

ANALISIS PERHITUNGAN *LIFTING PLAN* PADA PEKERJAAN KONSTRUKSI *BREAKWATER* TERMINAL LPG JAWA TIMUR

Febri Dwi Setiawan^{1*}, Pungky Dharma Saputra¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia

Kawasan IPSC Sentul, Sukahati, Kec. Citeureup, Bogor, Jawa Barat, 16810, Indonesia

*Corresponding authors: febrise1290@gmail.com

Abstract: Offshore pile driving operations in breakwater construction involve high technical complexity due to dynamic marine environments and heavy lifting activities using crawler cranes mounted on working barges. This study aims to evaluate lifting plan performance based on crane utilization and safety factor, identify critical operating conditions caused by crane radius variations, and formulate technical recommendations in accordance with DNV ST-N001 and International Organization for Standardization standards. A quantitative descriptive approach was employed using engineering calculations, sensitivity analysis, and international standard benchmarking. The study examined four lifting activities: steel pipe pile transfer, pile launching, vibro hammer lifting, and impact hammer lifting using a SUMITOMO SC6500 crawler crane. The results indicate that increasing crane radius significantly reduces the safety factor while increasing crane utilization. A 20-meter radius was identified as the optimum operating limit for most lifting activities. Two scenarios, namely Service Barge to Working Barge at a 30-meter radius and Pile to Launch at a 30-meter radius, failed to satisfy the minimum offshore safety factor requirements. In contrast, all vibro hammer lifting scenarios remained within safe operating limits. This study highlights the importance of integrating Dynamic Amplification Factor, load chart analysis, and working radius assessment to optimize safety and operational reliability in offshore lifting operations.

Keywords: Lifting Plan, Crawler Crane, Dynamic Amplification Factor, Safety Factor, Offshore Construction

Abstrak: Pekerjaan pemancangan laut pada konstruksi breakwater memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi karena dilaksanakan pada lingkungan offshore yang dinamis serta melibatkan pengangkatan material dan peralatan berat menggunakan crawler crane di atas working barge. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa lifting plan berdasarkan parameter crane utilization dan safety factor, mengidentifikasi kondisi operasional kritis akibat variasi radius crane, serta menyusun rekomendasi teknis berdasarkan standar DNV ST-N001 dan International Organization for Standardization. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif melalui engineering calculation, sensitivity analysis, dan benchmarking standar internasional. Objek penelitian meliputi empat aktivitas lifting, yaitu transfer steel pipe pile, pile to launch, lifting vibro hammer, dan lifting impact hammer menggunakan crawler crane SUMITOMO SC6500. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan radius crane secara signifikan menurunkan safety factor dan meningkatkan crane utilization. Radius 20 m merupakan batas operasional optimum untuk mayoritas aktivitas lifting. Dua skenario, yaitu Service Barge to Working Barge pada radius 30 m dan Pile to Launch pada radius 30 m, tidak memenuhi persyaratan minimum safety factor offshore. Sebaliknya, seluruh skenario lifting vibro hammer berada dalam kategori aman. Penelitian ini menegaskan pentingnya integrasi analisis Dynamic Amplification Factor, load chart, dan working radius dalam optimasi keselamatan operasi lifting offshore.

Kata kunci: *Lifting Plan, Crawler Crane, Dynamic Amplification Factor, Safety factor, Offshore Construction*

1. PENDAHULUAN

Terminal LPG Refrigerated Jawa Timur merupakan salah satu infrastruktur energi strategis nasional yang berperan dalam memenuhi sekitar 35% kebutuhan LPG di wilayah Jawa Timur, Bali, Nusa Tenggara, sebagian Kalimantan, serta Sulawesi (WIKA, 2022). Dalam pengembangannya, proyek ini mencakup pembangunan fasilitas darat, pipeline, serta dermaga (jetty) yang dilengkapi dengan struktur *breakwater* sebagai pelindung terhadap gelombang laut. Keberadaan *breakwater* menjadi komponen krusial dalam menjamin stabilitas operasional dermaga, khususnya dalam mendukung aktivitas sandar kapal tanker dan distribusi energi secara berkelanjutan (WIKA, 2022).

Pekerjaan konstruksi *breakwater*, khususnya pada tahap pemancangan tiang pancang laut, memiliki kompleksitas teknis yang tinggi karena dilakukan di lingkungan offshore yang dinamis (Chakrabarti, 2005). Aktivitas ini melibatkan pengangkatan dan pemasangan elemen struktur berat seperti steel pipe pile menggunakan alat angkat berat berupa crawler crane yang beroperasi di atas ponton kerja (*barge*) (Peurifoy & Schexnayder, 2010). Kondisi tersebut menuntut adanya perencanaan teknis yang matang, terutama dalam aspek lifting plan, yang mencakup perhitungan kapasitas crane, radius kerja, konfigurasi rigging, distribusi beban, serta pengaruh faktor lingkungan seperti gelombang, arus, dan angin laut (Hu, Fang, & Bai, 2021).

Secara teoritis, lifting plan merupakan dokumen rekayasa yang tidak hanya bersifat administratif, tetapi juga berfungsi sebagai instrumen teknis untuk menjamin keselamatan dan efisiensi operasi pengangkatan. Perencanaan lifting yang baik harus mampu mengintegrasikan load chart crane dengan kondisi aktual di lapangan, termasuk mempertimbangkan faktor dinamis (*dynamic amplification factor*) dan stabilitas ponton akibat beban eksentrik (American Society of Mechanical Engineers, 2018). Namun demikian, dalam praktik di lapangan sering terjadi ketidaksesuaian antara perencanaan dan kondisi aktual, seperti perubahan radius kerja akibat pergerakan barge, variasi berat aktual material, serta kurang

akuratnya estimasi pengaruh beban dinamis (Zhu et al., 2022).

Permasalahan tersebut dapat menimbulkan berbagai dampak signifikan, antara lain risiko kegagalan angkat (*lifting failure*), potensi kecelakaan kerja, penurunan stabilitas crane atau ponton, kerusakan elemen struktur, hingga keterlambatan progres proyek dan pembengkakan biaya akibat downtime maupun rework (Cai et al., 2024). Pada proyek berskala besar dan strategis seperti terminal energi, keterlambatan konstruksi bahkan dapat berdampak pada terganggunya rantai pasok energi regional. Hal ini menunjukkan bahwa lifting plan tidak dapat dipandang sebagai perencanaan statis, melainkan harus bersifat adaptif terhadap kondisi operasional dan lingkungan maritim (Bagheri et al., 2024).

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa keberhasilan operasi lifting sangat dipengaruhi oleh pemilihan kapasitas crane, konfigurasi rigging, serta analisis beban dan kondisi lingkungan secara komprehensif. Studi dalam bidang rekayasa offshore menegaskan bahwa pergerakan barge dan alat berat secara dinamis dapat memengaruhi kestabilan sistem pengangkatan, sehingga diperlukan analisis teknis yang mempertimbangkan interaksi antara beban, alat, dan lingkungan. Selain itu, evaluasi terhadap komponen lifting seperti sling, shackle, dan padeye juga menjadi faktor penting dalam menjamin keamanan operasi pengangkatan (Hu, Fang, & Guo, 2021).

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan pendekatan analitis yang lebih komprehensif dalam penyusunan *lifting plan calculation*, yang tidak hanya mengacu pada teori, tetapi juga mempertimbangkan kondisi aktual di lapangan (Guo et al., 2021). Pendekatan ini meliputi verifikasi kapasitas crane berdasarkan load chart aktual, analisis stabilitas ponton, evaluasi konfigurasi rigging, serta perhitungan faktor dinamis akibat kondisi lingkungan laut. Dengan demikian, lifting plan yang dihasilkan diharapkan mampu meningkatkan keselamatan kerja sekaligus mengoptimalkan produktivitas alat berat (Zhu et al., 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk Mengevaluasi performa lifting plan berdasarkan parameter utilisasi crane dan *safety factor*. Mengidentifikasi kondisi operasional kritis akibat variasi

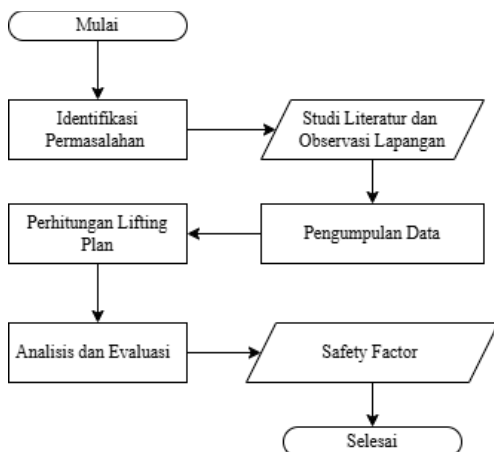
radius crane. Menyusun rekomendasi teknis berdasarkan *benchmarking* terhadap standar DNV-ST-N001 dan ISO 19901-6.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas perencanaan *lifting* pada konstruksi *offshore*, masih terbatas kajian yang mengintegrasikan analisis *Dynamic Amplification Factor (DAF)*, *crane utilization*, dan *safety factor* secara simultan pada kondisi operasi aktual di lapangan. Penelitian ini menawarkan pendekatan evaluasi terintegrasi yang memungkinkan identifikasi kondisi kritis berdasarkan variasi crane radius, sehingga memberikan kontribusi praktis dalam optimasi keselamatan operasi *lifting offshore*.

2. METODE PENELITIAN

Desain penelitian

Metode yang digunakan yaitu bersifat kuantitatif dengan pendekatan deskriptif, dengan observasi langsung terhadap kegiatan pemancangan menggunakan metode *hydraulic impact hammer* di lapangan. Kemudian diinterpretasikan berdasarkan teori dan literatur yang berhubungan dengan *Lifting plan crawler crane* yang digunakan. Berikut diagram alir penelitian :



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian
Sumber: Olahan Penulis, 2026

Variabel penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian dan tahapan analisis *lifting plan offshore*, variabel penelitian disusun untuk mengidentifikasi hubungan antara parameter operasional crane terhadap tingkat keselamatan pengangkatan. Variabel-variabel tersebut meliputi parameter input yang memengaruhi proses perhitungan, serta parameter

output yang digunakan untuk mengevaluasi kelayakan operasi *lifting*. Berikut variabel yang digunakan:

Tabel 1. Tabel Variabel Penelitian
Sumber: Olahan Penulis, 2026

Jenis Variabel	Kode	Variabel	Satuan
Variabel Independen	X1	Berat Beban (Load Weight)	ton
Variabel Independen	X2	Radius Crane	m
Variabel Independen	X3	Dynamic Amplification Factor (DAF)	-
Variabel Independen	X4	Kapasitas Crane	ton
Variabel Dependen	Y1	Crane Utilization	%
Variabel Dependen	Y2	Safety factor	-
Variabel Dependen	Y3	Status Kelayakan Operasi	Kategori

Spesifikasi alat berat merupakan salah satu faktor penting pendukung produktivitas pekerjaan. Pemilihan dan penggunaan yang baik akan menghasilkan produktivitas yang maksimal. Pemilihan yang tidak sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi dapat menimbulkan peningkatan risiko pekerjaan. Baik risiko kerusakan, kegagalan dan kecelakaan kerja, sehingga dalam proses pemilihan alat perlu dipertimbangkan fungsi alat, kapasitas, metode kerja, kondisi medan kerja, dan aspek aspek lain yang berpengaruh. Berikut spesifikasi alat yang digunakan pada proses pemancangan *breakwater*.

Tabel 2. Spesifikasi Crane SUMITOMO SC6500
Sumber: (Sumitomo, 2004)

Spesifikasi Alat	Keterangan
Merk / Type	SUMITOMO
Model	SC 6500
Maximum lifting Capacity	650 Ton
Boom Length	61 m
Boom Radius Used	20 – 30 m
Swing Speed	1,5 Rpm
Main Hook	170 Ton Capacity
Auxiliary Hook 1	4 Ton Capacity
Auxiliary Hook 2	2 Ton Capacity
Auxiliary Hook 3	1,5 ton Capacity

Tabel 3. Spesifikasi Material dan Rigging Tools
Sumber: Olahan Penulis, 2026

Rigging Tool Detail								
Lifting Process	Material Weight (Ton)	Tools	Type	Capacity (Ton)	Length (M)	Weight (Kg)	Quantity (Unit)	Total (Ton)
SPP	60,7	Shackle	2 ½”	55		44,6	4	0,1784
		Webbing Sling	WLL 110	110,00	20	4	2	0,16
		Wire Rope Sling	2 ¾	420	40	12	2	0,96
Pile Gripper	20,00	Shackle	2 ½”	55		44,6	1	0,0446
		Webbing Sling	WLL 110	0			0	0
		Wire Rope Sling	2 ¾	420	4	12	2	0,096
OMSVIBRO SVR200NF	21,70	Wire Rope Sling	2 ¾	420	3	12	2	0,072
JUNTAN HHK 2	40,7	Shackle	2 ½”	25		15,4	2	0,0308
		Wire Rope Sling	2 ¾	420	6	12	2	0,144

Pada Tabel 3 spesifikasi *lifting tools* dan material dibawah ini disusun sebagai dasar dalam perhitungan *lifting plan*, yang memuat informasi terkait jenis peralatan rigging, kapasitas kerja (*working load limit*), dimensi, serta berat masing-masing komponen yang digunakan dalam proses pengangkatan. Data ini berperan penting dalam menentukan total beban angkat (*total weight*) secara akurat, sehingga perhitungan kapasitas crane, faktor dinamis, serta evaluasi keselamatan dapat dilakukan secara tepat sesuai dengan kondisi operasional di lapangan.

Tabel 4. Dynamic Amplification Factor
Sumber: (DNV AS, 2021)

Static Hook Load (SHL)	Dynamic Amplification Factor		
	Dynamic Amplification Factor		
	Onshore	Inshore	Offshore
SHL < 100 Ton	1,10	1,15	1,30
100 Ton < SHL < 300 Ton	1,05	1,12	1,25
300 Ton < SHL < 1000 Ton	1,05	1,10	1,20
1000 Ton < SHL < 2500 Ton	1,03	0,08	1,15
SHL > 2500 Ton	1,03	1,05	1,10

Tabel 4 *Dynamic Amplification Factor* (DAF) digunakan untuk mengoreksi beban statis menjadi beban dinamis sesuai kondisi lifting.

Pada operasi offshore, nilai DAF lebih besar dibandingkan onshore dan inshore akibat pengaruh gerakan laut seperti heave, pitch, dan roll yang meningkatkan gaya inersia. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan DAF untuk kondisi offshore agar perhitungan beban lebih konservatif, sehingga keselamatan dan keandalan operasi lifting tetap terjamin. Nilai *Safety factor* (SF) pada setiap skenario perlu dievaluasi terhadap standar internasional yang berlaku pada operasi pengangkatan *offshore*, khususnya DNV melalui standar DNV-ST-N001. Dalam operasi *lifting offshore*, batas minimum yang umum diterapkan adalah *Safety factor* $\geq 1,15$ untuk *lifting in-air* pada kondisi *offshore* normal. Nilai di bawah batas tersebut mengindikasikan bahwa kapasitas crane tidak lagi mencukupi untuk menahan beban statis dan dinamis secara aman.

Tabel 5. Kategori *Safety factor*
Sumber: (DNV AS, 2021)

<i>Safety factor</i>	Kategori	Interpretasi
> 2,0	Sangat Aman	Margin keselamatan sangat tinggi
1,5 – 2,0	Aman & Optimal	Sangat direkomendasikan
1,15 – 1,5	Kritis	Memerlukan pengawasan ketat
< 1,15	Tidak Aman	Tidak memenuhi standar offshore

Kriteria tersebut sejalan dengan prinsip desain dan operasional yang diterapkan dalam DNV-ST-N001, di mana crane harus mempertahankan kapasitas cadangan setelah mempertimbangkan *Dynamic Amplification Factor (DAF)*, *wind load*, dan *vessel motion*.

Teknik pengumpulan data

Observasi lapangan dilakukan langsung *on-site* pada proyek Terminal LPG Refrigerated Jawa Timur Tahap 2 yang dikerjakan oleh PT. WIKA dengan Subkon pemancangan *breakwater* adalah PT. SWI Jetty Nusantara. Sehingga observasi dilakukan dengan peneliti mengamati proses pemancangan secara langsung di atas *working barge* Nusantara X milik PT. SWI Jetty Nusantara. Seluruh proses observasi dilakukan sesuai dengan ketentuan penggunaan APD dan Ketentuan keselamatan pekerjaan lainnya.

Teknik analisis data

Teknik Analisa data yang digunakan adalah pendekatan *engineering calculation* yang dilengkapi *sensitivity analysis* terhadap variasi crane radius, threshold analysis untuk menentukan batas aman operasi, serta benchmarking terhadap standar DNV-ST-N001 dan ISO 19901-6.

1. *Lifting Plan*

Dalam perencanaan *Lifting Plan* dibutuhkan beberapa data pendukung sebagai data

awal untuk menentukan kalkulasi lanjutan. Perencanaan lifting pada lingkungan offshore mengacu pada standar ISO 19901-6 yang mencakup analisis beban, faktor dinamis, stabilitas, serta aspek keselamatan dalam operasi maritim, sehingga memastikan proses pengangkatan dilakukan secara aman dan terkontrol. Berikut data yang dibutuhkan dan kalkulasinya (ISO 19901-6, 2009; Wu et al., 2011).

Total Weight Tools = A + B + C + D.....(1)

A = *Material Weight* (Ton)

B = *Main Hook Weight* (Ton)

C = *Auxiliary Hook Weight* (Ton)

D = *Rigging Tools Weight* (Ton)

Efective Weight = TW x DAF.....(2)

TW = *Total Weight* (Ton)

DAF = *Dinamic Amplification Factor*

Lifting Capacity

Korelasi antara *Crane boom length and Crane boom radius* yang sudah distandarisasi oleh manufaktur model crane yang digunakan.

Tabel 6. Load chart SUMITOMO SC 6500 H650 Combination
Sumber: (Sumitomo, 2004)

●H650ヘビーブーム (主フック) (S-II)

カウンタウエイト質量 172t
フックウエイト 78t
ロウウエイト 単位(ton)

作業半径 (m)	24.38	30.46	36.54	42.62	48.77	54.86	60.96	67.06	73.15	79.25	85.34	91.44
5.0	552.0	636.0	720.0	804.0	888.0	972.0	1056.0	1140.0	1224.0	1308.0	1392.0	1476.0
7.0	618.4	718.2	818.0	917.8	1017.6	1117.4	1217.2	1317.0	1416.8	1516.6	1616.4	1716.2
8.0	531.3	531.0	530.6	498.0	434.0/8.7							
10.0	412.2	412.8	412.3	411.3	410.4	373.0	330.0/10.1	288.0/10.8	228.0/11.5			
12.0	356.7	356.4	355.9	354.9	353.9	320.0	261.0	222.0	190.0	158.0	126.0	103.0
14.0	282.3	282.9	282.3	275.8	272.0	255.3	231.6	219.9	219.9	188.8	157.0	133.0
16.0	234.7	236.6	236.8	232.4	226.1	222.5	219.1	215.0	213.4	183.2	152.9	128.0
18.0	196.6	196.1	196.2	198.0	195.4	193.6	187.2	184.4	182.0	179.8	148.7	124.6
20.0	170.6	171.2	171.3	170.9	170.0	165.7	162.7	155.9	157.6	155.3	137.7	114.9
22.0	147.5	149.8	149.8	149.2	146.7	143.9	142.1	142.4	138.2	135.0	126.0	103.4
24.0	123.3/23.6	132.3	132.3	131.9	131.3	126.7	127.0	124.4	122.4	120.2	118.2	98.9
26.0		118.2	118.2	117.7	117.2	116.1	113.7	111.1	109.1	107.0	105.1	92.1
28.0		103.4	103.5	103.0	102.4	101.4	99.9	95.9	98.0	95.9	94.0	86.0
30.0		103.7/29.1	96.5	96.0	95.5	94.6	92.6	92.2	88.4	86.4	84.5	80.5
32.0			86.0	87.9	87.9	86.7	85.2	81.9	80.1	78.1	76.3	74.3
34.0			80.5	80.1	79.9	78.7	76.6	74.6	72.9	70.9	69.1	67.1
36.0				73.7	73.1	72.1	70.2	68.1	66.4	64.5	62.7	60.8
38.0					67.9	67.4	66.1	64.4	62.3	60.7	58.8	56.2
40.0						62.3	60.8	59.1	57.1	55.5	53.8	50.1
42.0							57.3	55.9	54.4	51.0	49.2	45.6
44.0								52.5	51.4	48.0	45.0	41.5
46.0									47.3	45.0	41.2	39.6
48.0										42.4	40.7	37.8
50.0											39.8	37.4
52.0												36.2
54.0												
56.0												
58.0												
60.0												
62.0												
64.0												
66.0												
68.0												
70.0												
72.0												
74.0												
76.0												

※但し、シングルトップの使用範囲は、主ジブ長さ24.38~65.24mまでです。

Dari tabel *load chart* tersebut kita menggunakan boom length yaitu 60,96 m atau kita sederhanakan menjadi 61M dan radius yang digunakan adalah 10m, 20m, dan 30m sehingga didapatkan *lifting capacity* sebesar 330 Ton, 162.7 Ton, dan 92,6 Ton yang nantinya akan dibandingkan hasilnya.

Effective Lifting Capacity = E x LC.....(3)

E = *Crawler Crane Eficiency*

LC = *Lifting Capacity (Ton)*

Used Capacity = EW / ELC x 100%.....(4)

EW= *Effective Weight (Ton)*

ELC= *Efective Lifting Capacity (Ton)*

Safety factor = ELC / EW.....(5)

ELC= *Efective Lifting Capacity (Ton)*

EW= *Effective Weight (Ton)*

Safety weight Tolerance = SF X EW.....(6)

SF= *Safety factor*

EW= *Efective Weight*

Spare Weight = ELC x UC.....(7)

ELC= *Efective Lifting Capacity*

UC= *Used Capacity*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil perhitungan *lifting plan* menyajikan rangkuman parameter utama yang digunakan dalam mengevaluasi kinerja dan keamanan operasi pengangkatan pada setiap aktivitas. Parameter tersebut meliputi total beban angkat, beban efektif setelah koreksi *dynamic amplification factor* (DAF), kapasitas angkat crane berdasarkan konfigurasi boom dan radius, serta nilai utilisasi dan *safety factor*. Data ini menjadi dasar dalam menilai kesesuaian antara beban yang diangkat dengan kapasitas alat, sehingga dapat diidentifikasi tingkat keamanan, efisiensi, serta potensi risiko pada masing-masing skenario *lifting* yang dianalisis.

Tabel 7. Tabel Aktivitas Lifting Plan

Sumber: Olahan Penulis, 2026

Kode Aktivitas	Aktivitas
A	<i>Lifting dari Service Barge dan Stocking di Working Barge</i>
B	<i>Lifting Pile to Launch Menggunakan Pile Gripper</i>
C	<i>Lifting Vibro Hammer</i>

Kode Aktivitas	Aktivitas
D	<i>Lifting Hidraulic hammer</i>

A. *Lifting dari Service Barge dan Stoking di Working Barge*

Tabel 8. Lifting dari Service Barge dan Stocking di Working Barge

Sumber: Olahan Penulis, 2026

Lifting Spp From Sb To Wb			
Total Weight For Lifting			
<i>Material</i>	<i>Steel Pipe Pile</i>	60,7	Ton
<i>Main Hook</i>		10	Ton
<i>Aux Hook 1</i>		2,5	Ton
<i>Aux Hook 2</i>		1,5	Ton
<i>Aux Hook 3</i>		0,5	Ton
<i>Pile Gripper</i>			Ton
<i>Rigging Tools</i>		1,30	Ton
<i>Total Weight</i>		76,49	Ton
<i>TW X DAF</i>		95,61	Ton

Crane Calculation				
<i>Boom Crane Length</i>		61		M
<i>Radius Crane</i>	10	20	30	M
<i>Lifting Capacity</i>	330	162,7	92.6	Ton
<i>Condition</i>	297	146,43	83.34	Ton
<i>Used Crane Cap</i>	32.19	65,29	114.72	%
<i>Safety factor</i>	3.11	1,53	0.87	
<i>Safety Weight Tolerance</i>	297	146,43	83.34	Ton
<i>Spare Weight</i>	95.61	95,61	95.61	Ton

B. *Lifting Pile to Launch Menggunakan Pile Gripper*

Tabel 9. Lifting Pile to Launch Menggunakan Pile Gripper

Sumber: Olahan Penulis, 2026

Lifting SPP To Launch Total Weight for Lifting			
<i>Material</i>	<i>Steel Pipe Pile</i>	60,7	Ton
<i>Main Hook</i>		10	Ton
<i>Aux Hook 1</i>		2,5	Ton
<i>Aux Hook 2</i>		1,5	Ton
<i>Aux Hook 3</i>		0,5	Ton

<i>Pile Gripper</i>	20,00			Ton
<i>Rigging Tools</i>	0,14			Ton
<i>Total Weight</i>	95,33			Ton
TW X DAF	119,16			Ton
Crane Calculation				
<i>Boom Crane Length</i>	61			M
<i>Radius Crane</i>	10	20	30	M
<i>Lifting Capacity</i>	330	162,7	92.6	Ton
<i>Condition</i>	297	146,43	83.34	Ton
<i>Used Crane Cap</i>	40.12	81,38	142.98	%
<i>Safety factor</i>	2.49	1,23	0.70	
<i>Safety Weight Tolerance</i>	297	146,43	83.34	Ton
<i>Spare Weight</i>	119.16	119,16	119.16	Ton

C. *Lifting Vibro Hammer*

Tabel 10. Lifting Vibro Hammer
Sumber: Olahan Penulis, 2026

Lifting Vibro				
Total Weight For Lifting				
<i>Material</i>	OMSVIBRO SVR200NF	21,70	Ton	
<i>Main Hook</i>		10	Ton	
<i>Aux Hook 1</i>		2,5	Ton	
<i>Aux Hook 2</i>		1,5		
<i>Aux Hook 3</i>		0,5		
<i>Rigging Tools</i>		0,07	Ton	
<i>Total Weight</i>		36,27	Ton	
<i>TW X DAF</i>		45,34	Ton	
Crane Calculation				
<i>Boom Crane Length</i>	61			M
<i>Radius Crane</i>	10	20	30	M
<i>Lifting Capacity</i>	330	162.7	92.6	Ton
<i>Condition</i>	297	146.43	83.34	Ton
<i>Used Crane Cap</i>	23.31	47.27	83.06	%
<i>Safety factor</i>	4.29	2.12	1.20	
<i>Safety Weight Tolerance</i>	297	146.43	83.34	Ton
<i>Spare Weight</i>	69.22	69.22	69.22	Ton

<i>Lifting Capacity</i>	330	162.7	92.6	Ton
<i>Condition</i>	297	146.43	83.34	Ton
<i>Used Crane Cap</i>	15.27	30.96	54.40	%
<i>Safety factor</i>	6.55	3.23	1.84	
<i>Safety Weight Tolerance</i>	297	146.43	83.34	Ton
<i>Spare Weight</i>	45.34	45.34	45.34	Ton

D. *Lifting Impact Hammer*

Tabel 11. Lifting Impact Hammer
Sumber: Olahan Penulis, 2026

Lifting Hammer				
Total Weight For Lifting				
<i>Material</i>	JUNTTAN HHK 25S	40,7	Ton	
<i>Main Hook</i>		10	Ton	
<i>Aux Hook 1</i>		2,5	Ton	
<i>Aux Hook 2</i>		1,5		
<i>Aux Hook 3</i>		0,5		
<i>Rigging Tools</i>		0,17	Ton	
<i>Total Weight</i>		55,37	Ton	
<i>TW X DAF</i>		69,22	Ton	
Crane Calculation				
<i>Boom Crane Length</i>	61			M
<i>Radius Crane</i>	10	20	30	M
<i>Lifting Capacity</i>	330	162.7	92.6	Ton
<i>Condition</i>	297	146.43	83.34	Ton
<i>Used Crane Cap</i>	23.31	47.27	83.06	%
<i>Safety factor</i>	4.29	2.12	1.20	
<i>Safety Weight Tolerance</i>	297	146.43	83.34	Ton
<i>Spare Weight</i>	69.22	69.22	69.22	Ton

Hasil dari perhtungan *lifting plan* diatas dirangkum dalam tabel rekapitulasi berikut :

Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Lifting Plan*
Sumber : Olahan Penulis, 2026

No	Aktivitas Lifting	Crane Radius (Meter)	Total Weight (Ton)	Effective Weight (Ton)	Kapasitas Efektif Crane (Ton)	Utilisasi (%)	Safety factor (+1.5)	Kategori
A	Service Barge to Working Barge	10	76,49	95,61	297	32,19	3,11	Sangat Aman

No	Aktivitas Lifting	Crane Radius (Meter)	Total Weight (Ton)	Effective Weight (Ton)	Kapasitas Efektif Crane (Ton)	Utilisasi (%)	Safety factor (+1.5)	Kategori
		20			146,43	65,29	1,53	Aman & Optimal
		30			83,34	114,72	0,87	Tidak Aman
B	<i>Pile To Launch (Pile Gripper)</i>	10			297	40,12	2,49	Sangat Aman
		20	95,33	119,16	146,43	81,38	1,23	Kritis (Mendekati Batas)
		30			83,34	142,98	0,70	Tidak Aman
C	<i>Lifting Vibro Hammer</i>	10	36,27	45,34	297	15,27	6,55	Sangat Aman
		20			146,43	30,96	3,23	Sangat Aman
		30			83,34	54,40	1,84	Aman & Optimal
D	<i>Lifting Impact Hammer</i>	10	55,37	69,22	297	23,31	4,29	Sangat Aman
		20			146,43	2,12	2,12	Aman & Efisien
		30			83,34	83,34	1,20	Kritis (Mendekati Batas)

Berdasarkan rekapitulasi hasil perhitungan lifting plan pada Tabel 12, nilai *safety factor* menunjukkan hubungan yang sangat erat dengan perubahan radius crane. Secara teoritis, peningkatan radius crane akan menyebabkan penurunan kapasitas angkat efektif, sehingga nilai *safety factor* turut menurun. Fenomena ini sejalan dengan prinsip load chart crane, di mana kapasitas angkat berbanding terbalik terhadap *working radius*. Dalam operasi *offshore*, parameter ini menjadi sangat krusial karena selain beban statis, crane juga harus mengakomodasi beban dinamis akibat gerakan vessel, gelombang, dan angin.

Menurut standar DNV melalui DNV-ST-N001, operasi *lifting offshore* harus mempertahankan *safety factor* minimum sebesar 1,15 setelah mempertimbangkan *Dynamic Amplification Factor* (DAF) dan kondisi lingkungan. Nilai ini merupakan batas minimum absolut; dalam praktik rekayasa, nilai di atas 1,50 lebih direkomendasikan untuk memberikan margin keselamatan yang memadai terhadap ketidakpastian operasional. Standar ini juga selaras dengan pedoman *International Organization for Standardization*, khususnya ISO 19901-6 yang mengatur

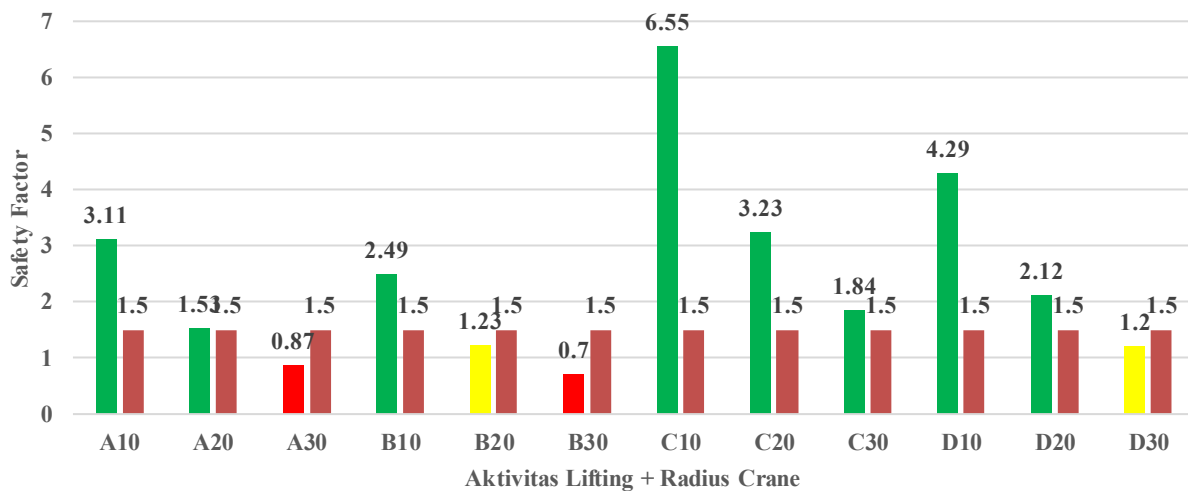
marine operations dan *lifting* pada instalasi lepas pantai.

Pada aktivitas *Service Barge to Working Barge*, *safety factor* menurun dari 3,11 pada radius 10 m menjadi 1,53 pada radius 20 m, kemudian turun hingga 0,87 pada radius 30 m. Nilai pada radius 10 m dan 20 m masih memenuhi persyaratan DNV, dengan radius 20 m berada pada rentang aman dan optimal. Namun, pada radius 30 m, nilai *safety factor* berada di bawah batas minimum 1,15, sehingga operasi dinyatakan tidak aman dan tidak layak dilaksanakan. Kondisi ini konsisten dengan utilisasi yang mencapai 114,72%, menandakan kapasitas crane telah terlampaui.

Aktivitas *Pile to Launch (Pile Gripper)* menunjukkan tren serupa. *Safety factor* sebesar 2,49 pada radius 10 m masih sangat aman, sedangkan pada radius 20 m turun menjadi 1,23 dan mulai mendekati batas minimum standar. Pada radius 30 m, nilai *safety factor* hanya 0,70, jauh di bawah ketentuan DNV, sehingga skenario ini harus dieliminasi dari lifting plan. Utilisasi sebesar 142,98% semakin menegaskan bahwa konfigurasi tersebut mengalami *overload*.

Sebaliknya, aktivitas *Lifting Vibro Hammer* memberikan performa keselamatan terbaik. Safety factor masing-masing sebesar 6,55, 3,23, dan 1,84 pada radius 10 m, 20 m, dan 30 m. Seluruh nilai tersebut berada di atas batas minimum DNV maupun rekomendasi engineering sebesar 1,50. Hal ini menunjukkan bahwa *Vibro Hammer* dapat diangkat dengan aman pada seluruh variasi radius yang dianalisis.

Untuk aktivitas *Lifting Impact Hammer*, nilai *safety factor* berturut-turut adalah 4,29, 2,12, dan 1,20. Radius 10 m dan 20 m sangat aman, sedangkan radius 30 m masih memenuhi batas minimum DNV, meskipun berada dalam zona kritis. Oleh karena itu, pengangkatan pada radius 30 m tetap memungkinkan, namun harus dilakukan dengan pembatasan operasional yang ketat, terutama pada kondisi cuaca dan gerakan vessel.



Gambar 2. Grafik Hasil *Safety factor Lifting Plan* VS Standar DNV

Grafik diatas menunjukkan bahwa nilai *safety factor* sangat dipengaruhi oleh perubahan radius crane. Secara umum, semakin besar radius operasi, semakin kecil margin keselamatan yang tersedia. Mayoritas aktivitas pengangkatan masih memenuhi persyaratan minimum standar *offshore* sebesar 1,50 sesuai rekomendasi DNV, terutama pada radius kerja rendah hingga menengah.

Namun, pada radius terbesar, beberapa aktivitas mengalami penurunan *safety factor* hingga berada di bawah batas aman, sehingga tidak direkomendasikan untuk dilaksanakan tanpa penyesuaian metode atau konfigurasi lifting. Sebaliknya, pengangkatan peralatan dengan berat relatif lebih kecil tetap mempertahankan tingkat keselamatan yang memadai pada seluruh variasi radius.

Kondisi kritis terjadi ketika nilai *safety factor* berada pada rentang 1,15–1,50. Pada zona ini, kapasitas cadangan crane semakin terbatas sehingga sensitivitas terhadap perubahan beban dinamis meningkat secara signifikan. Menurut

DNV-ST-N001, operasi dalam rentang ini masih diperbolehkan, namun memerlukan pembatasan operasional berupa pengendalian cuaca, pembatasan gerakan barge, dan pengawasan ketat oleh *lifting supervisor*. Kondisi ini terutama terlihat pada aktivitas *Pile to Launch* radius 20 m dan *Impact Hammer* radius 30 m.

Temuan ini konsisten dengan penelitian Hu et al. (2021) yang menyatakan bahwa peningkatan working radius merupakan faktor dominan dalam menurunkan *lifting safety margin* pada operasi *crane offshore*. Selain itu, Guo et al. (2021) menegaskan bahwa integrasi antara *load chart*, *dynamic load*, dan radius kerja merupakan parameter utama dalam optimasi *lifting plan*.

Secara keseluruhan, hasil tabel menunjukkan bahwa peningkatan crane radius secara langsung menurunkan *safety factor* dan meningkatkan tingkat utilisasi. Dua skenario, yaitu Service Barge to Working Barge pada radius 30 m serta Pile to Launch pada radius 30 m, tidak memenuhi persyaratan minimum standar offshore. Sementara itu, seluruh skenario Vibro Hammer dan

sebagian besar skenario Impact Hammer masih berada dalam batas aman.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis *lifting plan calculation* pada pekerjaan pemancangan laut konstruksi *breakwater* Proyek Terminal LPG Refrigerated Jawa Timur Tahap 2, dapat disimpulkan bahwa variasi crane radius memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap *crane utilization* dan *safety factor* pada seluruh aktivitas pengangkatan. Semakin besar radius kerja crane, semakin rendah kapasitas angkat efektif yang tersedia, sehingga nilai *safety factor* menurun secara progresif dan tingkat utilisasi meningkat secara langsung. Kondisi ini sesuai dengan karakteristik *load chart crawler crane* pada operasi *offshore*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa radius 20 meter merupakan batas operasional optimum untuk mayoritas aktivitas *lifting*. Pada radius ini, sebagian besar skenario masih memenuhi rekomendasi *engineering* dengan *safety factor* di atas 1,50 atau minimal memenuhi batas standar *offshore* sebesar 1,15 sesuai ketentuan DNV ST-N001 dan *International Organization for Standardization*. Radius tersebut memberikan keseimbangan terbaik antara fleksibilitas operasi, kapasitas crane, dan margin keselamatan.

Dua skenario dinyatakan tidak aman dan tidak layak untuk dioperasikan, yaitu aktivitas *Service Barge to Working Barge* pada radius 30 meter dengan *safety factor* 0,87, serta aktivitas *Pile to Launch* pada radius 30 meter dengan *safety factor* 0,70. Kedua kondisi tersebut menunjukkan *crane utilization* melebihi 100%, sehingga kapasitas crane telah terlampaui dan berpotensi menimbulkan *lifting failure*.

Aktivitas *lifting vibro hammer* menunjukkan performa keselamatan terbaik dengan *safety factor* berkisar antara 1,84 hingga 6,55 pada seluruh variasi radius. Seluruh skenario ini memenuhi standar *offshore* dan memiliki margin keselamatan yang sangat tinggi. Sementara itu, aktivitas *lifting impact hammer* masih aman hingga radius 30 meter, meskipun pada radius tersebut *safety factor* sebesar 1,20 menempatkannya dalam kategori kritis dan memerlukan pengendalian operasional tambahan.

Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa integrasi antara *Dynamic Amplification Factor*, *crane load chart*, *crane utilization*, dan *safety factor* merupakan pendekatan yang efektif dalam mengevaluasi kelayakan *lifting offshore*. Kontribusi utama penelitian ini adalah identifikasi radius operasional optimum serta batas kritis setiap aktivitas *lifting*, sehingga dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan teknis dalam perencanaan *lifting plan* pada proyek *offshore* sejenis.

Secara praktis, *crane utilization* direkomendasikan dijaga di bawah 80% untuk mempertahankan *safety factor* di atas 1,50. Untuk operasi dengan *safety factor* pada rentang 1,15–1,50, diperlukan mitigasi tambahan berupa pembatasan kondisi cuaca, monitoring gerakan *barge* secara *real-time*, serta pengawasan ketat oleh *lifting supervisor*. Temuan ini diharapkan dapat meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan keandalan operasi *lifting* pada konstruksi *offshore* di masa mendatang.

5. DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Mechanical Engineers. (2018). *ASME B30: Cranes and Rigging Safety Standard*. ASME.
- Bagheri, S. M., Taghaddos, H., & Hermann, U. (2024). Automated safety and practicality enhancement of lift plans in modular construction. *Automation in Construction*, *168*, 105731. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105731>
- Cai, B., Ye, Z., Chen, S., & Liang, X. (2024). Reducing Safety Risks in Construction Tower Crane Operations: A Dynamic Path Planning Model. *Applied Sciences*, *14*(22), 10599. <https://doi.org/10.3390/app142210599>
- Chakrabarti, S. (2005). *Handbook of Offshore Engineering*. Elsevier.
- DNV AS. (2021). *DNV-ST-N001: Marine operations and design of marine structures*.
- Guo, H., Zhou, Y., Pan, Z., & Lin, X. (2021). Automated lift planning methods for mobile cranes. *Automation in Construction*, *132*, 103982. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103982>
- Hu, S., Fang, Y., & Bai, Y. (2021). Automation and optimization in crane lift planning: A critical review. *Advanced Engineering Informatics*, *49*, 101346. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101346>
- Hu, S., Fang, Y., & Guo, H. (2021). A practicality and safety-oriented approach for path planning

- in crane lifts. *Automation in Construction*, 127, 103695.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103695>
- ISO 19901-6. (2009). *ISO 19901-6:2009 Petroleum and natural gas industries — Specific requirements for offshore structures — Part 6: Marine operations PY - 2009*.
- Peurifoy, R. L., & Schexnayder, C. J. (2010). *Construction Equipment and Methods*.
- Sumitomo. (2004). *SCX6500 Specification*. www.sumitomocrane.com
- WIKI. (2022). *LPG Tuban Project Detail*. Wika.Co.Id.
- Wu, D., Lin, Y., Wang, X., Wang, X., & Gao, S. (2011). Algorithm of Crane Selection for Heavy Lifts. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 25(1), 57–65.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000065](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000065)
- Zhu, A., Zhang, Z., & Pan, W. (2022). Crane-lift path planning for high-rise modular integrated construction through metaheuristic optimization and virtual prototyping. *Automation in Construction*, 141, 104434.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104434>
- Zhu, A., Zhang, Z., & Pan, W. (2023). Technologies, levels and directions of crane-lift automation in construction. *Automation in Construction*, 153, 104960.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104960>