

Studi Analisis Penggunaan Alat Berat (Crane) Sebagai Alat Angkat Untuk Instalasi Vessel LP Dan HP Separator Proyek PLTP Rantau Dedap.

Agust Harry Widodo Putro^{1,*}, Oei Fuk Jin¹, Djoko Wilopo¹

Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jakarta¹

Koresponden*, Email: agus_hari_banyuwangi@gmail.com

Info Artikel		Abstract
Diajukan	28 Januari 2022	<p><i>Lifting works are included in high-risk work where there are many potential risks of work accidents that may occur. This is the background for conducting research on the use of cranes in lifting work for installation of vessel LP (Low Pressure) and HP (High Pressure) Separator for PLTP Rantau Dedap project. The research on the analysis of lifting work carried out is the comparison of construction methods using crawler cranes and mobile cranes to achieve a lifting operation plan that can take place properly and safely at a cost that is within the budget because it meets the criteria of applicable regulations and standards. This research aims to determine the right type of crane for lifting works. It is hoped that in the future it can prevent work accidents on lifting works so that it can increase work productivity, on time according to work schedules and company profits. The results show that the lifting work at the Rantau Dedap PLTP project is more appropriate when using a crawler crane.</i></p>
Diperbaiki	21 April 2022	
Disetujui	27 April 2022	

Keywords: lifting work analysis, comparison of construction methods, mobile crane, crawler crane.

Abstrak
Pekerjaan *lifting* termasuk dalam pekerjaan berisiko tinggi dimana banyak potensi risiko kecelakaan kerja yang mungkin terjadi. Hal tersebut melatarbelakangi dilakukannya penelitian penggunaan *crane* pada pekerjaan *lifting* untuk instalasi vessel LP (*Low Pressure*) dan HP (*High Pressure*) Separator proyek PLTP Rantau Dedap. Penelitian analisis pekerjaan *lifting* yang dilakukan adalah perbandingan metode konstruksi yang menggunakan *crawler crane* dan *mobile crane* untuk mencapai *lifting operation plan* yang dapat berlangsung dengan baik dan aman dengan biaya yang sesuai anggaran karena telah memenuhi kriteria dari peraturan dan standar yang berlaku. Penelitian bertujuan untuk menentukan jenis *crane* yang tepat pada pekerjaan *lifting*. Diharapkan kedepannya dapat mencegah terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *lifting* sehingga dapat meningkatkan produktivitas kerja, tepat waktu sesuai jadwal pekerjaan dan profit perusahaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pekerjaan *lifting* di proyek PLTP Rantau Dedap lebih tepat jika menggunakan jenis *crawler crane*

Kata kunci: analisis pekerjaan *lifting*, perbandingan metode konstruksi, *mobile crane*, *crawler crane*.

1. Pendahuluan

Kegiatan pembangunan proyek *Geothermal Power Plant*/ Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Rantau Dedap 2x46 MW milik PT Supreme Energi merupakan kegiatan yang masuk dalam daftar program pemerintah untuk percepatan pembangunan pembangkit listrik 10.000 MW tahap dua. Hal ini sesuai dengan Peraturan Presiden Nomor 4 Tahun 2010 tentang penugasan ke PLN untuk mempercepat pembangunan pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan, batubara, dan gas, serta Peraturan Menteri ESDM Nomor 15 Tahun 2010 jo Nomor 1 Tahun 2012 tentang daftar proyek-proyek percepatan pembangunan pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan, batubara dan gas serta transmisi terkait. Pembangkit listrik ini diharapkan akan menghasilkan 17.535 GWh listrik pertahun dan sudah mulai beroperasi di akhir tahun 2021.

Dalam suatu proyek pembangunan, perencanaan kegiatan merupakan aspek yang sangat penting untuk menghindari keterlambatan. Untuk itu diperlukan perencanaan dan penjadwalan yang matang agar pengerjaan proyek dapat dilakukan dengan efisien dan efektif.

Dalam penelitian ini penulis menganalisis pekerjaan instalasi Vessel LP dan HP Separator yang merupakan *equipment* yang paling besar dan berat pada proyek ini.

Permasalahan pada pekerjaan pengangkatan (*lifting*) berdasarkan kondisi *existing* area kerja adalah bagaimana menentukan posisi *crane*, bagaimana menentukan kapasitas *crane*, bagaimana menentukan jenis *lifting gear* yang dapat menahan beban *payload* tanpa melebihi *safety factor*.

Penelitian bertujuan untuk menentukan metode konstruksi pekerjaan *lifting* untuk instalasi Vessel LP dan HP Separator yang memenuhi persyaratan Keselamatan Kerja, menentukan jenis *crane* yang tepat berdasarkan perbanding-

an menggunakan *mobile crane* dan *crawler crane* sesuai dan beban *payload*, alat, lingkungan (kondisi area kerja), cara atau metoda dan orang yang melaksanakan pekerjaan *lifting*.

Pengertian Umum

Definisi dari pekerjaan *lifting* ialah proses mengangkat, atau memposisikan peralatan, komponen, atau material dengan menggunakan *lifting device*, yaitu *crane*, kerekan/*hoists*, chain falls, dongkrak/*jacks*, sistem pendingkrak/*jacking systems*, *strand lift system*, gin poles, derek/*derricks*, *monorail hoist*, *gantry crane* [1]. Definisi lainnya dari pekerjaan *lifting*, adalah sebuah alur proses dalam pengangkatan yang dilakukan oleh tim *lifting* dalam melakukan perencanaan *lifting* (*Lift-plan*), aktivitas *lifting* seperti *equipment rigging*, *boom-up/down*, *hoist-up/down*, *right/left swing*, *travelling and lift object*, serta *de-rigging process* merupakan bagian dari aktivitas *lifting* itu sendiri [2].

Definisi dari *rigging* ialah proses memasang beban dengan aman ke *lifting device* [1]. Definisi lainnya dari *rigging* ialah suatu perangkat *lifting* (*lifting accessories*) yang dapat di ikat-mengikat seperti *wire rope*, *turnbuckles*, *shackles*, *master link* dan perangkat *lifting* lainnya yang dapat digunakan untuk *material handling support* atau *structure relocation* [2].

Kategori *Lifting* (*Lifting Category*), ada beberapa yaitu:

1. Pengangkatan Ringan (*Light Lift*), berat *payload* < 10 ton
2. Pengangkatan Medium (*Medium Lift*):
 - 10 ton < berat *payload* < 50 ton
 - 75% < berat *payload* < 90% kapasitas crane
 - jumlah crane > 1 < 75% kapasitas crane.
3. Pengangkatan Berat (*Heavy Lift*), berat *payload* > 50 ton
4. Pengangkatan Kritis (*Critical Lift*):
 - berat *payload* > 90% kapasitas crane
 - jumlah crane > 1 > 75% kapasitas crane.
 - perlu sebuah crane untuk merubah lokasi saat operasi pengangkatan
 - pengangkatan yang berhenti/ berakhir di atas
 - pengangkatan di atas fasilitas operasi/kerja, proses *pipe racks*, atau dekat *power line*
 - Pengangkatan spesial yang diklasifikasikan oleh manajemen proyek [1].

Tim *Lifting* (*Lifting Team*), terdiri dari:

1. *Rigging/Lifting Engineer*
2. *Rigging Supervisor*
3. *Unit Operator/ Driver*
4. *Rigger*
5. *Signal Man*

Aktivitas *lifting* di proyek mensyaratkan minimal tim operasional *lifting* dilakukan oleh 4 (empat) orang yaitu *Supervisor*, *Operator*, *Rigger* dan *Signal Man* [2].

Alat Angkat (Crane)

Jenis-jenis *Crane* yang sering kita jumpai di proyek konstruksi antara lain sebagai berikut [3]:

1. *Crawler Crane*
2. *Mobile Crane*
3. *Rough Terrain Crane*
4. *Hydraulic Mobile Crane*
5. *Tower Crane*
6. *Hoist*
7. *Passanger Hoist*
8. *Gondola*, dan sebagainya.

Pemilihan Jenis Crane

Didalam memilih *crane* yang tepat untuk pekerjaan maka harus mempertimbangkan beberapa hal berikut [4]:

1. Berapa beban maksimum?
2. Berapa radius maksimum?
3. Berapa panjang *boom*?
4. Berapa maksimum tinggi *hook*?
5. Bagaimana kondisi peralatan *anti two block*?
6. Halangannya apa saja?
7. Bagaimana kondisi tanah?

Lifting Gear

Lifting gear merupakan aksesoris yang di perlukan untuk kebutuhan *lifting* atau pengangkatan pada pekerjaan instalasi Vessel LP dan HP Separator, adapun bagian bagian yang perlu di perhatikan antara lain [5]:

1. *Wire Rope*
2. *Webbing Sling*
3. *Shackle*
4. *Spreader Beam*

Titik berat/Center of Gravity (CoG)

Kecelakaan kerja disebabkan oleh kurangnya pemahaman bahwa setiap kali suatu beban diangkat, pusat gravitasi beban akan memposisikan dirinya secara vertikal di bawah *hook block*. Pusat gravitasi (CoG) adalah pusat dari berat obyek, di mana gaya gravitasi dapat terjadi. Titik berat/*Center of Gravity* (CoG) adalah titik di mana obyek berada dalam keseimbangan yang sempurna, tidak peduli posisinya berubah atau diputar di sekitar titik tersebut. Dalam menghitung pusat gravitasi dari suatu obyek, maka harus diketahui berat benda, dan benda di atasnya, menemukan datum, dan masukan dalam persamaan untuk menghitung pusat gravitasi. Manufaktur biasanya menyediakan lokasi pusat gravitasi/titik berat (*Center of Gravity*) untuk *equipment*, vessel, reaktor, *heat exchangers*, dan kapal. Namun, gambar manufaktur biasanya memiliki lebih banyak informasi tentang

equipment daripada informasi tentang lokasi pusat gravitasi/ titik berat (*Center of Gravity*), maka *lifting engineer* perlu menyaring semua informasi dan mengidentifikasi hal-hal yang relevan [1].

Jenis Crane dalam Metode Konstruksi

Jenis *crane* yang digunakan dalam perbandingan metode konstruksi adalah *crawler crane* (**Gambar 1**) dan *mobile crane* (**Gambar 2**):



Gambar 1. Crawler Crane

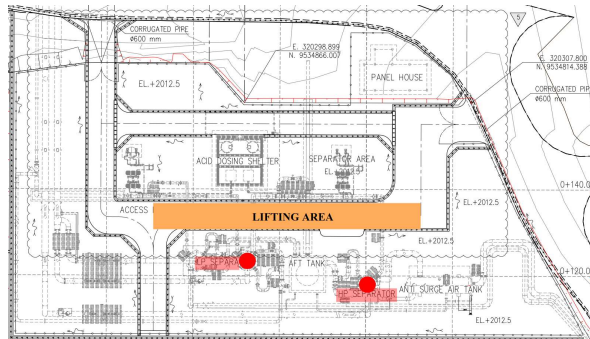


Gambar 2. Mobile Crane

2. Metode

Lokasi Penelitian

Subyek penelitian ini adalah pekerjaan *lifting* untuk *equipment* vessel LP dan HP Separator Proyek PTLP Rantau yang di kerjakan oleh PT Rekayasa Industri, lokasi *equipment* vessel LP dan HP Separator berada di area Separator Station (**Gambar 3**).



Gambar 3. Lokasi equipment vessel LP dan HP Separator

Alat yang digunakan dalam Penelitian

Penelitian ini menggunakan alat-alat berupa perangkat keras maupun perangkat lunak. Adapun alat yang digunakan adalah:

1. Pengukuran *Equipment Vessel* menggunakan alat ukur panjang dan berat.

2. Pemodelan dan analisis *lifting* menggunakan perangkat lunak *Autocad* dan *Ms Excel*.

Metode Pengumpulan Data

Data pada penelitian ini terdapat dua hal yaitu:

1. Data Primer yang berupa pengamatan visual dan survei pada obyek penelitian, denah area Separator, data vessel LP dan HP Separator, data *crane*, data *lifting gear/lifting accessories*, media cetak dan elektronik.
2. Data Sekunder yang berupa studi literatur, kondisi geografis proyek berlangsung, data dan sumber-sumber yang berasal dari proyek sebelumnya.

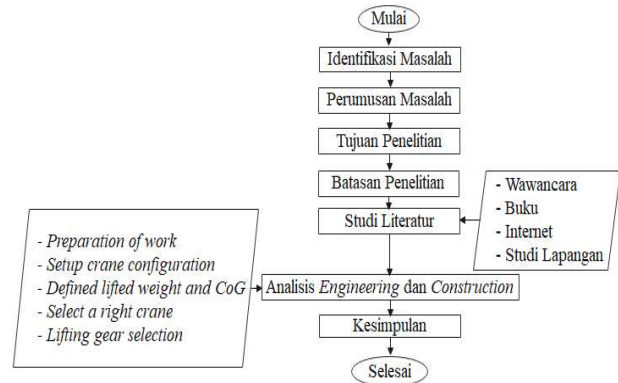
Analisis Data

Analisis kondisi eksisting lokasi pekerjaan *lifting* untuk vessel LP dan HP Separator. Survei lapangan dilakukan untuk memperoleh data-data eksisting yang ditinjau, berupa:

1. mengamati kondisi aktual dengan gambar yang di keluarkan oleh tim *engineering* dan pengukuran dimensi *equipment* vessel LP dan HP Separator,
2. mengamati kondisi aktual kondisi tanah area kerja,
3. mendata jenis dan kondisi masing-masing tahap-tahap pekerjaan *lifting* yang di perlukan

Berdasarkan pengamatan dan pengukuran serta pengecekan kesesuaian metode yang di sampaikan tim *engineering* melalui gambar perlu di tinjau ulang sesuai dengan kondisi aktual. Berdasarkan kondisi lapangan maka perlu di perhatikan risiko yang di timbulkan oleh metode konstruksi pekerjaan.

Diagram Alir Penelitian Pekerjaan Lifting



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian Pekerjaan Lifting

Analisis Engineering dan Construction

Analisis *Engineering* dan *Construction* secara keseluruhan adalah meliputi lima hal pokok yaitu sebagai berikut:

1. *Preparation of Work*
2. *Setup Crane Configuration*

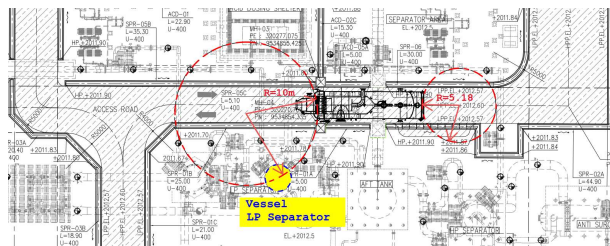
3. *Defined Lifted Weight dan Center of Gravity*
4. *Analisis Select a Right Crane*
5. *Lifting Gear Selection*

3. Hasil dan Pembahasan

Persiapan Pekerjaan (*Preparation of Work*)

Dalam penentuan persiapan pekerjaan *lifting* (*preparation of work*) untuk instalasi Vessel LP Separator ada beberapa tahap:

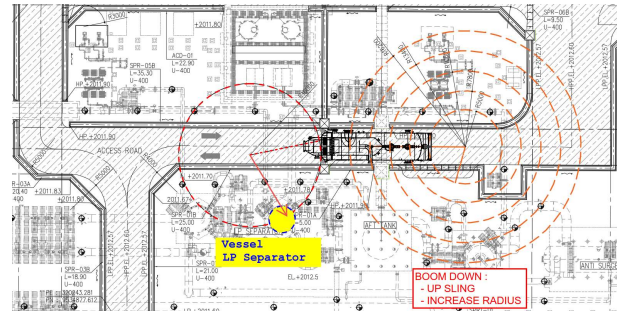
1. Studi dimensi Vessel LP Separator:
 - Length = 17.900 mm
 - Diameter = 3.800 mm (OD = *Out Diameter*)
2. Studi kondisi lokasi area pekerjaan *lifting*:
 - *Battery Limit* area pekerjaan *lifting* (*crawler crane*)
 - Jarak antar *equipment* yang di *install* (Vessel LP dan HP Separator) adalah berdekatan
 - Lebar akses jalan hanya 5m (sudah memenuhi syarat untuk *crawler crane*).
 - Posisi *Main Crane* dan *Tailing Crane* saling berhadapan dalam satu garis lurus terhadap posisi *Pick-up Point* Vessel LP Separator karena *Tailing Crane* (sambil mempertahankan *working radius*) harus mendekat ke arah *Main Crane* dalam proses *Tailing*/perubahan posisi Vessel LP Separator dari horizontal menjadi vertical (**Gambar 5**).



Gambar 5. *Battery Limit* area pekerjaan *lifting* (*crawler*)

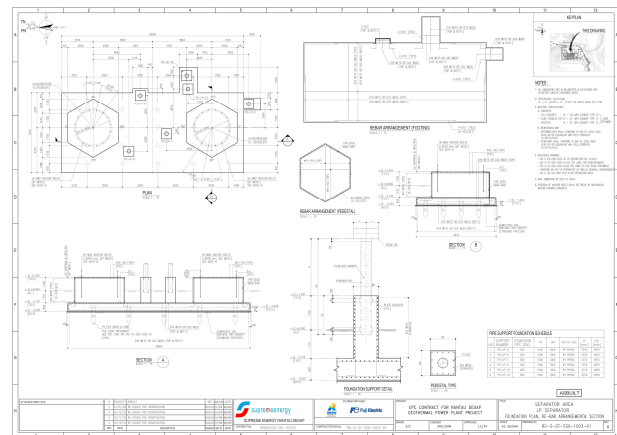
- *Battery Limit* area pekerjaan *lifting* (*mobile crane*)
 - Jarak antar *equipment* yang di *install* (Vessel LP dan HP Separator) adalah berdekatan.
 - Lebar akses jalan hanya 5 m dan harus diperlebar (kurang memenuhi syarat untuk *outrigger mobile crane*).
 - Posisi *Main Crane* dan *Tailing Crane* harus saling berhadapan dalam satu garis lurus terhadap posisi *Pick-up Point* Vessel LP Separator karena *Tailing Crane* harus *boom down* dalam proses *Tailing*, namun akses jalan harus diperlebar lebih dari 5m karena untuk posisi *outrigger* (**Gambar 6**).
 - Alternatif lainnya untuk posisi *Main Crane* dan *Tailing Crane* pada saat proses pekerjaan *Tailing*

adalah saling tegak lurus atau berdampingan dengan arah *swing* yang berlawanan sehingga bertemu pada titik singgung antar *working radius* (namun tidak bisa dilaksanakan karena ada pondasi bangunan lainnya).



Gambar 6. *Battery Limit* area pekerjaan *lifting* (*mobile*)

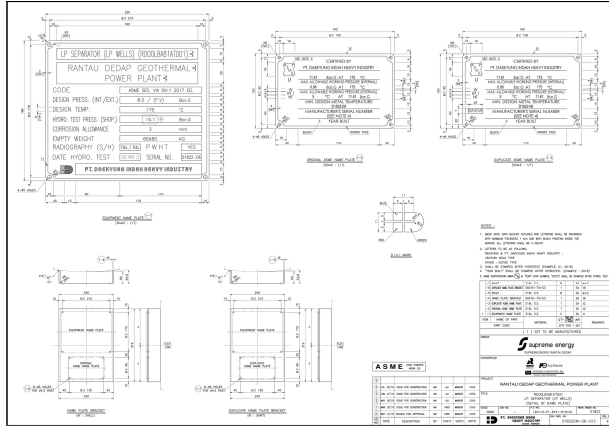
- *Top Elevation* Vessel LP dan HP Separator
 - *Top Elvation* Vessel LP Separator = EL.+19,230 = 1,330+17,900 (**Gambar 7**).
 - *Elevasi Ground Level* pondasi = EL.+ 0,000



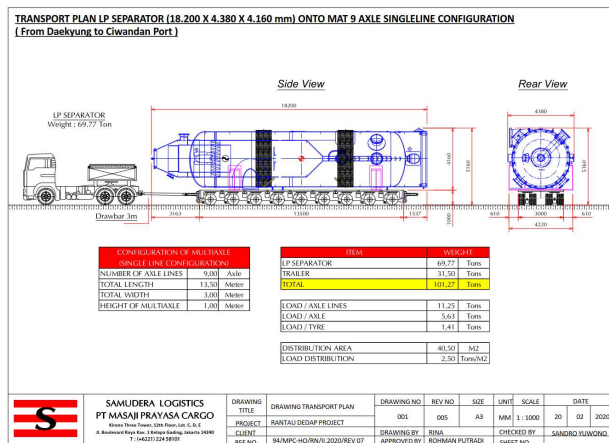
Gambar 7. *Elevasi Ground Level* pondasi

- *Elevasi ground level* pada landasan *Crane* = EL.+0,000
 - *Elevasi obstacle (building) existing* = EL.+1,330 (TOC)
3. Studi berat/bobot benda yang diangkat *Crane* berdasarkan:
 - Data dari manufaktur (PT Daekyung Indah Heavy Industry) = 66.980 kg, tidak termasuk berat nitrogen di dalam vessel (**Gambar 8**).
 - Data dari *transporter/freight forwarding service* (PT Masaji Prayasa Cargo) = 69.770 kg, termasuk berat nitrogen di dalam vessel (**Gambar 9**).

- *Weighing method* yang dilakukan saat di *laydown area* (tidak dilakukan karena cukup mengambil data dari *transporter/freight forwarding service*).



Gambar 8. Data manufaktur untuk berat Vessel



Gambar 9. Data transporter untuk berat Vessel

- *Weighing method* yang dilakukan saat di *laydown area* (tidak dilakukan karena cukup mengambil data dari *transporter/freight forwarding service*).

4. Membuat konfigurasi *lifting/sling arrangement* untuk *Main Crane* berdasarkan:

- Elevasi *hammer block* hingga *bottom elevation* pada Vessel = 25,232 mm
- Rasio panjang sisi segitiga pada sling (berdasarkan diameter/lebar vessel) = 4,340 mm
- *Bottom elevation* pada Vessel LP Separator hingga elevasi *ground level* pada tanah sekitar pondasi = 1,330 + 1,670 = 3 mm
- Total elevasi *hammer block* hingga hingga *ground level* pada tanah sekitar pondasi = 25,232 + 3 = 28,232 mm

5. Membuat konfigurasi *lifting/sling arrangement* untuk *Tailing Crane* berdasarkan:

- Elevasi *hammer block* hingga *bottom elevation* pada Vessel = 11,415 mm
- Rasio panjang sisi segitiga pada sling (berdasarkan diameter/lebar vessel) = 1,870 mm
- *Bottom elevation* pada Vessel LP Separator hingga elevasi *ground level* pada tanah sekitar pondasi = 1,330 + 1,670 = 3 mm.
- Total elevasi *hammer block* hingga hingga *ground level* pada tanah sekitar pondasi = 11,415 + 3 = 14,415 mm

Setup Crane Configuration untuk instalasi Vessel

Dalam penentuan *Setup Crane Configuration* untuk instalasi Vessel LP Separator ada beberapa tahap:

1. Studi untuk menentukan posisi *Crane*, kapasitas *Crane* dan *working radius* berdasarkan:

- Referensi dari data survei aktual untuk *possibility Crane position* terhadap beban yang di *pick-up*, *slewing* dan *position/un-loading*.
- *Crane load rating chart*, maka bisa dilihat kemampuan dari *Crane Capacity* terhadap beban yang di *handling* dan mengacu ke radius yang di dapat
- Jika terdapat *obstacle* misalnya dekat terhadap *power line*, maka bisa mengacu *standard OSHA 1926.1408(a) power line safety (up to 350kV)*, akibatnya *Crane* akan menjauh 20 *feet* dengan bertambahnya *working radius*
- Berdasarkan ketiga persyaratan diatas maka ditentukan *working radius* untuk *Crawler Crane* adalah (Gambar 10):

- *Crane Lift* = 10 m
- *Crane Tail* = 5,18 m

- Berdasarkan ketiga persyaratan diatas maka ditentukan *working radius* untuk *Mobile Crane* adalah (Gambar 11):

- *Crane Lift* = 10 m
- *Crane Tail* = 22 m

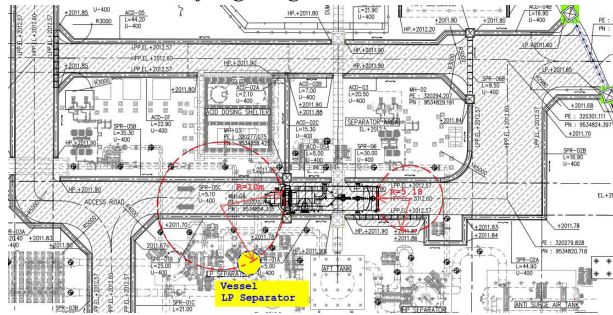
2. Studi untuk menentukan batas kapasitas/kemampuan angkat dari *Crane* berdasarkan:

- *Net Weight* (berat bersih) dari *Payload* (beban yang akan diangkat)
- *Load Rigging Chart*
- *Optimal Degree*

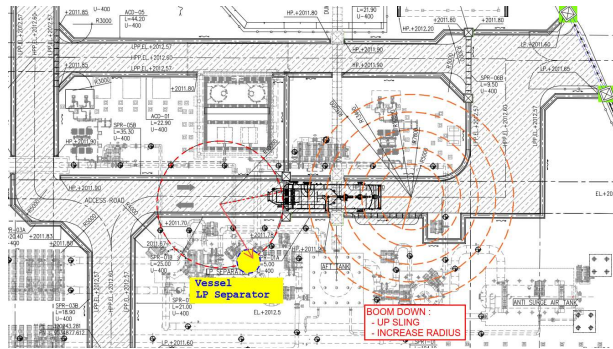
3. Studi untuk menentukan lokasi *Pick-up Point* berdasarkan:

- lokasi kedatangan *Truck Trailer*

- harus dalam jangkauan *working radius Crane*
- 4. Studi untuk aplikasi pemasangan Sling berdasarkan:
 - Sling dibawah *hammer block*
- 5. Studi untuk menentukan lokasi *Erection Point*
- 6. Dilakukan *Tension* (pengangkatan di lokasi *Pick-up Point*) untuk mengecek secara visual kondisi *balancing* dari *Center of Gravity*.
- 7. Studi sudut *Boom Crane* pada posisi sesuai *working radius* (dengan cara *boom-up* hingga mencapai *optimal degree = 60°*)
- 8. Studi *Slewing* (gerakan memutar crane) hingga mencapai *Erection Point* pada posisi sesuai *working radius*
- 9. Studi *Placing* untuk *install* benda yang akan diangkat *Crane* sesuai *Lifting Height*



Gambar 10. Setup Crawler Crane Configuration



Gambar 11. Setup Mobile Crane Configuration

Defined Lifted Weight and CoG (Center of Gravity)

Dalam penentuan *Defined Lifted Weight and CoG (Center of Gravity)* ada beberapa tahap:

1. *Total Static Weight* $W_t = 74,45$ ton:
2. Pengecekan *Load Factor*:
 - *Load Safety Margin (F1)* = 1,025
 - *Dynamic Application Factor (DAF)* = 1,10
3. *Lifted Weight Calculation* = 83,94 ton
4. Studi *Center of Gravity* dilakukan berdasarkan:
 - data dari manufaktur

- pengecekan *balancing* secara visual dengan menggunakan *weighing method* yang dilakukan di *laydown area*

Select a Right Crane

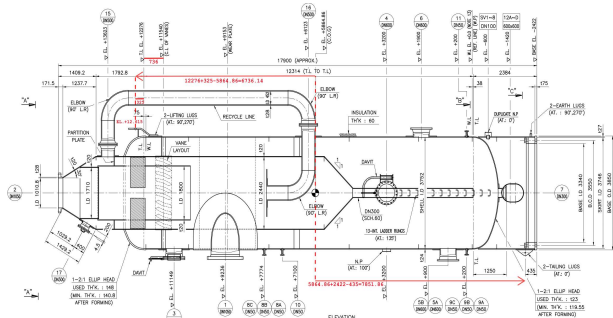
Dalam penentuan *Select a Right Crane* untuk instalasi Vessel LP Separator ada beberapa tahap:

1. Perhitungan Kapasitas Proporsional *Crane Lift* dan *Crane Tail*:

- *Crane Lift* = 100,73 ton
- *Crane Tail* = 46,51 ton

Kapasitas Proporsional *Crane* diatas menjadi acuan dalam menentukan pemilihan *crane* yang digunakan.

Dalam perhitungan kapasitas proporsional *Crane Lift* dan *Crane Tail* dilakukan pada sudut $\theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ berdasarkan posisi *center of gravity (CoG)*, *lifting lug* dan *tailing lug* (Gambar 12).



Gambar 12. Posisi CoG, lifting lug dan tailing lug

$$Crane\ Lift = \frac{Total\ weight\ x\ ((c\ x\ sin\ \theta) + (b\ x\ cos\ \theta))}{(c\ x\ sin\ \theta) + (b\ x\ cos\ \theta) + (a\ x\ cos\ \theta) - (d\ x\ sin\ \theta)}$$

$$Crane\ Tail = W - Crane\ Lift$$

2. *Crane Lift* dipilih berdasarkan *Range Capacity*. Dari tabel *Load Chart* diperoleh kapasitas untuk Kobelco *Crawler Crane CKE2500* (250 ton capacity) (Tabel 1):

- *Working Radius* = 10 m
- *Boom Length* = 39,6 m
- *Crane Capacity* = 107,4 ton > 100,73 ton

Tabel 1. Load Chart pada Crawler Crane 250 ton

Working Radius (m)	Boom Length (m)	Crane Capacity (ton)
10	39,6	107,4

- Dari tabel *Load Chart* diperoleh kapasitas untuk Sany *Terrain Crane SAC4500S* (450 ton capacity) (Tabel 2):

- *Working Radius* = 10 m
- *Boom Length* = 36,9 m
- *Crane Capacity* = 122 ton > 100,73 ton

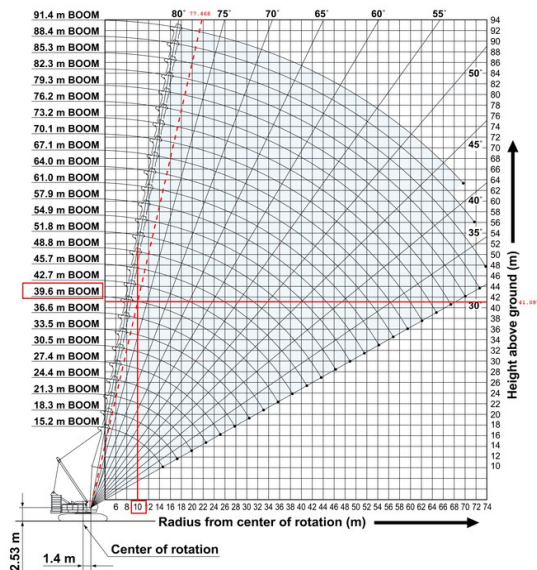
Tabel 2. Load Chart pada Mobile Crane 450 ton

Working Radius (m)	Boom Length (m)	Crane Capacity (ton)
10	36,9	122

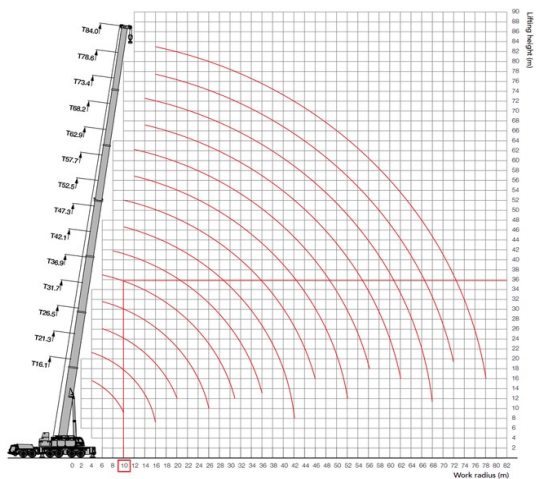
3. Pengecekan *Crane Capacity Utilization* berdasarkan *Load Chart* dari *Crane Lift* (**Gambar 13 dan 14**):

Crane Capacity Utilization dari *Crawler Crane*:

- *Total Lifted Weight* = 83,94 ton > 50 ton (III)
- *Working Radius* = 10 m
- *Boom Length* = 39,6 m
- *Boom Angle* = 77,47° (analisis grafis)
- *Crane Capacity* = *SWL* = 107,40 ton
- *% Utilization* = $(83,94 / 107,40) \times 100\%$
= 78,16% < 90% (oke)



Gambar 13. Analisis Sudut dan Elevasi *Boom Crawler Crane*



Gambar 14. Analisis Sudut dan Elevasi *Boom Mobile Crane*

Crane Capacity Utilization dari *Mobile Crane*:

- *Total Lifted Weight* = 83,94 ton > 50 ton
- *Working Radius* = 10 m
- *Boom Length* = 36,9 m
- *Boom Angle* = 74,28° (analitis)
- *Crane Capacity* = *SWL* = 122 ton
- *% Utilization* = $(83,94 / 122) \times 100\%$
= 68,81% < 90% (oke)

4. Pengecekan *Crane Lift* untuk *Hook Height Toward Final Elevation* terhadap tinggi *obstacle*:

Hasil pengecekan *Crane Lift* (*Crawler Crane*)

- *Crane Hook Height* H_c = 41,087 m
- *Limit of Hook Lifting* L = 5,2 m
- *Rigging Height* H_r = 28,232 m
- *Building Elevation* H_b = 1,33 m
- *H Required* $H_t = L + H_r + H_b = 34,762$ m
- *Working space* = $H_c - H_t = 6,325$ m

Hasil pengecekan *Crane Lift* (*Mobile Crane*)

- *Crane Hook Height* H_c = 35,80 m
- *Limit of Hook Lifting* L = 5,2 m
- *Rigging Height* H_r = 28,232 m
- *Building Elevation* H_b = 1,33 m
- *H Required* $H_t = L + H_r + H_b = 34,762$ m
- *Working space* = $H_c - H_t = 1,038$ m

5. *Crane Tail* dipilih berdasarkan *Range Capacity*:

Dari tabel *Load Chart* diperoleh kapasitas untuk Kobelco *Crawler Crane CK1000-III* (100 ton capacity) (**Tabel 3**):

- *Working Radius* = 17 ft = 5,18 m
- *Boom Length* = 80 ft = 24,4 m
- *Crane Capacity* = 128.300 lbs = 58,2 ton

Tabel 3. *Load Chart* pada *Crawler Crane* 100 ton

Working Radius (m)	Boom Length (m)	Crane Capacity (ton)
5,18	24,4	58,2

Dari tabel *Load Chart* diperoleh kapasitas untuk Sany *Terrain Crane SAC2500S* (250 ton capacity) (**Tabel 4**):

- *Working Radius* = 8 m = 22 m
- *Boom Length* = 40,4 m = 40,4 m
- *Crane Capacity* = 65 ton = 27,5 ton

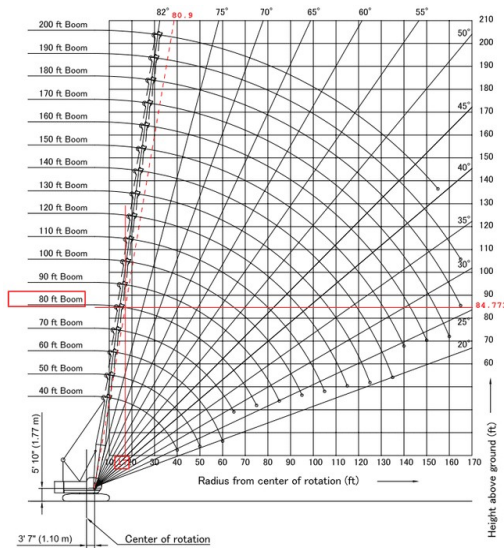
Tabel 4. *Load Chart* pada *Mobile Crane* 250 ton

Working Radius (m)	Boom Length (m)	Crane Capacity (ton)
8	40,4	65
22	40,4	27,5

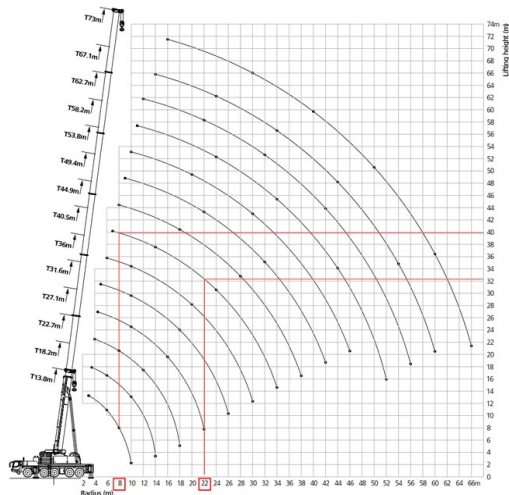
6. Pengecekan *Crane Capacity Utilization* berdasarkan *Load Chart* dari *Crane Tail* (**Gambar 15 dan 16**):

Crane Capacity Utilization dari *Crawler Crane*:

- *Total Lifted Weight* = 46,51 ton < 50 ton (II)
- *Working Radius* = 5,18 m
- *Boom Length* = 24,4 m
- *Boom Angle* = 80,9° (analisis grafis)
- *Crane Capacity* = SWL = 58,2 ton
- *% Utilization* = (46,51 / 58,2) x 100% = 79,93% < 90% (OK)



Gambar 15. Analisis Sudut dan Elevasi Boom Crawler Crane



Gambar 16. Analisis Sudut dan Elevasi Boom Mobile Crane

Crane Capacity Utilization dari *Mobile Crane*:

- *Total Lifted Weight* = 46,51 ton < 50 ton
- *Working Radius* = 8 m

- *Boom Length* = 40,4 m
- *Boom Angle* = 78,58° (analitis)
- *Crane Capacity* = SWL = 65 ton
- *% Utilization* = (46,51 / 65) x 100% = 71,56% < 90% (OK)

7. Pengecekan *Crane Tail* untuk *Hook Height Toward Final Elevation* terhadap tinggi *obstacle*:

Hasil pengecekan *Crane Lift* (*Crawler Crane*)

- *Crane Hook Height* Hc = 25,839 m
- *Limit of Hook Lifting* L = 5,2 m
- *Rigging Height* Hr = 14,415 m
- *Building Elevation* Hb = 1,33 m
- *H Required* Ht = L + Hr + Hb = 20,945 m
- *Working space* = Hc - Ht = 4,894 m

Hasil pengecekan *Crane Lift* (*Mobile Crane*)

- *Crane Hook Height* Hc = 39,80 m
- *Limit of Hook Lifting* L = 5,2 m
- *Rigging Height* Hr = 14,415 m
- *Building Elevation* Hb = 1,33 m
- *H Required* Ht = L + Hr + Hb = 20,945 m
- *Working space* = Hc - Ht = 18,855 m

Lifting Gear Selection

Dalam penentuan *Lifting Gear Selection* untuk *Crane Lift* dan *Crane Tail* ada beberapa tahap:

1. *Sling Design Load Calculation* untuk *Crane Lift* berdasarkan Tabel *Safe Working Load* (SWL):

- *Sling angle from vertical axis* = 24° ≈ 30°
- *Sling Design Load* (SDL) = W1 x F1 x DAF = 69,77 ton x 1,025 x 1,1 = 78,67 ton

- *WLL required* = $SDL / (2 \cos 30^\circ)$
 = 78,67 / (2 x 0,866) = 45,42 ton

2. *Sling Design Load Calculation* untuk *Crane Lift* berdasarkan Tabel *Minimum Breaking Load* (MBL) sesuai ASME.B.30.9 [6]:

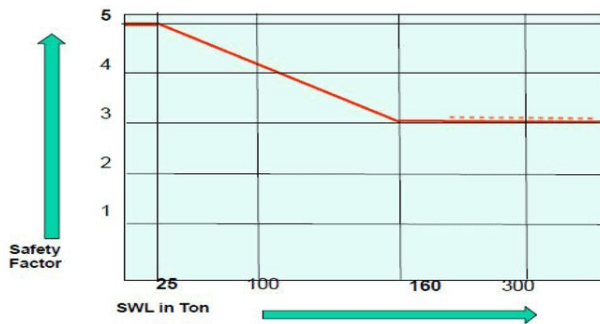
- *WLL* = 45,42 ton > 25 ton
- *Safety Factor* (SF) = 4
- *MBL required for the wire rope sling* (**Gambar 17**):
 = WLL x (SF / 0,9)
 = 45,42 x (4 / 0,9) = 201,86 ton
- *Based on the product catalog, we can use dia. 56 mm, the MBL* = 202 ton (**Tabel 5**)
- *Control the Safety Factor*:
 - *WLL* = MBL / (SF x 0,9) = 202 / (4 x 0,9) = 56,11 ton
 - *SF* = WLL / SDL = 56,11 / 45,42 = 1,24 > 1 (OK)

3. *Shackle Selection* untuk *Crane Lift* berdasarkan *Product Catalog (Tabel 6)* yang sudah sesuai ASME.B.30.26 [7]:
 - *WLL required* = 45,42 ton
 - *Based on the product catalog, we can use dia. 2-1/2 inch, the WLL* = 55 ton

4. *Sling Design Load Calculation* untuk *Crane Tail* berdasarkan *Tabel Safe Working Load (SWL)*:
 - *Sling angle from vertical axis* = $14^\circ \approx 30^\circ$
 - *Sling Design Load (SDL)* = $W1 \times F1 \times DAF$
 $= 46,51 \text{ ton} \times 1,025 \times 1,1$
 $= 52,44 \text{ ton}$
 - *WLL required* = $SDL / (2 \cos 30^\circ)$
 $= 52,44 / (2 \times 0,866) = 30,28 \text{ ton}$

5. *Sling Design Load Calculation* untuk *Crane Tail* berdasarkan *Tabel Minimum Breaking Load (MBL)* sesuai ASME.B.30.9 [6]:
 - *WLL* = 30,28 ton > 25 ton
 - *Safety Factor (SF)* = 4
 - *MBL required for the wire rope sling (Gambar 17)*:
 $= WLL \times (SF / 0,9)$
 $= 30,28 \times (4 / 0,9) = 134,57 \text{ ton}$
 - *Based on the product catalog, we can use dia.48 mm, the MBL* = 148 ton (**Tabel 5**)
 - *Control the Safety Factor*:
 - $WLL = MBL / (SF \times 0,9)$
 $= 134,57 / (4 \times 0,9) = 41,11 \text{ ton}$
 - $SF = WLL / SDL$
 $= 41,11 / 30,28 = 1,36 > 1 \text{ (OK)}$

6. *Shackle Selection* untuk *Crane Tail* berdasarkan *Product Catalog (Tabel 6)* yang sudah sesuai ASME.B.30.26 [7]:
 - *WLL required* = 30,28 ton
 - *Based on the product catalog, we can use dia. 2 inch, the WLL* = 35 ton



Gambar 17. Safety Factor untuk MBL pada Sling

Tabel 5. MBL untuk Sling Gr. 1770 MPa

Nominal Diameter (mm)	Approximate Mass (kg/m)	Minimum Breaking Load (kg)
48	9,420	164.000
56	12,800	223.000

Tabel 6. Shackle

Nominal Size (in.)	Working Load Limit (ton)	Weight Each (lbs)
2	35	45
2-1/2	55	85.75

Dari proses analisis *Engineering* dan *Construction* sesuai **Gambar 6**. Diagram Alir Penelitian Pekerjaan *Lifting* maka hasil penelitian dapat ditampilkan pada **tabel 7** dan **tabel 8**.

Tabel 7. Ringkasan Kriteria *Crawler Crane*

Description	Crawler Crane	
	Crane Lift	Crane Tail
<i>Crane Type</i>	Kobelco CKE2500	Kobelco CKE1000-III
<i>Lifting Capacity</i>	250 ton	100 ton
<i>Proportional Capacity of Crane</i>	100,73 ton	46,51 ton
<i>Working radius</i>	10 m	5,18 m
<i>Boom Length</i>	39,6 m	244 m
<i>Boom Angle</i>	77,47°	80,90°
<i>Crane Capacity</i>	107,4 ton	58,2 ton
<i>Height Above Ground</i>	41,087 m	84,773 ft = 25.84 m
<i>% Utilization</i>	78,16% < 90%	79,93% < 90%
<i>Working Space</i>	6,325 m	4,894 m

Tabel 8. Ringkasan Kriteria *Mobile Crane*

Description	Mobile Crane	
	Crane Lift	Crane Tail
<i>Crane Type</i>	Sany Terrain Crane SAC4500S	Sany Terrain Crane SAC2500S
<i>Lifting Capacity</i>	450 ton	2500 ton
<i>Proportional Capacity of Crane</i>	100,73 ton	46,51 ton
<i>Working radius</i>	10 m	8~22 m
<i>Boom Length</i>	36,9 m	40,4 m
<i>Boom Angle</i>	74,28°	78,58°
<i>Crane Capacity</i>	122 ton	65 ton

Description	Mobile Crane	
	Crane Lift	Crane Tail
Height Above Ground	35,80 m	39,80 m
% Utilization	68,81% < 90%	71,56% < 90%
Working Space	1,038 m	18,855 m

Tabel 9. Perbandingan Efektivitas *Crawler* dan *Mobile Crane*

Description	Crane	
	Crawler Crane	Mobile Crane
Lifting Capacity	√	-
Proportional Capacity of Crane	√	√
Working radius	√	-
Boom Length	√	-
Boom Angle	√	√
Crane Capacity	√	√
Height Above Ground	√	√
% Utilization	√	√
Working Space	√	√

Tabel 9 adalah perbandingan efektivitas jenis *crane* yang dibutuhkan pada pekerjaan *lifting* untuk instalasi vessel LP dan HP Separator PLTP Rantau Dedap berdasarkan sembilan kriteria pada analisis *engineering* dan *construction* yang harus dipenuhi supaya *crane* dapat bekerja dengan aman.

1. Lifting Capacity

Pemilihan *Crane Lift* dan *Crane Tail* berdasarkan *Range Capacity* pada tabel *Load Chart* menghasilkan tipe *crawler crane* yang lebih kecil kapasitasnya daripada tipe *mobile crane*.

2. Proportional Capacity of Crane

Perhitungan kapasitas proporsional *Crane Lift* dan *Crane Tail* menghasilkan kapasitas beban yang sama untuk tipe *crawler crane* dan tipe *mobile crane*.

3. Working radius

Tipe *mobile crane* yang bertumpu pada *outrigger* yang statis posisinya sehingga membutuhkan *working radius* yang jauh lebih besar daripada *Crane Tail* tipe *crawler crane* yang bisa bergerak mendekati ke arah *Crane Lift* pada saat proses *Tailing* (menyebabkan kebutuhan area pekerjaan *lifting* yang lebih luas).

4. Boom Length

Tipe *mobile crane* membutuhkan *Boom Length* yang jauh lebih panjang daripada tipe *crawler crane* karena dipengaruhi *working radius* (akan menyebabkan kebutuhan sling yang lebih panjang).

5. Boom Angle

Berdasarkan analisis sudut pada *Boom Working Range* yang dipengaruhi *working radius* menunjukkan bahwa tipe *mobile crane* dan tipe *crawler crane* memenuhi kriteria aman pada pekerjaan *lifting* (*crane* mampu mengangkat beban).

6. Crane Capacity

Berdasarkan *load chart* menunjukkan bahwa tipe *mobile crane* dan tipe *crawler crane* memenuhi kriteria aman (*Safe Working Load*) pada pekerjaan *lifting*.

7. Height Above Ground

Berdasarkan analisis sudut dan elevasi *Boom Crane* yang dipengaruhi *working radius* menunjukkan bahwa tipe *mobile crane* dan tipe *crawler crane* memenuhi kriteria aman pada pekerjaan *lifting* (masih ada *space* terhadap *ground level*).

8. % Utilization

Hasil pengecekan *Crane Capacity Utilization* berdasarkan *Load Chart* dari *Crane* terhadap *Safe Working Load* masih < 90% menunjukkan bahwa tipe *mobile crane* dan tipe *crawler crane* memenuhi kriteria aman pada pekerjaan *lifting*.

9. Working Space

Berdasarkan perhitungan *Working Space* menunjukkan bahwa tipe *mobile crane* dan tipe *crawler crane* memenuhi kriteria aman pada pekerjaan *lifting* (tidak membentur pondasi/*obstacle*).

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa bila menggunakan jenis *crawler crane* maka harus memakai *crane lift* tipe *Kobelco CKE2500* (kapasitas 250 ton) dikombinasikan dengan *crane tail* tipe *Kobelco CKE1000-III* (kapasitas 100 ton), sedangkan bila menggunakan jenis *mobile crane* maka harus memakai *crane lift* tipe *Sany Terrain Crane SAC4500S* (kapasitas 450 ton) dikombinasikan dengan *crane tail* tipe *Sany Terrain Crane SAC2500S* (kapasitas 250 ton).

Berdasarkan hasil penelitian maka pekerjaan *lifting* untuk instalasi Vessel LP dan HP Separator proyek PLTP Rantau Dedap lebih tepat jika menggunakan jenis *crawler crane* karena lebih unggul dibandingkan jenis *mobile crane* pada kriteria *Lifting Capacity* (kapasitas yang tepat dan tidak *over-capacity*), *Working Radius* dan *Boom Length* (*crane* lebih fleksibel karena tidak membutuhkan area pergerakan yang luas).

4. Simpulan

Simpulan dari hasil penelitian analisis penggunaan alat berat (*crane*) sebagai alat angkat untuk instalasi vessel LP dan HP Separator Proyek PLTP Rantau Dedap bahwa jenis *crawler crane* dengan kapasitas yang lebih kecil yaitu *main*

crane 250 ton + *tailing crane* 100 ton adalah setara secara fungsi dengan jenis *mobile crane* dengan kapasitas yang lebih besar yaitu *main crane* 450 ton + *tailing crane* 250 ton.

Namun, *crawler crane* lebih tepat digunakan untuk instalasi vessel LP dan HP Separator Proyek PLTP Rantau Dedap karena lebih unggul dibandingkan jenis *mobile crane* pada kriteria *Lifting Capacity*, *Working Radius* dan *Boom Length*.

Daftar Pustaka

- [1] Bechtel Equipment Operations Rigging Department, *Bechtel Rigging Handbook*, 2nd Edition, United States of America: Bechtel Corporation, 2002.
- [2] Taufiqurrahman, *Training Lifting/Rigging Engineer*, Jakarta: Petros Oil Gas Training, 2021.
- [3] D. Wilopo, *Jenis Alat-alat Berat*, Jakarta: Universitas Tarumanagara, 2021.
- [4] D. Wilopo, *Manajemen Alat Angkat*, Jakarta: Universitas Tarumanagara, 2021.
- [5] S. Widharto, *Manual Rigging*, Edisi 2, Jakarta: Pradnya Paramita, 2006.
- [6] ASME B30.9-2003, *Slings*, New York: American Society of Mechanical Engineers, 2003.
- [7] ASME B30.26-2004, *Rigging Hardware*, New York: American Society of Mechanical Engineers, 2004.

Halaman ini sengaja dikosongkan