纜繩長度 Rope length	電動機 Motor Hp KW	
起升 Hoisting	70RCS25	雙繩 2 fall	0-50	5	70 2×51.5	
			0-100	2.5		
		四繩 4 fall	0-25	10		
	75LVF25R	雙繩 2 fall	0-50	5	800m >800m★	75 55
			0-100	2.5		
		四繩 4 fall	0-25	10		
變幅 Trolleying	X96		15-38-58		塔轉力矩 95Nm	
	OMD45	0-0.7r/min			2×4.4	
回轉 Slewing	RCV95	0-0.7r/min			2×95Nm	
	9RVF	0-0.7r/min			塔轉力矩 2×95Nm	
	RT443	0-12.5-25			4×5 4×1.7/3.4	
行走 Travelling	18TVF	0-25			4×3.4	

★ 根據用戶特殊要求提供
To be supplied according to client's specific requirements



Gambar 5.5 Spesifikasi Tower Crane Potain FO 23 B (b)

Berdasarkan tabel brosur crane di atas kecepatan vertikal tergantung pada beban maksimal yang diangkat. Apabila beban maksimal yang dapat diangkat adalah 2.3 ton, maka kecepatan vertikal (V_v) adalah 50 m/menit dan kecepatan gerak horisontal radial pengait antara 0 sampai 50 m/menit maka dipakai (V_a) sebesar 50 m/menit. Kecepatan putar lengan kerja antara 0 sampai 0,7 rad/menit dan dipakai (V_ω) sebesar 0,7 rpm.

Tabel 5. 3 Waktu Delay

Material	Load Delay	Unload Delay
Besi	2 menit	2menit
Bekisting	3 menit	2menit
Scaffolding	4 menit	2menit
Ready Mix	5 menit	2menit

Tabel di atas menjelaskan waktu load delay dan waktu unload delay dari setiap material. Load delay adalah waktu jeda dimana tower crane siap untuk mengangkat material setelah material tertata rapi pada kait tower crane. Sedangkan unload delay adalah waktu jeda dimana tower crane menurunkan

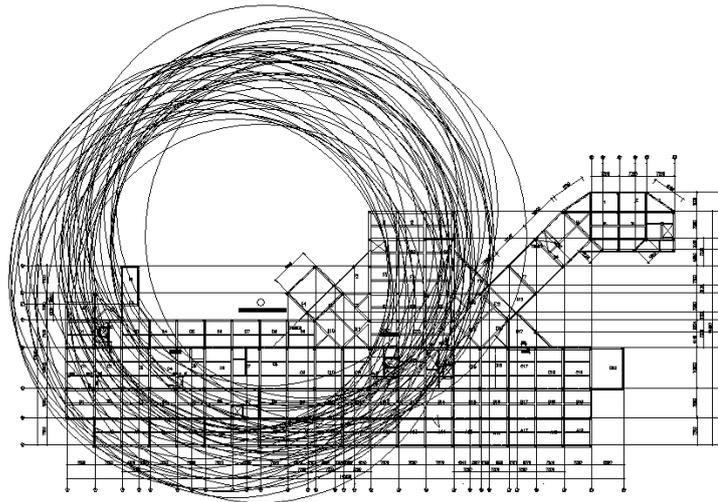
material ke titik demand (dilakukan pembongkaran material dari kait tower crane). Selain load delay dan unload delay, total waktu pengangkutan juga dipengaruhi oleh frekuensi pengangkutan material sesuai dengan daftar pekerjaan tower crane.

c. Menentukan *Feasible Area*

Feasible area adalah area yang paling memungkinkan untuk menempatkan tower crane dalam satu kelompok pekerjaan yang mampu dilayani tower crane tersebut. Feasible area merupakan irisan dari sejumlah feasible task area yang saling tumpang tindih atau overlap. Sedangkan feasible task area adalah area untuk menempatkan tower crane agar dapat melayani pekerjaan mengangkut dari titik supply ke titik demand.

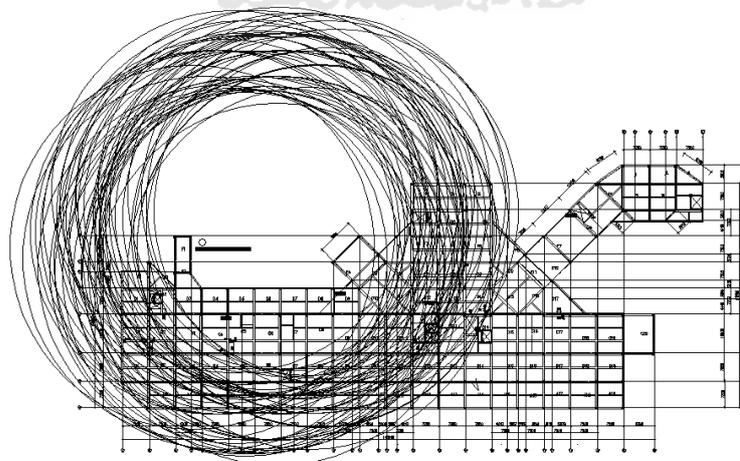
Untuk mempermudah dalam pembuatan feasible area maka feasible area dibuat terpisah sesuai dengan jenis material apa saja yang diangkut tower crane dan zona yang telah ditentukan sehingga akan terlihat jelas feasible area dari masing-masing pekerjaan sesuai dengan titik supply ke titik demand nya. Kemudian dari masing-masing feasible area tersebut akan digabungkan menjadi satu irisan feasible area yang mencakup semua jenis pengangkutan pekerjaan.

Cara membuat feasible area adalah membuat lingkaran dengan radius sebesar radius tower crane pada pusat titik demand dan pusat titik supply. Kemudian dari semua lingkaran itu di ambil irisan yang mencakup semua lingkaran yang ada. Dari irisan ini akan membentuk sebuah area yang akan digunakan untuk posisi tower crane. Dalam hal ini tower crane yang digunakan adalah tower crane jenis *self supporting static tower crane* atau *tower crane* yang ditanam di dasar tanah, maka dalam menentukan feasible area dibatasi oleh bangunan yang didirikan. Sebagai contoh akan ditunjukkan bagaimana menentukan feasible area untuk distribusi pembesian seperti pada **Gambar 5.4** di bawah ini.



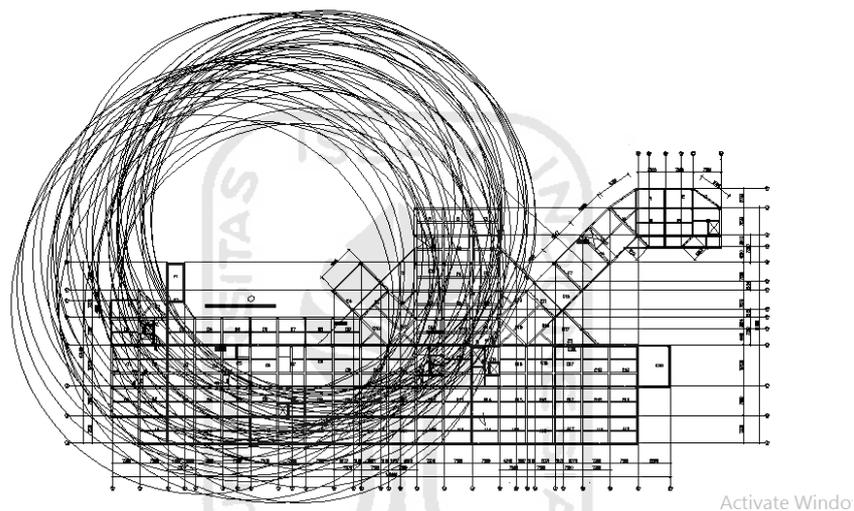
Gambar 5.6. Feasible Area Pembesian

Pada gambar 5.6. atas terlihat lingkaran merah yang menandakan lingkaran tersebut merupakan radius dari titik supply pembesian dan lingkaran hitam merupakan radius dari titik demand, sedangkan area yang di arsir adalah feasible area dari pembesian. Feasible area dibatasi oleh bangunan yang ada karena jenis tower crane yang digunakan adalah tower crane tanam sehingga tower crane tidak bisa diposisikan di dalam bangunan dan dibatasi oleh wilayah proyek. Di bawah ini adalah gambar *feasible area* untuk scaffolding dan titik demand.



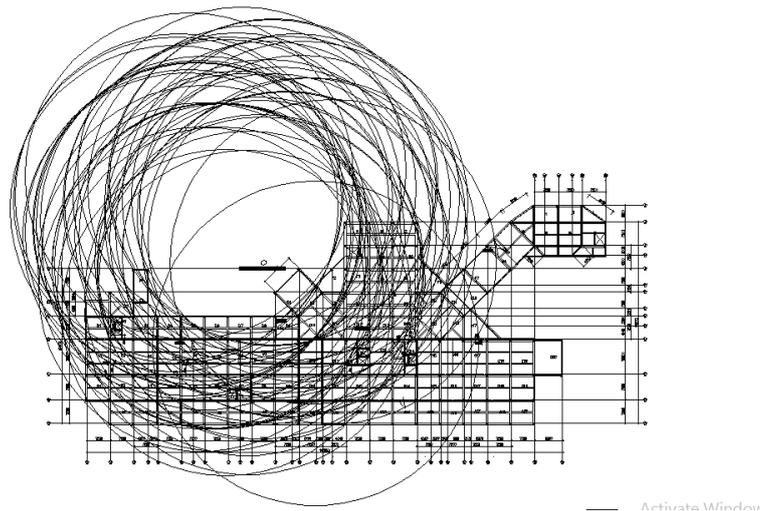
Gambar 5.7. Feasible Area Scaffolding

Pada gambar di atas terlihat lingkaran merah yang menandakan lingkaran tersebut merupakan radius dari titik supply scaffolding dan lingkaran hitam merupakan radius dari titik demand, sedangkan area yang di arsir adalah feasible area dari scaffolding. Feasible area dibatasi oleh bangunan yang ada karena jenis tower crane yang digunakan adalah tower crane tanam sehingga tower crane tidak bisa diposisikan di dalam bangunan dan dibatasi oleh wilayah proyek. Di bawah ini adalah gambar feasible area untuk bekisting dan titik demand.



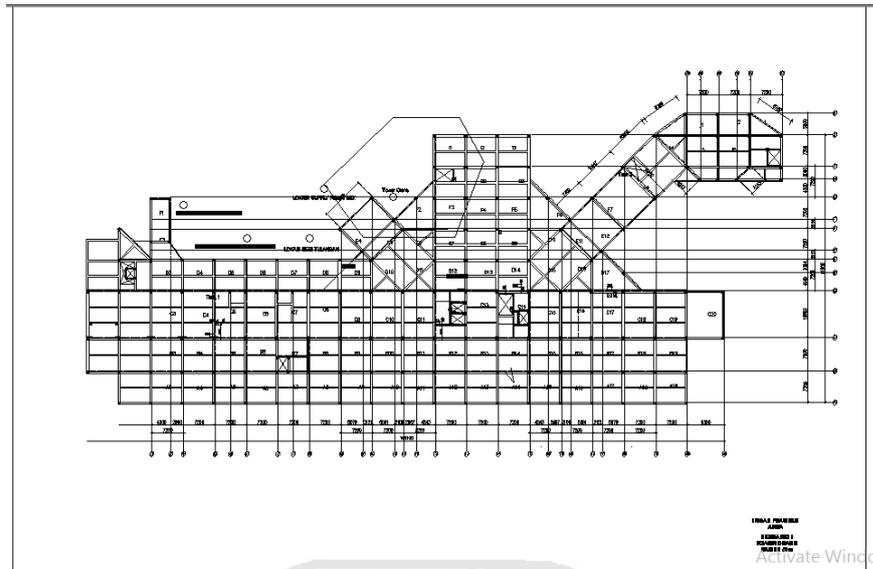
Gambar 5.8. Feasible Area Bekisting

Pada gambar di atas terlihat lingkaran merah yang menandakan lingkaran tersebut merupakan radius dari titik supply bekisting dan lingkaran hitam merupakan radius dari titik demand, sedangkan area yang di arsir adalah feasible area dari jenis tower crane yang digunakan adalah tower crane tanam sehingga tower crane tidak bisa diposisikan di dalam bangunan dan dibatasi oleh wilayah proyek. Di bawah ini adalah gambar feasible area untuk ready mix dan titik demand.



Gambar 5.9. Feasible Area Ready Mix

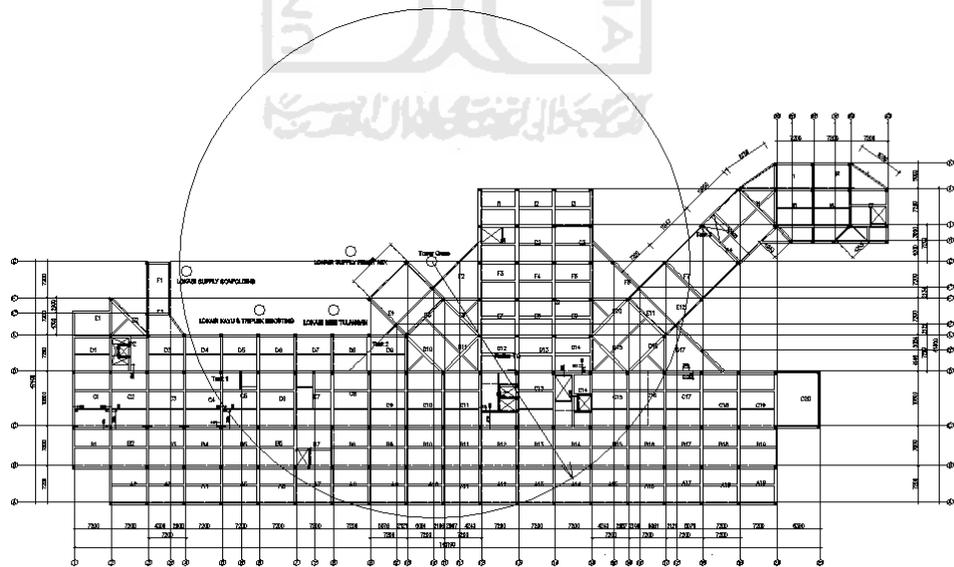
Pada gambar di atas terlihat lingkaran merah yang menandakan lingkaran tersebut merupakan radius dari titik supply bata ringan dan lingkaran hitam merupakan radius dari titik demand, sedangkan area yang di arsir adalah feasible area dari bata ringan. Feasible area dibatasi oleh bangunan yang ada karena jenis tower crane yang digunakan adalah tower crane tanam sehingga tower crane tidak bisa diposisikan di dalam bangunan dan dibatasi oleh wilayah proyek. Dari semua feasible area yang didapatkan dari masing-masing pekerjaan kemudian digabungkan menjadi 1 irisan feasible area yang mencakup semua feasible area. Irisan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5.8** di bawah:



Gambar 5.10. irisan *feasible area* skenario 1

d. Menentukan Lokasi Awal Tower Crane

Lokasi awal untuk penempatan tower crane pada skenario 1 ini sesuai data eksisting di lapangan dan lokasi tersebut bersifat sementara yang digunakan sebagai titik acuan penentuan kelompok pekerjaan. Untuk TC pada skenario 1 ditempatkan pada koordinat (20,12)



Gambar 5.11. Lokasi awal TC pada skenario 1

Gambar di atas merupakan posisi TC pada skenario 1 dengan radius adalah 50 m.

e. Menentukan Kelompok Pekerjaan untuk Setiap Tower Crane

Tabel 5.4. Aksesibilitas TC Gabungan

Task	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	
Task B1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Task C1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Task D1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Task E1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Task F1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Task G1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Task I1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Task J1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Dari gambar di atas dapat diketahui 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.

Pada setiap pekerjaan yang dapat diakses oleh tower crane diberi nilai 1 dan untuk pekerjaan yang tidak dapat diakses diberi nilai 0. Apabila ada pekerjaan yang memiliki nilai 1 pada TC 1 dan TC 2 maka pekerjaan tersebut mengalami overlap. Kemampuan aksesibilitas dari masing-masing tower crane tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5.5** berikut ini:

Tabel 5.5. Matriks Aksesibilitas TC Skenario 1

Task	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	
Task B1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Task C1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Task D1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Task E1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Task F1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Task G1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Task I1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Task J1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Dari tabel di atas dapat diketahui pada task A6 pada TC bernilai 1 ini berarti task A4 dapat dilakukan oleh TC . Tetapi pada task A2, TC bernilai 0 yang berarti task A2 tidak dapat dikerjakan oleh tower crane. Untuk lebih jelas dan lengkapnya dapat dilihat pada lampiran matriks aksesibilitas.

f. Menetapkan Kelompok Pekerjaan dengan Keseimbangan Beban Kerja dan Konflik Indeks Terkecil

Pada tahap ini, pekerjaan yang dapat dilayani oleh lebih dari 1 tower crane ditetapkan ke dalam kelompok pekerjaan TC1 dan TC2, dengan syarat kelompok pekerjaan tersebut memiliki standart deviasi (σ) beban kerja minimum yang menunjukkan beban kerja seimbang dan juga memiliki konflik indeks (NC) minimum pula. NC yang rendah menggambarkan kecilnya resiko tabrakan yang akan dialami oleh tower crane. Untuk perhitungan standart deviasi (σ) keseimbangan beban kerja pada masing-masing waktu pengangkutan untuk setiap crane menggunakan :

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

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

dengan keterangan :

σ = Kriteria penentuan pekerjaan.

T = Waktu rata-rata pengangkutan dari semua crane

T_i = waktu pengangkutan pengait crane ke-i.

T_i merupakan waktu pengangkutan pengait Crane ke i :

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

dengan keterangan :

T_i = waktu pengangkutan pengait crane ke-i.

δ_{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.

δ_{ij} merupakan angka dari matrik aksesibilitas yang nilainya 1 atau 0, sedangkan Q adalah frekuensi distribusi dan $(t1_{ij} + t2_{ij} + t3_{ij} + t4_{ij})$ merupakan total waktu yang diperlukan untuk mengangkat material dari titik supply ke titik demand dengan lokasi tower crane yang telah ditentukan sebelumnya.

Menghitung waktu perjalanan pengait pekerjaan dari titik supply ke titik demand :

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

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

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

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

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

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

Waktu pergerakan radial trolley :

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

Dimana

T_h = Waktu perjalanan horizontal pengait

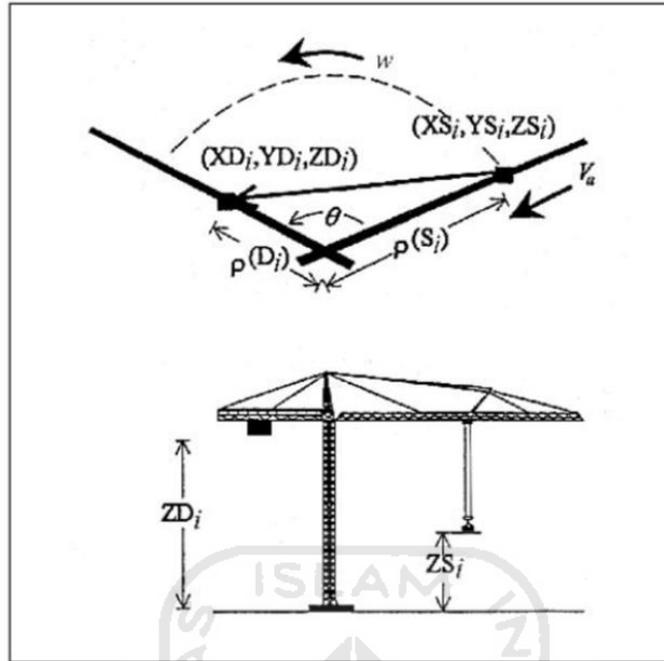
T_v = Waktu perjalanan vertikal pengait

T_a = Waktu pergerakan radial trolley

T_ω = Waktu pergerakan tangensial trolley

α = Derajat koordinasi pergerakan pengait dalam arah radial dan tangensial pada bidang horizontal; (antara 0 sd 1)

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



Gambar 5.12. Waktu Perjalanan Pengait (Sumber: Tam dan Leung, 2008)

Contoh Perhitungan :

Menghitung waktu angkat pekerjaan task 1 pengangkatan bekisting dari titik supply (S1) (11,10,0) ke area demand (A6) (12,1,0) dengan posisi awal TC pada skenario 1 pada (20,13,4) kemudian dengan $\sigma = 1$, $Q = 1$, $X=20$, $Y=13$, $XD_1=8$, $YD_1=1$, $ZD_1=4$, $XS_1=11$, $YS_1=10$, $ZS_1=0$, $\alpha:0.25$, $\beta:1$, kec vertikal (V_v) penuh: 50 m/menit, kec vertikal (V_v) kosong: 100m/menit, kec horizontal radial (V_a) : 50 m/menit, kec putar lengan kerja (V_m) : 0,7 rpm, load delay : 2 menit, unload delay : 2 menit.

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}\rho(D_j) &= \sqrt{(XD_j - x)^2 + (YD_j - y)^2} \\ &= \sqrt{(8 - 20)^2 + (1 - 13)^2}\end{aligned}$$

$$= 14,422$$

$$\begin{aligned}\rho(S_j) &= \sqrt{(XS_j - x)^2 + (YS_j - y)^2} \\ &= \sqrt{(11 - 12)^2 + (10 - 9)^2}\end{aligned}$$

$$=9,487$$

$$\begin{aligned} I_j &= \sqrt{(XD_j - XS_j)^2 + (YD_j - YS_j)^2} \\ &= \sqrt{(8 - 11)^2 + (1 - 11)^2} \\ &= 9,055 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_a &= \left| \frac{\rho(D_j) - \rho(S_j)}{V_a} \right| \\ &= \left| \frac{14,422 - 9,487}{50} \right| \\ &= 0,09871 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_\omega &= \frac{1}{\omega} \text{Arc cos} \left(\frac{I_j^2 - \rho(D_1)^2 - \rho(S_1)^2}{2 \cdot \rho(D_1) \cdot \rho(S_1)} \right) \\ &= \frac{1}{0,7} \text{Arc cos} \left(\frac{9,055^2 - 14,422^2 - 9,487^2}{2 \cdot 14,422 \cdot 9,487} \right) \\ &= 206,099 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_h &= \max(T_a, T_\omega) + \alpha \min(T_a, T_\omega) \\ &= 206,099 + 0,25 \cdot 0,09871 \\ &= 206,123 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_v(\text{penuh}) &= (ZD_1 - ZS_1) / V_v \\ &= (4 - 0) / 50 \\ &= 0,08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_v(\text{kosong}) &= (ZD_1 - ZS_1) / V_v \\ &= (4 - 0) / 100 \\ &= 0,04 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_1 &= \max(T_h, T_v(\text{pnh})) + \beta \min(T_h, T_v(\text{pnh})) \\ &= 206,123 + 1 \cdot 0,08 \\ &= 206,203 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_2 &= \max(T_h, T_v(\text{ksng})) + \beta \min(T_h, T_v(\text{ksng})) \\ &= 206,123 + 1 \cdot 0,04 \\ &= 206,163 \end{aligned}$$

$$t_3 = 2 \text{ (unload delay)}$$

$$t_4 = 2 \text{ (unload delay)}$$

$$\begin{aligned}
 T &= \delta \cdot Q \cdot (t_1 + t_2 + t_3 + t_4) \\
 &= 1 \cdot 1 \cdot (206,203 + 206,163 + 2 + 2) \\
 &= 416,367
 \end{aligned}$$

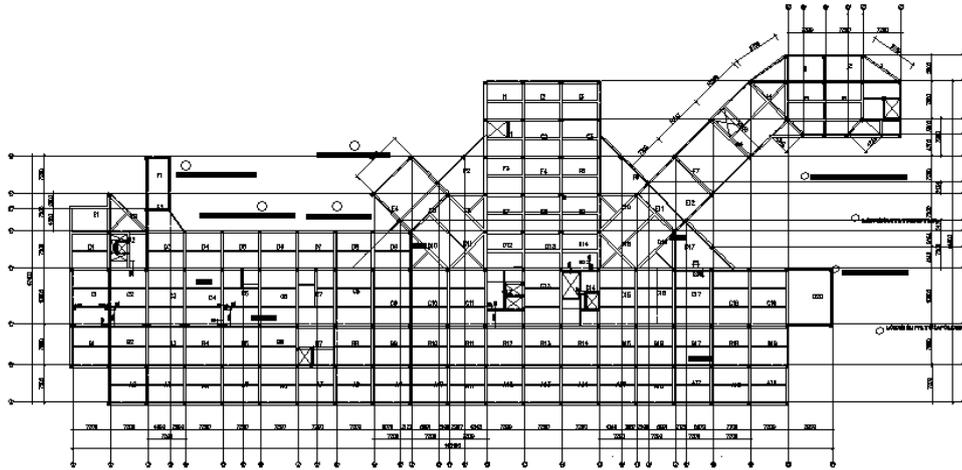
Tabel perhitungan keseluruhan pergerakan pengait dapat dilihat pada lampiran. Berikut semua pekerjaan yang telah dihitung nilai T nya dengan rumus di atas dan mendapatkan nilai T total pada masing-masing tower crane, kemudian dari penjumlahan $T = 3253,452 = 543$ jam.

5.1.2 Skenario 2

a. Menentukan Titik Supply dan Titik Demand

Titik supply adalah titik penyedia bahan maupun material yang ditempatkan di area strategis dan dapat memenuhi kebutuhan bahan dan material ke titik supply lain dan ke titik demand. Titik supply terdiri dari titik penyediaan material dan fabrikasi. Pada proyek akhir ini ditentukan titik supply yang meliputi titik penyediaan scaffolding, titik penyediaan bata ringan, titik fabrikasi pembesian dan titik fabrikasi bekisting. Faktor lain yang menjadi bahan pertimbangan dalam menentukan ukuran dan koordinat titik demand adalah pergerakan pekerja. Dengan direncanakannya titik demand menggunakan ukuran tersebut diasumsikan dalam memasang atau merakit material, pekerja tidak perlu berjalan jauh untuk mendistribusikan material dari pusat titik demand ke semua sisi dalam area demand tersebut, sehingga diharapkan waktu pendistribusian material bisa diminimalisir.

Untuk menentukan waktu perjalanan tower crane, maka digunakan koordinat, koordinat tersebut digunakan untuk mengetahui letak titik supply dan titik demand, yang nantinya akan digunakan sebagai variabel dalam perhitungan.



Gambar 5.13. Denah titik *supply* dan titik *demand*

Dari gambar di atas dapat diketahui dimana letak koordinat titik *supply* dan titik *demand* dan juga penamaan dari titik *supply* dan titik *demand*. Adapun koordinat titik *supply* dapat dilihat pada **Tabel 5.6** berikut ini:

Tabel 5.6. Koordinat titik *supply* skenario 2

TITIK SUPPLY	KOORDINAT		
	X	Y	Z
F2	7	12	0
E5	11	10	0
E7	15	10	0
G8	16	13	0
F2	Lokasi supply scaffolding		
E5	Lokasi supply Bekisting		
E7	Lokasi supply besi tulangan		
G8	Lokasi supply ready mix		

Dari tabel di atas dapat diketahui koordinat X, Y, dan Z dari masing masing titik *supply*. Pada koordinat $Z = 0$ menandakan bahwa seluruh titik *supply* tersebut berada pada elevasi + 0.00 atau berada di tanah asli. Untuk posisi titik *demand* dapat dilihat pada **Tabel 5.7.** berikut.

Tabel 5.7. Posisi *demand* skenario 2

	Titik Demand	Koordinat		
		X	Y	Z
A1	5	10	1	0
	6	12	1	0
	7	14	1	0
	8	16	1	0
	9	18	1	0
	15	30	1	0
	16	32	1	0
	17	34	1	0
	18	36	1	0
	19	38	1	0
B1	2	4	3	0
	3	6	3	0
	4	8	3	0
	5	10	3	0
	6	12	3	0
	7	14	3	0
	8	16	3	0
	9	18	3	0
	14	28	3	0
	15	30	3	0
	16	32	3	0
	17	34	3	0
	18	36	3	0
19	38	3	0	
C1	1	2	5	0
	2	4	5	0
	3	6	5	0
	4	8	5	0
	5	10	5	0
	6	12	5	0
	7	14	5	0
	8	16	5	0
	9	18	5	0
	10	20	5	0
	13	26	5	0
	14	28	5	0

Lanjutan Tabel 5.7. Posisi *demand* skenario 2

	Titik	Koordinat		
	Demand	X	Y	Z
C1	15	30	5	0
	16	32	5	0
	17	34	5	0
	18	36	5	0
	19	38	5	0
	20	40	5	0
D1	1	2	8	0
	2	4	8	0
	3	6	8	0
	4	8	8	0
	5	10	8	0
	6	12	8	0
	7	14	8	0
	8	16	8	0
	9	18	8	0
	10	20	8	0
	11	24	8	0
	13	26	8	0
	14	28	8	0
	15	30	8	0
	16	32	8	0
	17	34	8	0
	E1	1	2	10
2		4	10	0
3		6	10	0
4		8	10	0
5		10	10	0
6		12	10	0
8		16	10	0
9		18	10	0
10		20	10	0
11		22	10	0
12		24	10	0

Lanjutan Tabel 5.7. Posisi *demand* skenario 2

	Titik Demand	Koordinat		
		X	Y	Z
F1	1	6	12	0
	2	22	12	0
	4	24	12	0
	5	26	12	0
	6	28	12	0
	7	30	12	0
G1	2	26	14	0
	3	28	14	0
	4	36	14	0
I1	1	24	16	0
	2	26	16	0
	3	28	16	0
	4	38	16	0
	5	40	16	0
	6	42	16	0
J1	1	40	16	0
A2	5	10	1	4
	6	12	1	4
	7	14	1	4
	8	16	1	4
	9	18	1	4
	15	30	1	4
	16	32	1	4
	17	34	1	4
	18	36	1	4
19	38	1	4	
B2	2	4	3	4
	3	6	3	4
	4	8	3	4
	5	10	3	4
	6	12	3	4
	7	14	3	4
	8	16	3	4
	9	18	3	4
14	28	3	4	

Lanjutan Tabel 5.7. Posisi *demand* skenario 2

	Titik Demand	Koordinat			
		X	Y	Z	
B2	15	30	3	4	
	16	32	3	4	
	17	34	3	4	
	18	36	3	4	
	19	38	3	4	
C2	1	2	5	4	
	2	4	5	4	
	3	6	5	4	
	4	8	5	4	
	5	10	5	4	
	6	12	5	4	
	7	14	5	4	
	8	16	5	4	
	9	18	5	4	
	10	20	5	4	
	13	26	5	4	
	14	28	5	4	
	15	30	5	4	
	16	32	5	4	
	17	34	5	4	
	18	36	5	4	
	19	38	5	4	
	20	40	5	4	
	D2	1	2	8	4
		2	4	8	4
3		6	8	4	
4		8	8	4	
5		10	8	4	
6		12	8	4	
7		14	8	4	
8		16	8	4	
9		18	8	4	
10		20	8	4	
11		24	8	4	
13		26	8	4	
14		28	8	4	

Lanjutan Tabel 5.7. Posisi *demand* skenario 2

	Titik	Koordinat		
	Demand	X	Y	Z
D2	15	30	8	4
	16	32	8	4
	17	34	8	4
E2	1	2	10	4
	2	4	10	4
	3	6	10	4
	4	8	10	4
	5	10	10	4
	6	12	10	4
	8	16	10	4
	9	18	10	4
	10	20	10	4
	11	22	10	4
	12	24	10	4
	F2	1	6	12
2		22	12	4
4		24	12	4
5		26	12	4
6		28	12	4
7		30	12	4
G2	2	26	14	4
	3	28	14	4
	4	36	14	4
I2	1	24	16	4
	2	26	16	4
	3	28	16	4
	4	38	16	4
	5	40	16	4
	6	42	16	4
J2	1	40	16	4
A3	5	10	1	8
	6	12	1	8
	7	14	1	8
	8	16	1	8
	9	18	1	8
	15	30	1	8

Lanjutan Tabel 5.7. Posisi *demand* skenario 2

	Titik	Koordinat		
	Demand	X	Y	Z
A3	16	32	1	8
	17	34	1	8
	18	36	1	8
	19	38	1	8
B3	2	4	3	8
	3	6	3	8
	4	8	3	8
	5	10	3	8
	6	12	3	8
	7	14	3	8
	8	16	3	8
	9	18	3	8
	14	28	3	8
	15	30	3	8
	16	32	3	8
	17	34	3	8
	18	36	3	8
19	38	3	8	
C3	1	2	5	8
	2	4	5	8
	3	6	5	8
	4	8	5	8
	5	10	5	8
	6	12	5	8
	7	14	5	8
	8	16	5	8
	9	18	5	8
	10	20	5	8
	13	26	5	8
	14	28	5	8
	15	30	5	8
	16	32	5	8
	17	34	5	8
	18	36	5	8
	19	38	5	8
20	40	5	8	

Lanjutan Tabel 5.7. Posisi *demand* skenario 2

	Titik	Koordinat		
	Demand	X	Y	Z
D3	1	2	8	8
	2	4	8	8
	3	6	8	8
	4	8	8	8
	5	10	8	8
	6	12	8	8
	7	14	8	8
	8	16	8	8
	9	18	8	8
	10	20	8	8
	11	24	8	8
	13	26	8	8
	14	28	8	8
	15	30	8	8
	16	32	8	8
	17	34	8	8
	E3	1	2	10
2		4	10	8
3		6	10	8
4		8	10	8
5		10	10	8
6		12	10	8
8		16	10	8
9		18	10	8
10		20	10	8
11		22	10	8
12		24	10	8
F3		1	6	12
	2	22	12	8
	4	24	12	8
	5	26	12	8
	6	28	12	8
	7	30	12	8
	G3	2	26	14
3		28	14	8
4		36	14	8

Lanjutan Tabel 5.7. Posisi *demand* skenario 2

	Titik Demand	Koordinat		
		X	Y	Z
I3	1	24	16	8
	2	26	16	8
	3	28	16	8
	4	38	16	8
	5	40	16	8
	6	42	16	8
J3	1	40	16	8
A4	5	10	1	12
	6	12	1	12
	7	14	1	12
	8	16	1	12
	9	18	1	12
	15	30	1	12
	16	32	1	12
	17	34	1	12
	18	36	1	12
	19	38	1	12
B4	2	4	3	12
	3	6	3	12
	4	8	3	12
	5	10	3	12
	6	12	3	12
	7	14	3	12
	8	16	3	12
	9	18	3	12
	14	28	3	12
	15	30	3	12
	16	32	3	12
	17	34	3	12
	18	36	3	12
19	38	3	12	
C4	1	2	5	12
	2	4	5	12
	3	6	5	12
	4	8	5	12
	5	10	5	12

Lanjutan Tabel 5.7. Posisi *demand* skenario 2

	Titik	Koordinat		
	Demand	X	Y	Z
C4	6	12	5	12
	7	14	5	12
	8	16	5	12
	9	18	5	12
	10	20	5	12
	13	26	5	12
	14	28	5	12
	15	30	5	12
	16	32	5	12
	17	34	5	12
	18	36	5	12
D4	1	2	8	12
	2	4	8	12
	3	6	8	12
	4	8	8	12
	5	10	8	12
	6	12	8	12
	7	14	8	12
	8	16	8	12
	9	18	8	12
	10	20	8	12
	11	24	8	12
	13	26	8	12
	14	28	8	12
	15	30	8	12
	16	32	8	12
	17	34	8	12
	E4	1	2	10
2		4	10	12
3		6	10	12
4		8	10	12
5		10	10	12
6		12	10	12
8		16	10	12
9		18	10	12
10		20	10	12
11		22	10	12
12		24	10	12

Lanjutan Tabel 5.7. Posisi *demand* skenario 2

	Titik Demand	Koordinat		
		X	Y	Z
F4	1	6	12	12
	2	22	12	12
	4	24	12	12
	5	26	12	12
	6	28	12	12
	7	30	12	12
G4	2	26	14	12
	3	28	14	12
	4	36	14	12
I4	1	24	16	12
	2	26	16	12
	3	28	16	12
	4	38	16	12
	5	40	16	12
	6	42	16	12
J4	1	40	16	12
A5	5	10	1	16
	6	12	1	16
	7	14	1	16
	8	16	1	16
	9	18	1	16
	15	30	1	16
	16	32	1	16
	17	34	1	16
	18	36	1	16
	19	38	1	16
B5	2	4	3	16
	3	6	3	16
	4	8	3	16
	5	10	3	16
	6	12	3	16
	7	14	3	16
	8	16	3	16
	9	18	3	16
	14	28	3	16
	15	30	3	16
	16	32	3	16
	17	34	3	16
	18	36	3	16
19	38	3	16	

Lanjutan Tabel 5.7. Posisi *demand* skenario 2

	Titik	Koordinat			
	Demand	X	Y	Z	
C5	1	2	5	16	
	2	4	5	16	
	3	6	5	16	
	4	8	5	16	
	5	10	5	16	
	6	12	5	16	
	7	14	5	16	
	8	16	5	16	
	9	18	5	16	
	10	20	5	16	
	13	26	5	16	
	14	28	5	16	
	15	30	5	16	
	16	32	5	16	
	17	34	5	16	
	18	36	5	16	
	19	38	5	16	
	20	40	5	16	
	D5	1	2	8	16
		2	4	8	16
3		6	8	16	
4		8	8	16	
5		10	8	16	
6		12	8	16	
7		14	8	16	
8		16	8	16	
9		18	8	16	
10		20	8	16	
11		24	8	16	
13		26	8	16	
14		28	8	16	
15		30	8	16	
16		32	8	16	
17		34	8	16	
E5		1	2	10	16
	2	4	10	16	
	3	6	10	16	
	4	8	10	16	
	5	10	10	16	
	6	12	10	16	

Lanjutan Tabel 5.7. Posisi *demand* skenario 2

	Titik Demand	Koordinat		
		X	Y	Z
E5	8	16	10	16
	9	18	10	16
	10	20	10	16
	11	22	10	16
	12	24	10	16
F5	1	6	12	16
	2	22	12	16
	4	24	12	16
	5	26	12	16
	6	28	12	16
	7	30	12	16
G5	2	26	14	16
	3	28	14	16
	4	36	14	16
I5	1	24	16	16
	2	26	16	16
	3	28	16	16
	4	38	16	16
	5	40	16	16
	6	42	16	16
J5	1	40	16	16
A6	5	10	1	20
	6	12	1	20
	7	14	1	20
	8	16	1	20
	9	18	1	20
	15	30	1	20
	16	32	1	20
	17	34	1	20
	18	36	1	20
	19	38	1	20

Lanjutan Tabel 5.7. Posisi *demand* skenario 2

	Titik Demand	Koordinat		
		X	Y	Z
B6	2	4	3	20
	3	6	3	20
	4	8	3	20
	5	10	3	20
	6	12	3	20
	7	14	3	20
	8	16	3	20
	9	18	3	20
	14	28	3	20
	15	30	3	20
	16	32	3	20
	17	34	3	20
	18	36	3	20
19	38	3	20	
C6	1	2	5	20
	2	4	5	20
	3	6	5	20
	4	8	5	20
	5	10	5	20
	6	12	5	20
	7	14	5	20
	8	16	5	20
	9	18	5	20
	10	20	5	20
	13	26	5	20
	14	28	5	20
	15	30	5	20
16	32	5	20	
17	34	5	20	
18	36	5	20	
19	38	5	20	
20	40	5	20	
D6	1	2	8	20
	2	4	8	20
	3	6	8	20
	4	8	8	20
	5	10	8	20
	6	12	8	20

Lanjutan Tabel 5.7. Posisi *demand* skenario 2

	Titik Demand	Koordinat		
		X	Y	Z
D6	7	14	8	20
	8	16	8	20
	9	18	8	20
	10	20	8	20
	11	24	8	20
	13	26	8	20
	14	28	8	20
	15	30	8	20
	16	32	8	20
	17	34	8	20
E6	1	2	10	20
	2	4	10	20
	3	6	10	20
	4	8	10	20
	5	10	10	20
	6	12	10	20
	8	16	10	20
	9	18	10	20
	10	20	10	20
	11	22	10	20
	12	24	10	20
	F6	1	6	12
2		22	12	20
4		24	12	20
5		26	12	20
6		28	12	20
7		30	12	20
G6	2	26	14	20
	3	28	14	20
	4	36	14	20
I6	1	24	16	20
	2	26	16	20
	3	28	16	20
	4	38	16	20
	5	40	16	20
	6	42	16	20
J6	1	40	16	20

b. Menentukan Model Lokasi Awal *Tower Crane*

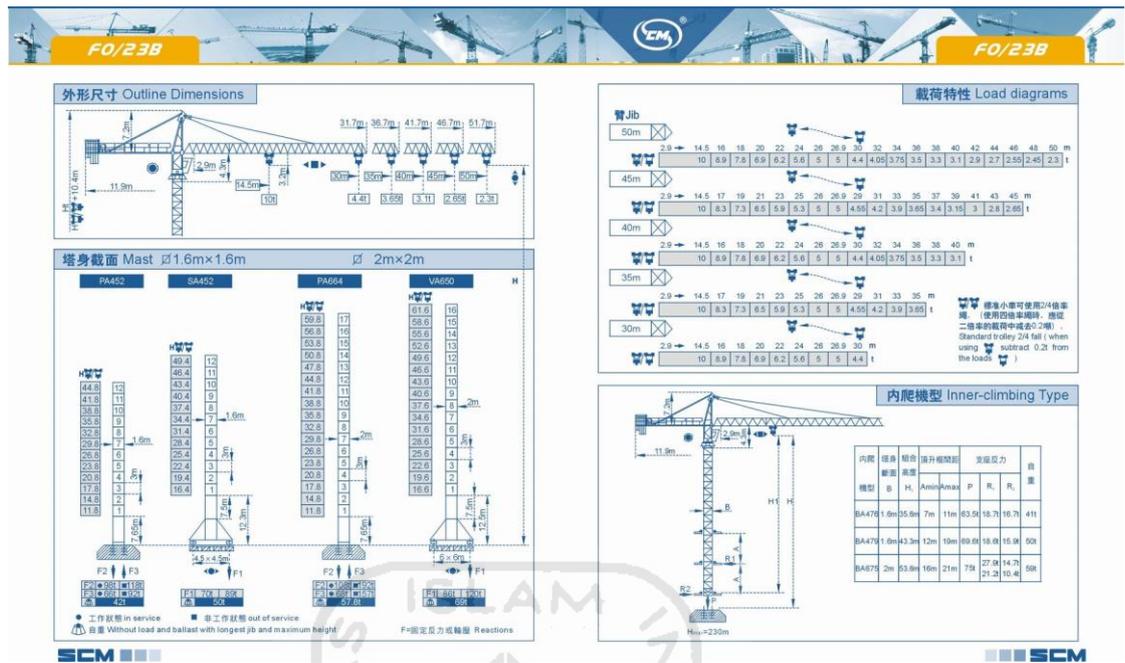
1) Data *Tower Crane*

Data tower crane yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dibuat oleh : Potain Sichuan Qiangli Construction Machinery Co. Ltd.
2. Sertifikat bahan : besi baja
3. Untuk mengangkut : penumpang /barang/ penumpang dan barang
4. Kapasitas angkut : radius 35 meter
5. *Tip load* : 3,65 Ton
5. Kecepatan angkat : 80 meter/menit (tanpa beban)
6. Tinggi angkut : \pm 48 meter
7. Jenis motor penggerak : motor yang digunakan jenis arus AC
8. Kekuatan motor penggerak : 380V, 50Hz
9. Alat-alat pengaman / perlengkapan : struktur besi, seling, kabel-kabel

Untuk menghitung produktivitas tower crane yang perlu diperhatikan adalah kapasitas angkut, untuk kapasitas angkut tower crane FO 23 B ini tidak bisa diambil angka yg ditetapkan oleh perusahaan yang menyewakan tower crane dikarenakan ada faktor yang mempengaruhinya yaitu faktor usia alat. pada pelaksanaannya spesifikasi yang dikeluarkan oleh perusahaan penyewaan tower crane harus dilakukan pemeriksaan pemakaian alat terlebih dahulu. Maka dilakukan berita acara pemeriksaan. Berdasarkan berita acara pemeriksaan dihasilkan data-data sebagai berikut :

1. Pemilik alat : PT. Indo Tower Crane Jakarta
2. Merk : Potain
3. Tipe : FO 23 B
4. Kapasitas : 35 meter atau 3650 kg
5. Keterangan : layak pakai



Gambar 5.14 Spesifikasi Tower Crane Potain FO 23 B (a)

(sumber : www.indotowercrane.com)

Kapasitas angkatan tower crane ditentukan oleh radius tower crane yang digunakan, semakin besar radius yang digunakan maka kapasitas angkatan tower crane semakin kecil dan begitu sebaliknya. Tower crane yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah tower crane dengan radius 35 m dengan kapasitas angkat 3.65 ton.

FO/23B

FO/23B

機構特性 Specifications Mechanisms						
名稱 Name	機構代號 Model	工作速度 m/min Operating speeds	起重量 t Hoist weight	纜繩量 Rope length	電動機 Motor Hp kW	
起升 Hoisting	70RCS25	雙繩 2 fall	0-50	5	486m >486m★	70 2×51.5
			0-100	2.5		
		四繩 4 fall	0-25	10		
	75LVP25R	雙繩 2 fall	0-50	5	800m >800m★	75 55
			0-100	2.5		
		四繩 4 fall	0-25	10		
變幅 Trolleying	X96		15-38-58		塔轉力矩 95Nm	
	OMD45		0-0.7r/min		2×4.4	
回轉 Slewing	RCV95		0-0.7r/min		2×95Nm	
	9RVF		0-0.7r/min		塔轉力矩 2×95Nm	
	RT443		0-12.5-25		4×5 4×1.7/3.4	
行走 Travelling	18TVF		0-25		4×3.4	

★ 根據用戶特殊要求提供
To be supplied according to client's specific requirements

SCM

SCM

Gambar 5.15 Spesifikasi Tower Crane Potain FO 23 B (b)

Berdasarkan tabel brosur tower crane di atas kecepatan vertikal tergantung pada beban maksimal yang diangkut. Apabila beban maksimal yang dapat diangkut adalah 2.3 ton, maka kecepatan vertikal (V_v) adalah 50 m/menit dan kecepatan gerak horisontal radial pengait antara 0 sampai 50 m/menit maka dipakai (V_a) sebesar 50 m/menit. Kecepatan putar lengan kerja antara 0 sampai 0,7 rad/menit dan dipakai (V_ω) sebesar 0,7 rpm.

Tabel 5.8. Waktu Delay

Material	Load Delay	Unload Delay
Besi	2 menit	2menit
Bekisting	3 menit	2menit
Scaffolding	4 menit	2menit
Ready Mix	5 menit	2menit

Tabel di atas menjelaskan waktu load delay dan waktu unload delay dari setiap material. Load delay adalah waktu jeda dimana tower crane siap untuk mengangkut material setelah material tertata rapi pada kait tower crane.

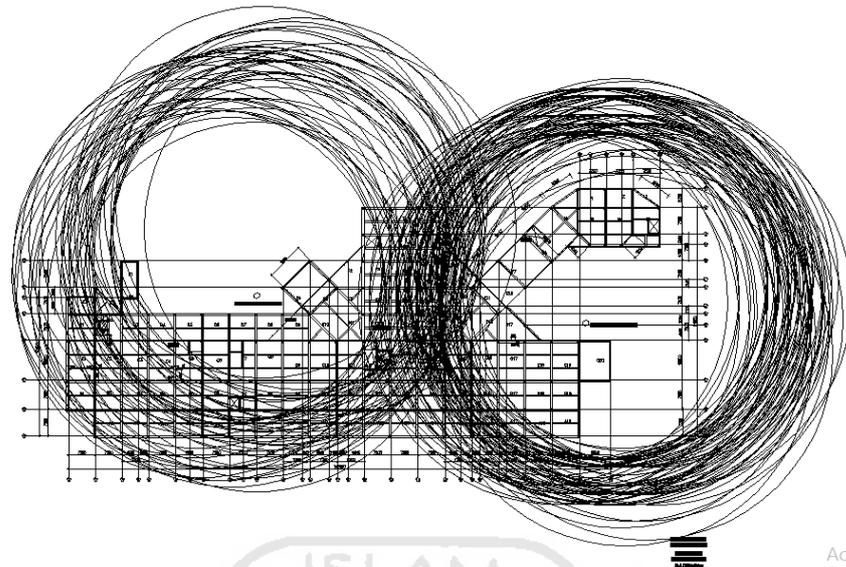
Sedangkan unload delay adalah waktu jeda dimana tower crane menurunkan material ke titik demand (dilakukan pembongkaran material dari kait tower crane). Selain load delay dan unload delay, total waktu pengangkutan juga dipengaruhi oleh frekuensi pengangkutan material sesuai dengan daftar pekerjaan tower crane.

c. Menentukan *Feasible Area*

Feasible area adalah area yang paling memungkinkan untuk menempatkan tower crane dalam satu kelompok pekerjaan yang mampu dilayani tower crane tersebut. Feasible area merupakan irisan dari sejumlah feasible task area yang saling tumpang tindih atau overlap. Sedangkan feasible task area adalah area untuk menempatkan tower crane agar dapat melayani pekerjaan mengangkut dari titik supply ke titik demand.

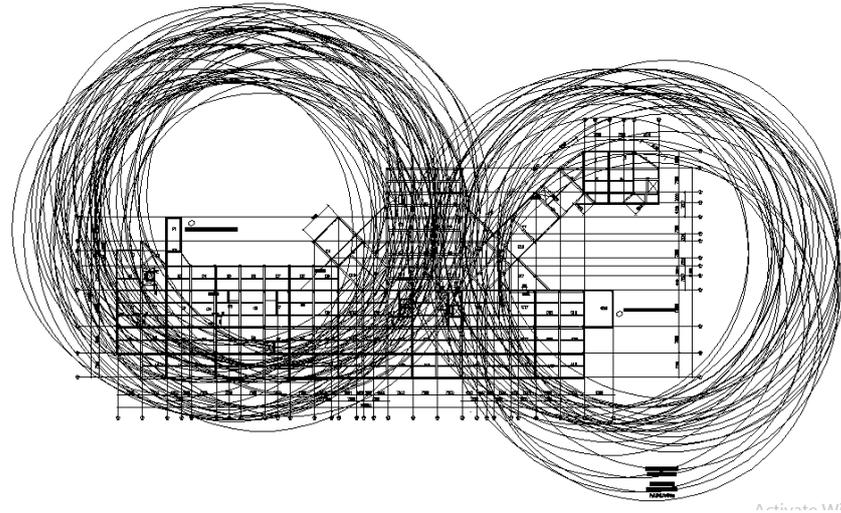
Untuk mempermudah dalam pembuatan feasible area maka feasible area dibuat terpisah sesuai dengan jenis material apa saja yang diangkut tower crane dan zona yang telah ditentukan sehingga akan terlihat jelas feasible area dari masing-masing pekerjaan sesuai dengan titik supply ke titik demand nya. Kemudian dari masing-masing feasible area tersebut akan digabungkan menjadi satu irisan feasible area yang mencakup semua jenis pengangkutan pekerjaan.

Cara membuat feasible area adalah membuat lingkaran dengan radius sebesar radius tower crane pada pusat titik demand dan pusat titik supply. Kemudian dari semua lingkaran itu di ambil irisan yang mencakup semua lingkaran yang ada. Dari irisan ini akan membentuk sebuah area yang akan digunakan untuk posisi tower crane. Dalam hal ini tower crane yang digunakan adalah tower crane jenis *self supporting static tower crane* atau *tower crane* yang ditanam di dasar tanah, maka dalam menentukan feasible area dibatasi oleh bangunan yang didirikan. Sebagai contoh akan ditunjukkan bagaimana menentukan feasible area untuk distribusi pembesian seperti pada **Gambar 5.4** di bawah ini.



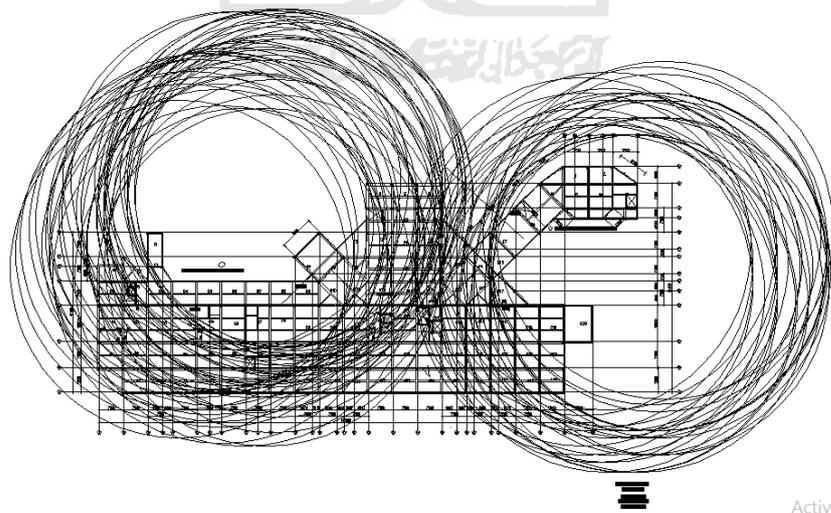
Gambar 5.16. Feasible Area Pembesian Skenario 2

Pada gambar di atas terlihat lingkaran merah yang menandakan lingkaran tersebut merupakan radius dari titik supply pembesian dan lingkaran hitam merupakan radius dari titik demand, sedangkan area yang di arsir adalah feasible area dari pembesian. Feasible area dibatasi oleh bangunan yang ada karena jenis tower crane yang digunakan adalah tower crane tanam sehingga tower crane tidak bisa diposisikan di dalam bangunan dan dibatasi oleh wilayah proyek. Di bawah ini adalah gambar feasible area untuk scaffolding dan titik demand.



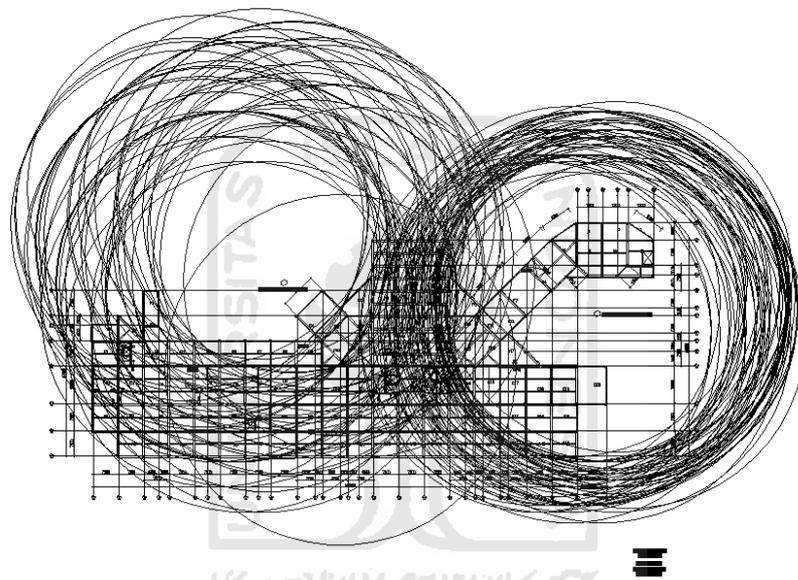
Gambar 5.17. Feasible Area Scaffolding Skenario 2

Pada gambar di atas terlihat lingkaran merah yang menandakan lingkaran tersebut merupakan radius dari titik supply scaffolding dan lingkaran hitam merupakan radius dari titik demand, sedangkan area yang di arsir adalah feasible area dari scaffolding. Feasible area dibatasi oleh bangunan yang ada karena jenis tower crane yang digunakan adalah tower crane tanam sehingga tower crane tidak bisa diposisikan di dalam bangunan dan dibatasi oleh wilayah proyek. Di bawah ini adalah gambar feasible area untuk bekisting dan titik demand.



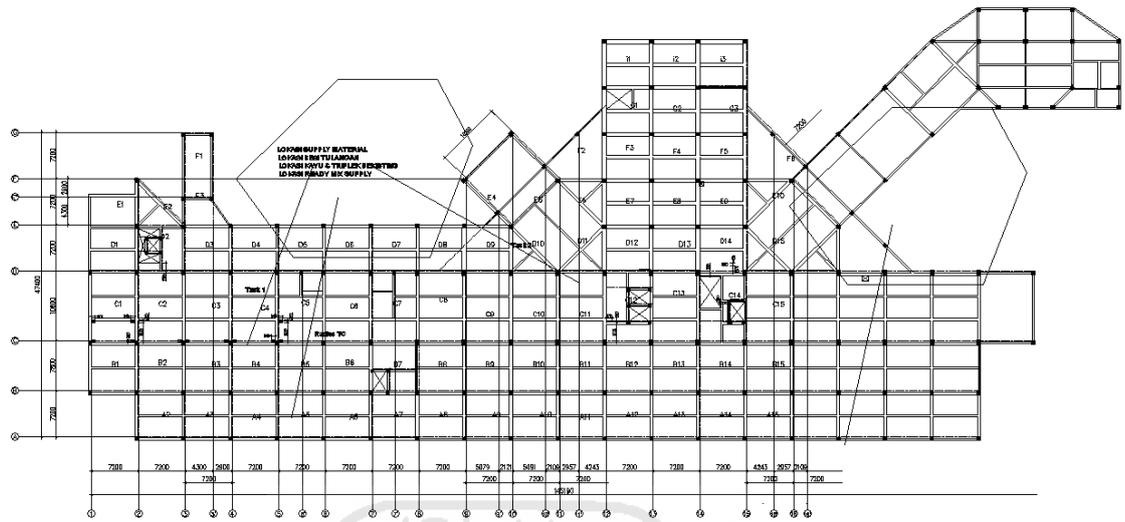
Gambar 5.18. Feasible Area Bekisting Skenario 2

Pada gambar di atas terlihat lingkaran merah yang menandakan lingkaran tersebut merupakan radius dari titik supply bekisting dan lingkaran hitam merupakan radius dari titik demand, sedangkan area yang di arsir adalah feasible area dari jenis tower crane yang digunakan adalah tower crane tanam sehingga tower crane tidak bisa diposisikan di dalam bangunan dan dibatasi oleh wilayah proyek. Di bawah ini adalah gambar feasible area untuk ready mix dan titik demand.



Gambar 5.19. Feasible Area Ready Mix Skenario 2

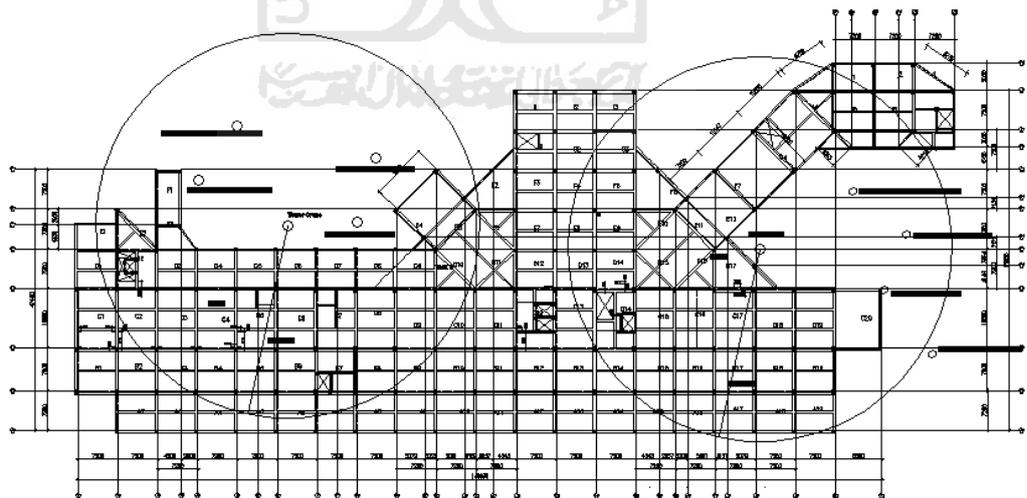
Pada gambar di atas terlihat lingkaran merah yang menandakan lingkaran tersebut merupakan radius dari titik supply bata ringan dan lingkaran hitam merupakan radius dari titik demand, sedangkan area yang di arsir adalah feasible area dari bata ringan. Feasible area dibatasi oleh bangunan yang ada karena jenis tower crane yang digunakan adalah tower crane tanam sehingga tower crane tidak bisa diposisikan di dalam bangunan dan dibatasi oleh wilayah proyek. Dari semua feasible area yang didapatkan dari masing-masing pekerjaan kemudian digabungkan menjadi 1 irisan feasible area yang mencakup semua feasible area. Irisan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5.8** di bawah:



Gambar 5.20. irisan *feasible area* skenario 2

d. Menentukan Lokasi Awal Tower Crane

Lokasi awal untuk penempatan tower crane pada skenario 1 ini sesuai data eksisting di lapangan dan lokasi tersebut bersifat sementara yang digunakan sebagai titik acuan penentuan kelompok pekerjaan. Untuk TC pada skenario 1 ditempatkan pada koordinat (13,9) dan koordinat (36,9)



SKENARIO 1
POHOK AWAL TC

Gambar 5.21. Lokasi awal TC pada skenario 2

Lanjutan Tabel 5.10. Matriks Aksesibilitas TC 1 dan TC 2

TC 2	Task	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19		
	Task	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	
	Task	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
	Task	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17			
	Task	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12								
	Task	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7													
	Task	G1	G2	G3	G4																
	Task	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7													
	Task	J1	J2	J3																	

Dari tabel di atas dapat diketahui pada task A4 pada TC 1 bernilai 1 dan pada TC2 bernilai 0, ini berarti task A4 hanya dapat dilakukan oleh TC 1. Tetapi pada task E8, TC1 dan TC2 bernilai 1 yang berarti task E8 dapat dikerjakan oleh kedua tower crane. Dari matriks aksesibilitas pekerjaan dapat diketahui bahwa pada task E8 mengalami overlap. Ini terjadi karena radius dari TC 1 dan TC 2 beririsan pada task-task tersebut, sehingga pekerjaan dapat dikerjakan oleh TC 1 maupun TC 2. Untuk lebih jelas dan lengkapnya dapat dilihat pada lampiran matriks aksesibilitas.

f. Menetapkan Kelompok Pekerjaan dengan Keseimbangan Beban Kerja dan Konflik Indeks Terkecil

Pada tahap ini, pekerjaan yang dapat dilayani oleh lebih dari 1 tower crane ditetapkan ke dalam kelompok pekerjaan TC1 dan TC2, dengan syarat kelompok pekerjaan tersebut memiliki standart deviasi (σ) beban kerja minimum yang menunjukkan beban kerja seimbang dan juga memiliki konflik indeks (NC) minimum pula. NC yang rendah menggambarkan kecilnya resiko tabrakan yang akan dialami oleh tower crane. Untuk perhitungan standart deviasi (σ) keseimbangan beban kerja pada masing-masing waktu pengangkutan untuk setiap crane menggunakan :

$$\sigma = \sqrt{\sum_i^I \frac{(T - Ti)^2}{I}}$$

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

dengan keterangan :

σ = Kriteria penentuan pekerjaan.

T = Waktu rata-rata pengangkutan dari semua crane

T_i = waktu pengangkutan pengait crane ke- i .

T_i merupakan waktu pengangkutan pengait Crane ke i :

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

dengan keterangan :

T_i = waktu pengangkutan pengait crane ke- i .

δ_{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 pengangkutan.

t_{4ij} = Waktu jeda rata-rata pembongkaran.

δ_{ij} merupakan angka dari matrik 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.

Menghitung waktu perjalanan pengait pekerjaan dari titik supply ke titik demand :

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

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

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

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

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

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

Waktu pergerakan radial trolley :

$$T_a = \left| \frac{\rho(D_j) - \rho(S_j)}{V_a} \right|; T_\omega = \frac{1}{\omega} \cdot \text{Arc cos} \left(\frac{I_j^2 - \rho(D_j) - \rho(S_j)^2}{2 \cdot \rho(D_j) \cdot \rho(S_j)} \right); (0 \leq \text{arc cos}(\theta) \leq \pi)$$

Dimana

T_h = Waktu perjalanan horizontal pengait

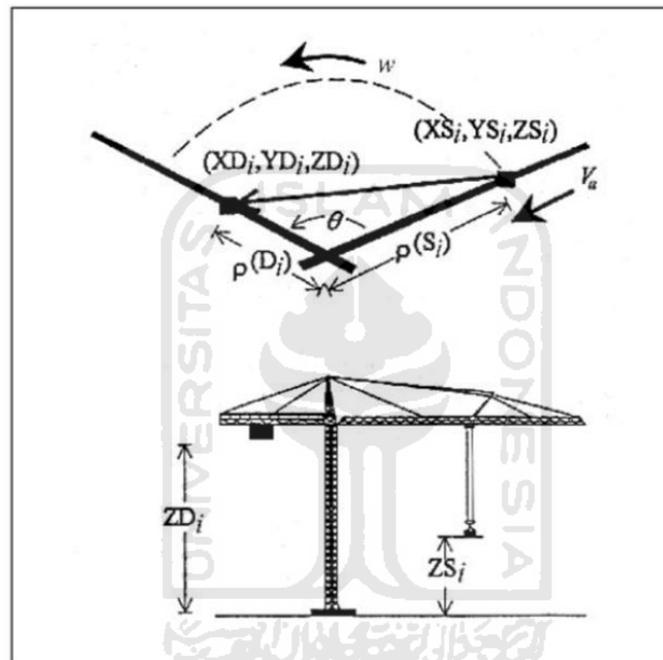
T_v = Waktu perjalanan vertikal pengait

T_a = Waktu pergerakan radial trolley

T_ω = Waktu pergerakan tangensial trolley

α = Derajat koordinasi pergerakan pengait dalam arah radial dan tangensial pada bidang horizontal; (antara 0 sd 1)

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



Gambar 5.22. Waktu Perjalanan Pengait

(Sumber: Tam dan Leung, 2008)

Contoh Perhitungan :

Menghitung waktu angkat pekerjaan task 1 pengangkatan bekisting dari titik supply (S1) (11,10,0) ke area demand (A4) (8,1,4) dengan posisi awal TC 1 pada skenario 2 pada (12,9,0) kemudian dengan $\sigma = 1$, $Q = 1$, $X=12$, $Y=9$, $XD_1=8$, $YD_1=1$, $ZD_1=4$, $XS_1=11$, $YS_1=10$, $ZS_1=0$, $\alpha:0.25$, $\beta:1$, kec vertikal (V_v) penuh: 50 m/menit, kec vertikal (V_v) kosong: 100 m/menit, kec horizontal radial (V_a) : 50 m/menit, kec putar lengan kerja (V_m) : 0,7 rpm, load delay : 2 menit, unload delay : 2 menit.

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}\rho(Dj) &= \sqrt{(XDj - x)^2 + (YDj - y)^2} \\ &= \sqrt{(8 - 12)^2 + (1 - 9)^2} \\ &= 8,944\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho(Sj) &= \sqrt{(XSj - x)^2 + (YSj - y)^2} \\ &= \sqrt{(11 - 12)^2 + (10 - 9)^2} \\ &= 1,414\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Ij &= \sqrt{(XDj - XSj)^2 + (YDj - YSj)^2} \\ &= \sqrt{(8 - 11)^2 + (1 - 10)^2} \\ &= 9,486\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Ta &= \left| \frac{\rho(Dj) - \rho(Sj)}{Va} \right| \\ &= \left| \frac{8,944 - 1,414}{55} \right| \\ &= 0,316\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T\omega &= \frac{1}{\omega} \text{Arc cos} \left(\frac{Ij^2 - \rho(D1)^2 - \rho(S1)^2}{2 \cdot \rho(D1) \cdot \rho(S1)} \right) \\ &= \frac{1}{0,7} \text{Arc cos} \left(\frac{9,486^2 - 8,944^2 - 1,414^2}{2 \cdot 8,944 \cdot 1,414} \right) \\ &= 4,312\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Th &= \max (Ta, T\omega) + \alpha \min (Ta, T\omega) \\ &= 4,312 + 0,25 \cdot 0,316 \\ &= 4,391\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Tv(\text{penuh}) &= (ZD1 - ZS1) / Vv \\ &= (4 - 0) / 50 \\ &= 0,08\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Tv(\text{kosong}) &= (ZD1 - ZS1) / Vv \\ &= (4 - 0) / 100 \\ &= 0,04\end{aligned}$$

$$t1 = \max (Th, Tv(\text{pnh})) + \beta \min (Th, Tv(\text{pnh}))$$

$$\begin{aligned}
 &= 4,391 + 1 \cdot 0,08 \\
 &= 5,471 \\
 t2 &= \max (Th, Tv(ksng)) + \beta \min (Th, Tv(ksng)) \\
 &= 4,391 + 1 \cdot 0,04 \\
 &= 5,431 \\
 t3 &= 2 \text{ (unload delay)} \\
 t4 &= 2 \text{ (unload delay)} \\
 T &= \delta \cdot Q \cdot (t1 + t2 + t3 + t4) \\
 &= 1 \cdot 1 \cdot (5,471 + 5,431 + 2 + 2) \\
 &= 14,902
 \end{aligned}$$

Berdasarkan posisi tower crane skenario 2 TC 1 dan TC 2 tidak mengalami konflik sehingga konflik indek pada skenario 2 adalah 0.

5.1.2. Perhitungan Volume Pekerjaan Yang Dapat Dilayani Oleh *Tower Crane*

Untuk mempermudah dalam perbandingan maka, dilakukan perhitungan persentase pekerjaan yang mampu dilayani oleh *tower crane* dengan berdasarkan data perhitungan volume besi, bekisting, dan beton.

Berdasarkan data yang didapat dari proyek maka volumenya adalah sebagai berikut.

Tabel 5.11. Volume material

No	Item	Volume	Satuan
1	Volume Besi	1389500	Kg
2	Volume Bekisting	32500	m ²
3	Volume Beton	7500	m ³

(sumber : data proyek RSA UII)

1. Skenario Permodelan 1

Pada skenario permodelan 1 jumlah pekerjaan yang mampu di layani oleh tower crane adalah 67 pekerjaan dari total keseluruhan adalah 108 pekerjaan.

Sehingga persentase pekerjaan yang mampu dilayani oleh *tower crane* tersebut adalah 63.208% dengan asumsi volume besi yang bisa diangkut adalah 878275.16 kg , kemudian volume bekisting yang bisa diangkut adalah 20542.6 m² dan volume beton yang bisa diangkut adalah 4740.6 m³.

2. Skenario Permodelan 2

Pada skenario permodelan 2 jumlah pekerjaan yang mampu di layani oleh tower crane adalah 85 pekerjaan dari total keseluruhan adalah 108 pekerjaan. Sehingga persentase pekerjaan yang mampu dilayani oleh *tower crane* tersebut adalah 63.208% dengan asumsi volume besi yang bisa diangkut adalah 1114226.155 kg , kemudian volume bekisting yang bisa diangkut adalah 26061.425 m² dan volume beton yang bisa diangkut adalah 6014.175 m³.

5.1.3. Perhitungan Biaya *Tower Crane*

1. Skenario Permodelan 1

Untuk mengetahui biaya operasional tower crane, berikut adalah aspek-aspek yang perlu diperhitungkan dalam pengoperasian tower crane,

1. Biaya Mobilisasi dan Demobilisasi

Adalah biaya untuk mendatangkan tower crane ke lokasi dan juga untuk mengembalikan tower crane ke penyedia tower crane. Setelah dilakukan survei, didapatkan biaya mobilisasi dan demobilisasi sebesar Rp. 90.000.000

2. Sewa Tower Crane

Biaya sewa tower crane diperhitungkan per shift dan per jam, dengan perhitungannya seperti berikut:

= Rp 10.500.000/ shift (sudah termasuk biaya BBM dan operator namun belum dengan harga mob-demob)

= Rp 375.000 / jam

Jadi biaya total untuk sewa tower crane adalah:

= biaya sewa per jam x total waktu x jumlah TC

= Rp 375.000 / jam x 543 jam x 1

= Rp 203.625.000,-

3. Biaya Erection dan Dismantling

Adalah biaya untuk mendirikan serta membongkar tower crane apabila proyek sudah selesai. Biaya erection dan dismantling adalah Rp 80.000.000,-

4. Biaya Operator

Berdasarkan wawancara di lapangan dapat diketahui biaya operator tower crane adalah sebesar Rp 6.500.000 / bulan. Jika dikonversikan ke dalam satuan jam adalah sebagai berikut: = Rp 6.500.000 / bulan = Rp 260.000 / hari = Rp 32.500 / jam

Jadi biaya total untuk operator tower crane adalah:

= biaya per jam x total waktu x jumlah TC

= 32.500 / jam x 543 jam

= Rp 17.647.500,-

5. Tenaga listrik

untuk operasional tower crane didapatkan dari sumber listrik PLN. Untuk mendapatkan biaya listrik diperlukan penyesuaian tarif listrik dari PLN yang dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut:

Tabel 5.12 Tarif Tenaga Listrik PLN

**PENETAPAN
PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIFF ADJUSTMENT)
BULAN FEBRUARI & MARET 2017**

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVAh (Rp/kVAh)	
1	R-1/TR	1.300 VA	*)	1.467,28	1.467,28
2	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.467,28	1.467,28
3	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.467,28	1.467,28
4	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*)	1.467,28	1.467,28
5	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
6	B-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVAh = 1.114,74 ****)	-
7	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVAh = 1.114,74 ****)	-
8	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan Blok LWBP = 996,74 kVAh = 996,74 ****)	-
9	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
10	P-2/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVAh = 1.114,74 ****)	-
11	P-3/TR		*)	1.467,28	1.467,28
12	L/TR, TM, TT		-	1.644,52	-

Dari gambar di atas dapat diketahui biaya pemakaian listrik sesuai daya yang digunakan. Untuk tower crane jenis F023B Potain menggunakan daya sebesar 87 kW. Sehingga perhitungan biaya listrik adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya (Rp/Jam)} &= \text{Daya (kW)} \times \text{Biaya Pemakaian (Rp/kWh)} \\ &= 51,5 \text{ kW} \times 1457,28 \text{ (Rp/Kwh)} \\ &= \text{Rp } 75.500 / \text{jam} \end{aligned}$$

Jadi biaya total untuk kebutuhan listrik tower crane adalah:

$$\begin{aligned} &= \text{tarif listrik} \times \text{total waktu} \times \text{jumlah TC} \\ &= \text{Rp.75,500} / \text{jam} \times 532 \text{ jam} \times 1 \\ &= \text{Rp } 399.266.000 \end{aligned}$$

6. Harga bahan bakar

Bahan bakar digunakan untuk pengoperasian genset. Genset berfungsi sebagai cadangan sumber listrik apabila terjadi pemadaman listrik oleh PLN.

Pada tugas akhir ini sewa genset diperhitungkan dengan anggapan proyek RSA UII tidak memiliki genset sendiri. Bahan bakar yang digunakan berjenis pertamina DEX dengan harga sebesar Rp 8.200 / liter. Kebutuhan bahan bakar genset dalam sekali pengisian penuh adalah 400 liter. Diasumsikan dalam masa pekerjaan proyek pengisian bahan bakar untuk genset

dilakukan 2 kali. Sehingga perhitungan biaya bahan bakar adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya bahan bakar} &= \text{Rp } 8.200 / \text{liter} \times 400 \text{ liter} \\ &= \text{Rp } 3.280.000,- \end{aligned}$$

Biaya Total Perhitungan total kebutuhan biaya untuk operasional tower crane disajikan dalam **Tabel 5.12** berikut ini:

Tabel 5.13. Total Biaya Kebutuhan Operasional TC Skenario 1

Hitungan Sewa Per-Jam						
No	Item Pekerjaan	Jumlah	Volume	Satuan	Harga Satuan	Total
1	Mob Demob	1	1	Ls	Rp 90,000,000	Rp 90,000,000
2	Sewa Alat	1	543	jam	Rp 375,000	Rp 203,625,000
3	Erection & Dismanting	1	1	Ls	Rp 80,000,000	Rp 80,000,000
4	Operator	1	543	jam	Rp 32,500	Rp 17,647,500
5	Listrik	1	543	jam	Rp 75,500	Rp 40,996,500
6	Bahan Bakar	1	400	Liter	Rp 8,200	Rp 3,280,000
Total						Rp 435,549,000
Hitungan Sewa Per-Shift						
No	Item Pekerjaan	Jumlah	Volume	Satuan	Harga Satuan	Total
1	Mob Demob	1	1	Ls	Rp 90,000,000	Rp 90,000,000
2	Sewa Alat	1	68	shift	Rp 10,500,000	Rp 714,000,000
3	Erection & Dismanting	1	1	Ls	Rp 80,000,000	Rp 80,000,000
4	Listrik	1	543	jam	Rp 75,500	Rp 40,996,500
Total						Rp 924,996,500

2. Skenario Permodelan 2

Untuk mengetahui biaya operasional tower crane, berikut adalah aspek-aspek yang perlu diperhitungkan dalam pengoperasian tower crane,

a. Biaya Mobilisasi dan Demobilisasi

Adalah biaya untuk mendatangkan tower crane ke lokasi dan juga untuk mengembalikan tower crane ke penyedia tower crane. Setelah dilakukan survei, didapatkan biaya mobilisasi dan demobilisasi sebesar Rp. 90.000.000

b. Sewa Tower Crane

Biaya sewa tower crane diperhitungkan per shift dan per jam, dengan perhitungannya seperti berikut:

= Rp 8.500.000/ shift (sudah termasuk biaya BBM dan operator namun belum dengan harga mob-demob)

= Rp 325.000 / jam

Jadi biaya total untuk sewa tower crane adalah:

= biaya sewa per jam x total waktu x jumlah TC

= Rp 325.000 / jam x 457 jam x 2

= Rp 924.996.500,-

Biaya Erection dan Dismantling

Adalah biaya untuk mendirikan serta membongkar tower crane apabila proyek sudah selesai. Biaya erection dan dismantling adalah Rp 80.000.000,-

c. Biaya Operator

Berdasarkan wawancara di lapangan dapat diketahui biaya operator tower crane adalah sebesar Rp 6.500.000 / bulan. Jika dikonversikan ke dalam satuan jam adalah sebagai berikut: = Rp 6.500.000 / bulan = Rp 260.000 / hari = Rp 32.500 / jam

Jadi biaya total untuk operator tower crane adalah:

$$\begin{aligned} &= \text{biaya per jam} \times \text{total waktu} \times \text{jumlah TC} \\ &= 32.500 / \text{jam} \times 457 \text{ jam} \times 2 \\ &= \text{Rp } 29,705,000 \end{aligned}$$

d. Tenaga listrik

Untuk operasional tower crane didapatkan dari sumber listrik PLN. Untuk mendapatkan biaya listrik diperlukan penyesuaian tarif listrik dari PLN yang dapat dilihat pada **Tabel 5.11**.

Berdasarkan **Tabel 5.11** tersebut dapat diketahui biaya pemakaian listrik sesuai daya yang digunakan. Untuk tower crane jenis F023B Potain menggunakan daya sebesar 87 kW. Sehingga perhitungan biaya listrik adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya (Rp/Jam)} &= \text{Daya (kW)} \times \text{Biaya Pemakaian (Rp/kWh)} \\ &= 51,5 \text{ kW} \times 1457,28 \text{ (Rp/Kwh)} \\ &= \text{Rp } 75.500 / \text{jam} \end{aligned}$$

Jadi biaya total untuk kebutuhan listrik tower crane adalah:

$$\begin{aligned} &= \text{tarif listrik} \times \text{total waktu} \times \text{jumlah TC} \\ &= \text{Rp.}75,500 / \text{jam} \times 457 \text{ jam} \times 2 \\ &= \text{Rp } 69,007,000 \end{aligned}$$

e. Harga bahan bakar

Bahan bakar digunakan untuk pengoperasian genset. Genset berfungsi sebagai cadangan sumber listrik apabila terjadi pemadaman listrik oleh PLN.

Pada tugas akhir ini sewa genset diperhitungkan dengan anggapan proyek RSA UII tidak memiliki genset sendiri. Bahan bakar yang digunakan berjenis pertamina DEX dengan harga sebesar Rp 8.200 / liter. Kebutuhan bahan bakar genset dalam sekali pengisian penuh adalah 400 liter. Diasumsikan dalam masa pekerjaan proyek pengisian bahan bakar untuk genset dilakukan 2 kali. Sehingga perhitungan biaya bahan bakar adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya bahan bakar} &= \text{Rp } 8.200 / \text{liter} \times 400 \text{ liter} \times 2 \\ &= \text{Rp } 6.560.000,- \end{aligned}$$

Biaya Total Perhitungan total kebutuhan biaya untuk operasional tower crane disajikan dalam **Tabel 5.13** berikut ini:

Tabel 5.14. Total Biaya Kebutuhan Operasional TC Skenario 2

Hitungan Sewa Per-Jam						
No	Item Pekerjaan	Jumlah	Volume	Satuan	Harga Satuan	Total
1	Mob Demob	2	1	Ls	Rp 90,000,000	Rp 180,000,000
2	Sewa Alat	2	457	jam	Rp 325,000	Rp 297,050,000
3	Erection & Dismanting	2	1	Ls	Rp 80,000,000	Rp 160,000,000
4	Operator	2	457	jam	Rp 32,500	Rp 29,705,000
5	Listrik	2	457	jam	Rp 75,500	Rp 69,007,000
6	Bahan Bakar	2	400	Liter	Rp 8,200	Rp 6,560,000
Total						Rp 742,322,000
Hitungan Sewa Per-Shift						
No	Item Pekerjaan	Jumlah	Volume	Satuan	Harga Satuan	Total
1	Mob Demob	2	1	Ls	Rp 90,000,000	Rp 180,000,000
2	Sewa Alat	2	68	shift	Rp 8,500,000	Rp 1,156,000,000
3	Erection & Dismanting	2	1	Ls	Rp 80,000,000	Rp 160,000,000
4	Listrik	2	400	jam	Rp 75,500	Rp 60,400,000
Total						Rp 1,556,400,000

5.1.3 Analisa Hasil Perhitungan

Setelah dilakukan analisa perhitungan untuk mencari titik optimal untuk penempatan tower crane yang berdasarkan hasil matriks aksesibilitas serta perhitungan jumlah jam dengan biaya operasional baik biaya perjam maupun biaya per-shift dari kedua skenario tersebut maka didapatkan hasil berikut. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut ini:

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Perhitungan

Skenario	Hasil Matriks Aksesibilitas	Jumlah jam	Biaya	
			Per-jam	Per-Shift
1	67	543	Rp 435,549,000	Rp 924,996,500
2	85	457	Rp 742,322,000	Rp 1,565,007,000

5.2. Pembahasan

Proyek pembangunan Rumah Sakit Akademik Universitas Islam Indonesia memiliki wilayah yang cukup luas sehingga dibutuhkan tower crane dengan radius yang besar dan banyak titik supply untuk mencukupi kebutuhan material seluruh proyek. Pada skenario 1 dan skenario 2 tidak ditemukan adanya konflik antar tower crane. Setelah dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mencari titik optimal pada tower crane bahwa dengan memindahkan dan mengefisiensi jumlah titik supply serta memindahkan dan memperkecil radius tower crane dapat membuat waktu pengangkutan lebih cepat dan tentunya membuat biaya operasional tower crane menjadi lebih kecil.

Dari perhitungan 2 skenario yang telah direncanakan sebelumnya, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Skenario 1

Titik optimal group tower crane berada pada koordinat TC1 (20 ; 13) pada gambar atau letak posisinya adalah sejauh 55 meter ke selatan dan 37,5 meter utara dari as kemudian jumlah pekerjaan yang dapat dikerjakan pada matriks aksesibilitas adalah 67 pekerjaan atau dengan persentase pekerjaan yang mampu dilayani oleh *tower crane* sebesar 63,208 % serta dengan jumlah 543 jam dengan biaya jika sewa per-jam adalah Rp.435,549,000 dan jika sewa per-shift adalah Rp 924,996,500.

2. Skenario 2

Titik optimal group tower crane berada pada koordinat TC1 (11,9) dan TC 2 (37 ; 9), pada gambar atau letak posisi tower crane 1 adalah sejauh 50 meter ke selatan dan 35 meter utara dari as dan letak posisi tower crane 2 adalah sejauh 90 meter ke selatan dan 35 meter utara dari as kemudian jumlah

pekerjaan yang dapat dikerjakan pada matriks aksesibilitas adalah 85 pekerjaan atau dengan persentase pekerjaan yang mampu dilayani oleh *tower crane* sebesar 80,189% untuk TC 1 543 jam dan TC 2 dengan jumlah jam 457 jam masing-masing TC dengan biaya dengan biaya jika sewa per-jam adalah Rp. 742,322, 000 dan jika sewa per-shift adalah Rp. 1,565,007,000.

Pada kedua skenario yang telah dihitung maka didapatkan bahwa skenario 1 lebih efisien meskipun pada matriks aksesibilitas kemampuan melayani pekerjaan lebih kecil namun hampir keseluruhan titik demand bisa terlayani dengan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan skenario 2 yang menggunakan 2 TC meskipun mampu melayani lebih banyak pekerjaan dari skenario 1 namun jauh lebih boros dibandingkan dengan menggunakan 1 TC namun dengan radius yang lebih besar mampu melayani lebih dari 50% demand. Dengan modifikasi 2 TC mengakibatkan biaya menjadi lebih besar dan mengakibatkan pemborosan. Apalagi di Yogyakarta sendiri tidak ada jasa persewaan tower crane sehingga biaya mob demob menjadi 2 kali lipat.

Dapat disimpulkan juga bahwa sistem sewa per-shift dan per-jam memiliki keuntungan dan kerugian seperti berikut ini.

1. Sewa per-jam

Pada sewa perjam harganya relatif lebih murah namun penyediaan biaya bahan bakar dan biaya operator tidak masuk dalam biaya sewa.

2. Sewa per-shift

Pada sewa perjam harganya relatif lebih mahal namun penyediaan bahan bakar serta operator sudah termasuk dalam biaya sewa.

Dengan catatan bahwa operator *tower crane* harus berasal dari penyedia jasa sewa alat berat tersebut.

Penggunaan panjang lengan jib yang berbeda pada skenario group *tower crane* juga bisa dimodifikasi agar area yang mampu dilayani oleh *tower crane* tersebut menjadi lebih besar. Sebaiknya penggunaan tower crane juga bisa dimodifikasi dengan alat berat lainnya seperti *passanger hoist, mobile crane*, atau

bisa juga dengan bantuan *concrete pump* namun alat tersebut memiliki ketinggian yang terbatas.

Lokasi titik *supply* dan *demand* juga mempengaruhi letak titik yang optimal dari lokasi *tower crane* yang akan dipilih sehingga diperlukan adanya modifikasi posisi titik *supply* agar berada pada area jangkauan dari *tower crane*.



BAB VI

SIMPULAN DAN SARAN

6.1. Simpulan

Simpulan yang dapat diambil dari penelitian tugas akhir dengan judul Analisis Perbandingan Lokasi Untuk *Tower Crane* Pada Proyek Rumah Sakit UII Yogyakarta adalah sebagai berikut.

1. Jenis *tower crane* yang lebih efisien dan ekonomis digunakan pada proyek pembangunan rumah sakit pendidikan Universitas Islam Indonesia adalah jenis *self supporting static tower crane* dengan merk Potain tipe F23B.
2. Titik lokasi *tower crane* yang akan dipasang pada proyek pembangunan rumah sakit Universitas Islam Indonesia adalah pada koordinat titik (20;13) pada gambar atau letak posisinya adalah sejauh 55 meter ke selatan dan 37,5 meter utara dari as kemudian jumlah pekerjaan yang dapat dikerjakan pada matriks aksesibilitas adalah 67 pekerjaan atau dengan persentase pekerjaan yang mampu dilayani oleh *tower crane* sebesar 63,208 %
3. Berdasarkan perhitungan keseluruhan biaya yang dibutuhkan untuk penggunaan *tower crane* hasil modifikasi maka didapatkan hasil untuk sewa per-jam adalah Rp. 435.549.000,- dan untuk sewa per-shift adalah Rp.924.996.500,-

Pada kedua skenario yang telah dihitung maka didapatkan bahwa skenario 1 lebih efisien meskipun pada matriks aksesibilitas kemampuan melayani pekerjaan lebih kecil namun hampir keseluruhan titik demand bisa terlayani dengan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan skenario 2 yang menggunakan 2 TC meskipun mampu melayani lebih banyak pekerjaan dari skenario 1 namun jauh lebih boros dibandingkan dengan menggunakan 1 TC namun dengan radius yang lebih besar mampu melayani lebih dari 50% demand. Dengan modifikasi 2 TC mengakibatkan biaya menjadi lebih besar

dan mengakibatkan pemborosan. Apalagi di Yogyakarta sendiri tidak ada jasa persewaan tower crane sehingga biaya mob demob menjadi 2 kali lipat.

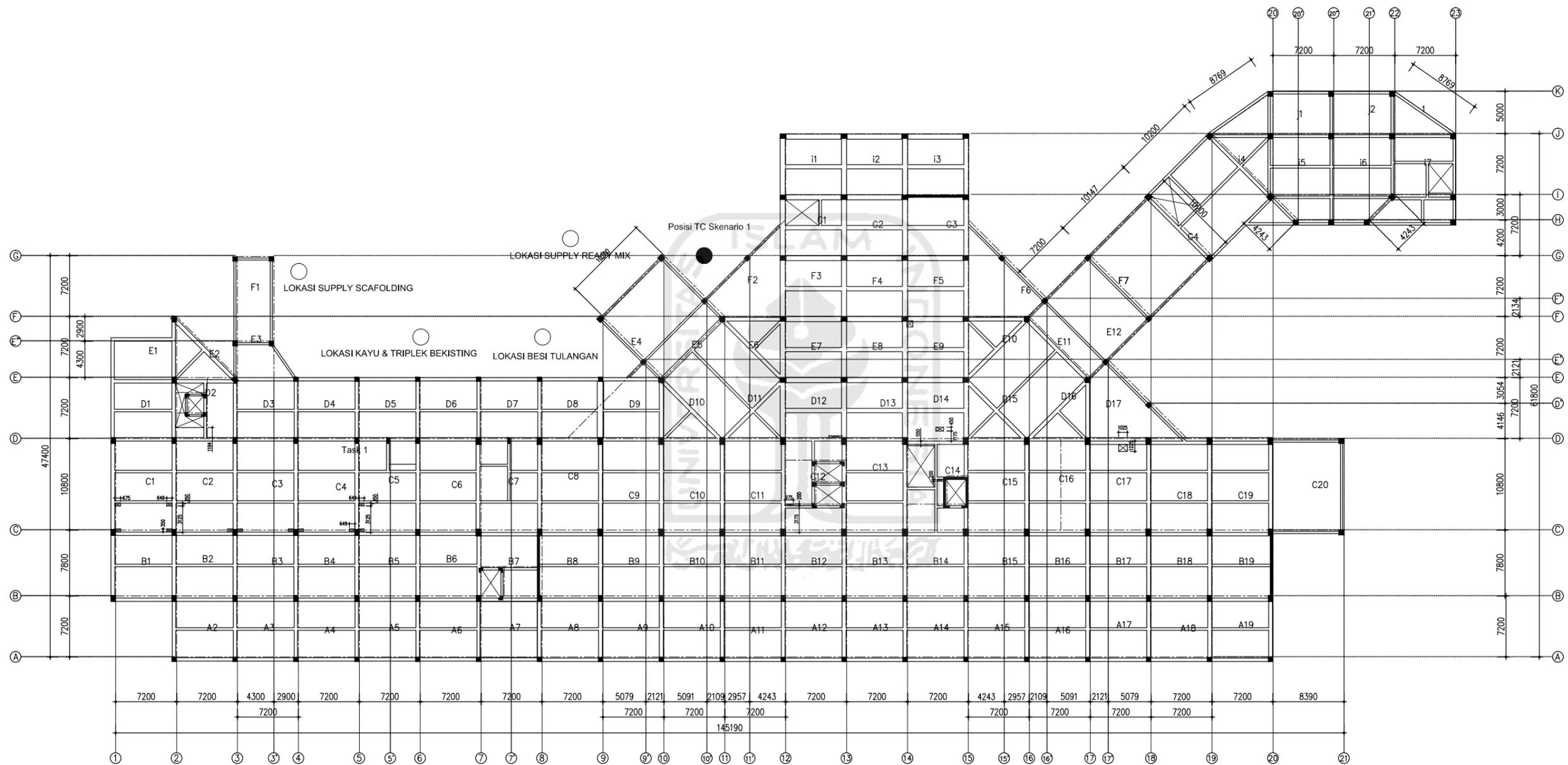
6.2 Saran

Untuk menyempurnakan penelitian ini pada penelitian selanjutnya maka disarankan untuk menambahkan skenario dalam mencari lokasi yang optimal bukan hanya perbandingan namun beberapa skenario tambahan. Penambahan skenario dengan memodifikasi penggunaan *tower crane* dengan alat berat yang lainnya seperti *mobile crane* ataupun memodifikasi skenario dengan panjang lengan *jib* yang berbeda pada *group tower crane* supaya mendapatkan letak titik optimal dari *tower crane*.

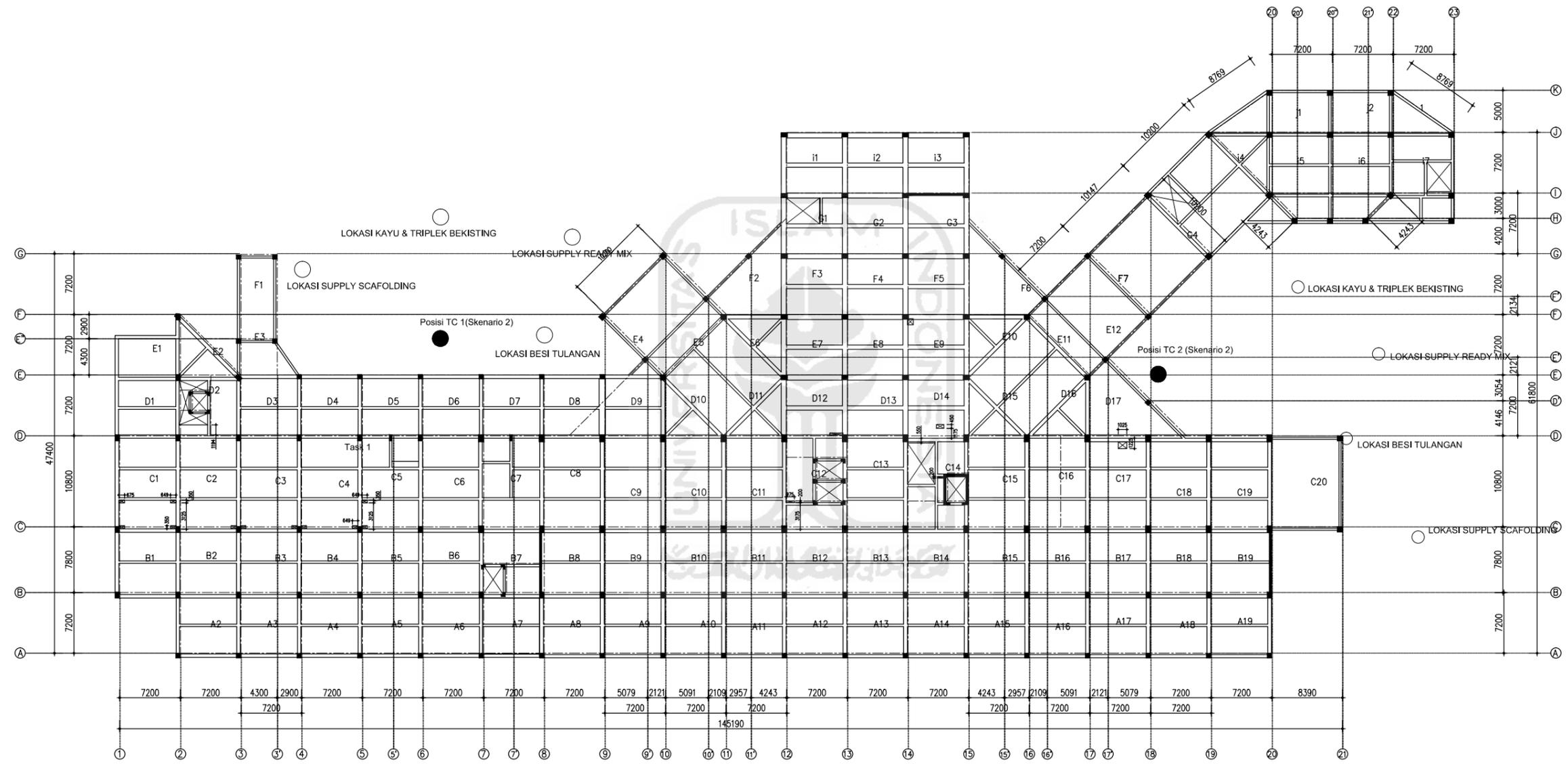


DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, Suharsimi. (2002), *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta, PT.Rineka Cipta
- Danar (2004), Mengetahui lokasi optimal *Tower Crane* setelah melakukan penerapan optimasi crane tunggal pada setiap tower secara bergiliran, mengetahui lokasi optimal *Tower Crane* setelah melakukan penerapan optimasi crane tunggal pada setiap tower secara bergiliran.
- Della, Ignatia Sherly (2016), *Analisis Biaya Pelaksanaan Tower Crane*. Tugas Akhir, Universitas Gajah Mada Yogyakarta
- Muhammad Ridha. 2011. *Perbandingan Biaya dan Waktu Pemakaian Alat Berat Tower Crane dan Mobile Crane Pada Proyek Rumah Sakit Haji Surabaya*. Tugas Akhir, Institut Sepuluh Nopember.
- Parinra(2015), *Pemilihan Tower Crane Berdasarkan Lokasi Proyek Pembangunan Hotel UNISI*,Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia.
- Peurifoy, Robert L. 1996. *Construction Planing, Equipment and Method fifth edition*, Mc Graw Hill, New York.
- Rostiyanti, Susy Fatena. 2002. *Alat Berat untuk Proyek Konstruksi*, Rineka Cipta, Jakarta.
- Soeharto, Imam. 1995. *Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional*, Pt. Erlangga Jakarta.
- Sofyan Rahman. 2013. *Optimalisasi Lokasi Untuk Grup Tower Crane Pada Proyek Apartmen Guna Wangsa Surabaya*. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Tam dan Leung (2008), menggunakan permodelan 3D Genetic Algorithm dalam mengoptimasi lokasi *Tower Crane*

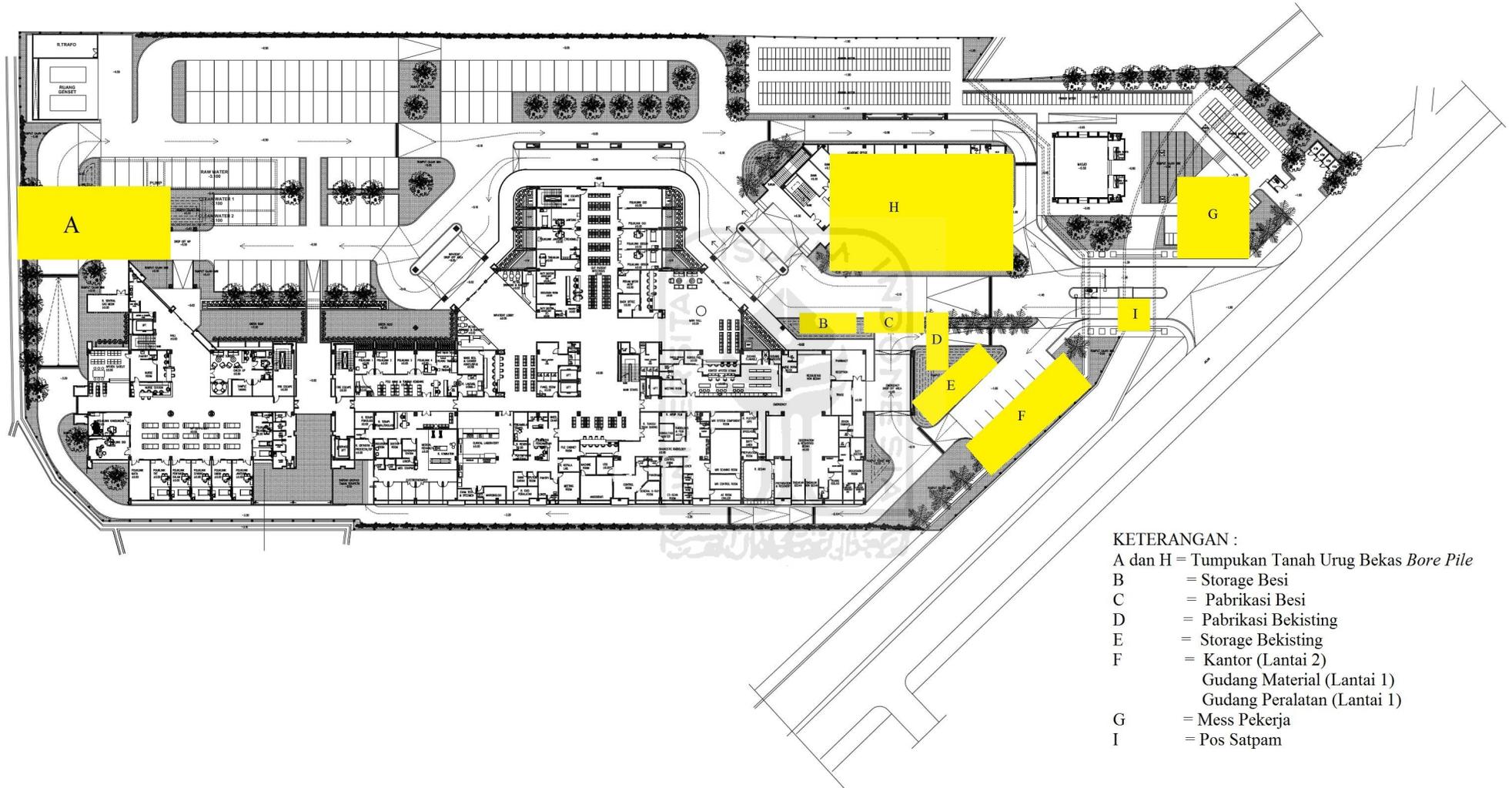


Skenario 1
 Letak Posisi Tower Crane
 Skala 1:500



Skenario 2
 Letak Posisi Tower Crane
 Skala 1:500

LAMPIRAN. *Site Plan* Proyek Pembangunan Rumah Sakit Akademik UII



- KETERANGAN :
- A dan H = Tumpukan Tanah Urug Bekas *Bore Pile*
 - B = Storage Besi
 - C = Pabrikasi Besi
 - D = Pabrikasi Bekisting
 - E = Storage Bekisting
 - F = Kantor (Lantai 2)
Gudang Material (Lantai 1)
Gudang Peralatan (Lantai 1)
 - G = Mess Pekerja
 - I = Pos Satpam