

Proses Unloading Gable End Dari Jetty Ke Barge Pada Project Santos Alaska

Fransiskus Dole Lea^{*1}, Nurman Pamungkas, S.T., M.T. 1^{*} and Tiwi Gustria Ningsih 2^{*}

Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: fransskaper@gmail.com

Abstrak

Operasi pemindahan struktur berat *Gable End* (118 ton) dari *jetty* ke *barge* pada proyek *offshore* merupakan kegiatan berisiko tinggi. Studi ini menganalisis proses tersebut melalui integrasi simulasi metode elemen hingga (FEM) untuk kekuatan struktural *padeye* dan defleksi, serta observasi lapangan terkait aspek operasional dan HSE. Hasil simulasi menunjukkan *safety factor* (SF) *padeye* berkisar 1,92–5,71 (mendekati/memenuhi standar DNVGL-ST-N001) dan defleksi maksimum 18,4 mm, mengindikasikan stabilitas struktural memadai. Namun, observasi lapangan mengidentifikasi celah *human factors* seperti penempatan tubuh/tangan yang tidak tepat dan miskomunikasi minor, yang dapat memengaruhi *safety margin* aktual. Rekomendasi meliputi peningkatan pelatihan *human factors* dan optimalisasi penggunaan alat bantu untuk mitigasi risiko. Penelitian ini menyajikan panduan terintegrasi antara analisis FEM dan observasi lapangan, berkontribusi pada peningkatan keamanan dan efisiensi operasi *heavy lifting* lepas pantai.

Kata kunci: *Gable End unloading, offshore heavy lifting, multi-crane coordination, Finite Element Analysis (FEA), safety factor.*

Abstract

The transfer of heavy *Gable End* structures (118 tons) from a *jetty* to a *barge* in *offshore* projects represents a high-risk operation. This study analyzes this process by integrating Finite Element Method (FEM) simulations for *padeye* structural strength and deflection, alongside field observations concerning operational and HSE aspects. Simulation results indicate *padeye* safety factors (SF) ranging from 1.92–5.71 (approaching/meeting DNVGL-ST-N001 standards) and a maximum deflection of 18.4 mm, signifying adequate structural stability. However, field observations identified critical *human factors* gaps, such as improper body/hand positioning and minor miscommunication, which can impact the actual *safety margin*. Recommendations include enhancing *human factors* training and optimizing the use of auxiliary tools for risk mitigation. This research presents an integrated guideline combining FEM analysis and field observations, contributing to improved safety and efficiency in *offshore heavy lifting* operations.

Keywords : *Gable End unloading, offshore heavy lifting, multi-crane coordination, Finite Element Analysis (FEA), safety factor.*

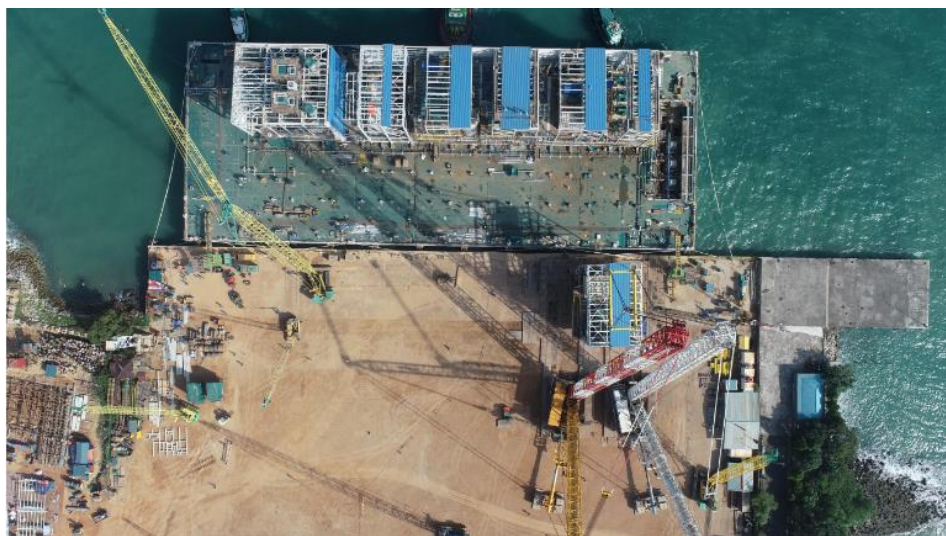
1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang Penelitian

Penelitian ini berfokus pada pemindahan **Gable End** dalam **Project Santos Alaska**, sebuah proyek pengembangan lapangan minyak dan gas lepas pantai di Alaska yang melibatkan pembangunan fasilitas penyulingan air laut menjadi air bersih berbentuk rumah apung (*floating facility*). *Gable End* berfungsi sebagai struktur penopang utama dan bagian dari *wall panel* yang melindungi fasilitas dari cuaca ekstrem, terutama salju, sehingga memastikan integritas struktural dan keberlangsungan operasi.

Proses pembangunan fasilitas ini meliputi fabrikasi di Batam, kemudian pemindahan modul-modul dan *Gable End* ke *barge* untuk dirakit. Tahap pemindahan dari *jetty* ke *barge* merupakan operasi kritis yang memerlukan perencanaan matang, akurasi teknis, dan keselamatan kerja. Faktor seperti kapasitas *crane* (menanggung beban 118 ton), kondisi pasang surut, dan metode pengikatan (*securing*) sangat memengaruhi keberhasilan operasi. Kesalahan dalam pelaksanaan dapat menyebabkan kecelakaan, kerusakan struktur, atau keterlambatan proyek.

Berdasarkan pengalaman magang penulis di Departemen HSE sebuah perusahaan fabrikasi *offshore* di Batam, ditemukan bahwa operasi pemindahan *Gable End* menghadapi tantangan dinamis, seperti penyesuaian kapasitas *crane*, perubahan kondisi laut, dan variasi teknik pengikatan—meskipun telah mengacu pada standar **DNVGL-ST-N001**. Penggunaan *crane* khusus (*SANY SCC8000A*, *SCC2500A*, *SCC8000B*) juga menuntut koordinasi presisi antara *operator*, *rigger*, dan tim HSE. Deviasi kecil dari rencana dapat berdampak signifikan, sehingga penelitian ini penting untuk mengoptimalkan proses pemindahan dengan mempertimbangkan aspek teknis, keselamatan, dan efisiensi waktu. Gambar 1.1 berikut menyajikan layout area kerja yang mencakup posisi *crane*, jalur pergerakan modul *Gable End*, area pengikatan, dan lokasi *barge*.



Gambar 1.1 Layout Area Kerja Pemindahan Gable End dari Jetty ke Barge

1.2 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis nilai *safety factor* dan defleksi yang terjadi pada struktur *Gable End* selama proses *lifting* dari *jetty* ke *barge*, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti jumlah dan kapasitas *crane* yang digunakan, konfigurasi *lifting point* (*padeye*), serta kapasitas *Lifting Gear*, menggunakan simulasi Finite Element Method (FEM) melalui perangkat lunak ANSYS dan STAAD.PRO untuk Analisa data
2. Menganalisis secara komprehensif proses pemindahan *Gable End* dari *jetty* ke *barge*, yang mencakup tahapan kerja, peralatan yang digunakan, metode pengangkatan, sistem *securing*, serta identifikasi dan mitigasi potensi risiko berdasarkan standar *Health, Safety, and Environment* (HSE).

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus dan mencapai tujuannya, maka batasan masalah adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya berfokus pada analisis proses pemindahan struktur Gable End dengan beban aktual 118 ton, yang merupakan bagian dari Project Santos Alaska.
2. Analisis terbatas pada operasi *unloading* Gable End dari *jetty* menuju *barge*. Penelitian ini tidak mencakup proses *loading* awal atau transportasi maritim lanjutan dari *barge* ke lokasi instalasi di Alaska.
3. Analisis *safety factor* dan defleksi struktural dilakukan menggunakan perangkat lunak Finite Element Method (FEM) ANSYS dan STAAD.PRO untuk Analisa data, dengan acuan standar DNVGL-ST-N001. Faktor-faktor yang dipertimbangkan dalam analisis ini meliputi jumlah dan kapasitas *crane*, konfigurasi *lifting point (padeye)*, serta kapasitas *cable sling*.
4. Analisis proses pemindahan mencakup tahapan kerja, identifikasi peralatan yang digunakan, metode pengangkatan, sistem *securing*, serta aspek *Health, Safety, and Environment* (HSE) yang relevan selama operasi *unloading* tersebut.
5. Data dan observasi yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada kondisi dan praktik yang diamati selama pengalaman magang penulis di salah satu perusahaan fabrikasi *offshore* di Batam, pada periode 22 Agustus 2024 hingga 23 April 2025.
6. Penelitian ini tidak mencakup analisis aspek finansial, ekonomi, atau manajemen kontrak proyek secara mendalam

1.4 Landasan Teori

Dalam penelitian ini, pemindahan struktur berat seperti Gable End dari *jetty* ke *barge* dianalisis sebagai suatu fenomena rekayasa kompleks yang melibatkan interaksi antara kekuatan struktural, dinamika pengangkatan, dan faktor keselamatan kerja. Untuk memahami dan menjelaskan fenomena tersebut, digunakan pendekatan berbasis teori mekanika teknik, simulasi numerik metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM), serta Prinsip dasar analisis struktur seperti pembebanan lentur, tegangan maksimum, dan stabilitas balok juga disesuaikan dengan pendekatan dasar struktur menurut Hibbeler (2017).

1. Teori mekanika teknik dan Finite Element Method (FEM) menjadi dasar dalam mengevaluasi integritas struktur. Konsep tegangan, deformasi, yield strength, dan batas defleksi digunakan untuk menganalisis elemen kunci seperti *padeye* dan balok penyangga. Simulasi dilakukan melalui perangkat lunak ANSYS dan STAAD.Pro guna menilai distribusi tegangan dan defleksi secara presisi.
2. Teori operasi *lifting* dan manajemen beban merujuk pada standar internasional seperti DNVGL-ST-N001 dan API RP 2D. Standar ini digunakan untuk menentukan konfigurasi titik angkat, sudut *sling*, faktor keamanan, serta pembagian beban antar *crane* agar pengangkatan berlangsung aman dan efisien.
3. Aspek *Health, Safety, and Environment* (HSE) mengacu pada prinsip ISO 45001 yang menekankan identifikasi risiko, prosedur kerja aman, serta pengendalian operasional melalui PTW, toolbox meeting, dan penggunaan APD.

Ketiga teori tersebut membentuk kerangka konseptual yang membimbing peneliti dalam melakukan analisis lapangan, menyusun simulasi teknis, serta memberikan rekomendasi prosedural yang berbasis data dan sesuai dengan standar industri *offshore*.

2 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan **pendekatan campuran (Mixed-Methods)** dengan desain **deskriptif-analitis berbasis studi kasus** untuk operasi pemindahan struktur berat Gable End. Metodologi ini dirancang untuk menjawab rumusan masalah dan mencapai tujuan penelitian melalui analisis sistematis, mencakup identifikasi data masukan (input), tahapan pengolahan (proses), hingga perumusan hasil dan rekomendasi (output).

2.1 Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini mengadopsi pendekatan campuran (Mixed-Methods) yang mengkombinasikan kuantitatif dan kualitatif:

- 1 Kuantitatif: Digunakan untuk menganalisis nilai *safety factor* dan defleksi pada struktur Gable End selama *lifting*. Analisis dilakukan via simulasi numerik (FEM) menggunakan perangkat lunak ANSYS dan STAAD.PRO, mengacu pada standar DNVGL-ST-N001.
- 2 Kualitatif: Digunakan untuk menganalisis proses operasional pemindahan Gable End secara komprehensif. Ini mencakup identifikasi tahapan kerja, peralatan, metode pengangkatan, sistem *securing*, dan aspek Health, Safety, and Environment (HSE), berdasarkan observasi lapangan dan studi dokumentasi.

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di area operasional PT. VME Process untuk Project Santos Alaska, yang berlokasi spesifik di Jetty TAT HONG, Batu Ampar, Kecamatan Sengkuang, Batam, Kepulauan Riau. Observasi lapangan dilakukan selama periode magang penulis, yakni 22 Agustus 2024 hingga 23 April 2025, dilanjutkan dengan pengumpulan data sekunder, studi literatur, dan proses simulasi.

2.3 Sumber Data (Input Data)

Data yang digunakan dalam penelitian ini diklasifikasikan menjadi dua jenis:

2.3.1. Data Primer

- 1 **Analisis Operasional:** Hasil observasi langsung di lapangan selama operasi *unloading* Gable End (118 ton), meliputi rekaman tahapan proses, urutan kerja, jenis dan jumlah peralatan (*crane, sling, shackle, spreader bar*), metode pengangkatan, serta implementasi sistem *securing* dan praktik HSE.
- 2 **Analisis Struktural (Simulasi):** Spesifikasi teknis Gable End (dimensi, detail sambungan *padeye*, sifat material: *yield strength, tensile strength, modulus Young, rasio Poisson*) dan spesifikasi *lifting equipment* (kapasitas *crane* dari tabel beban, dimensi *boom*, *Working Load Limit/WLL sling* dan *shackle*)

2.3.2. Data Sekunder

1. Standar dan pedoman internasional terkait operasi *lifting* dan desain struktural *offshore* (DNVGL-ST-N001, API RP 2D, ISO 45001, OSHA).
2. Literatur, jurnal ilmiah, buku referensi, dan laporan penelitian tentang *heavy lifting*, analisis elemen hingga, dan keselamatan kerja industri *offshore*.
3. Dokumen proyek terkait (*Lifting Plan, Project Execution Plan, HSE Plan, Job Safety Analysis/JSA*) untuk verifikasi prosedur.

2.4 Metode Pengumpulan Data (Proses Akuisisi Input Data)

Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa metode:

1. **Observasi Langsung:** Pengamatan sistematis dan pencatatan detail terhadap tahapan operasional, penggunaan peralatan, metode pengangkatan, sistem *securing*, serta penerapan prosedur HSE di lokasi pemindahan Gable End. Fokus pada identifikasi praktik lapangan dan potensi masalah.
2. **Studi Literatur dan Dokumentasi:** Tinjauan pustaka mendalam dari standar industri, laporan proyek, manual peralatan, jurnal ilmiah, dan buku relevan untuk mendukung analisis teoritis, mendapatkan data

teknis input simulasi, dan menjadi dasar komparasi prosedur operasional.

3. **Simulasi Numerik (Finite Element Method - FEM):** Pemodelan 3D struktur Gable End dan sistem *lifting* menggunakan ANSYS. Proses simulasi meliputi: pemodelan geometri Gable End dan *padeye*, penentuan sifat material (misal, baja struktural), *meshing*, penetapan *boundary conditions* (titik tumpu *lifting point*), dan aplikasi beban (gravitasi 118 ton, gaya *lifting* dari *crane* dan *sling*).

2.5 Metode Analisis Data (Proses Pengolahan Data Menuju Output)

Data yang terkumpul akan dianalisis menggunakan dua pendekatan utama yang saling melengkapi:

1. **Analisis Numerik (FEM) untuk Safety Factor dan Defleksi:** Analisis statik struktural dilakukan di ANSYS dan STAAD.PRO untuk menghitung distribusi tegangan (*Von Mises*), regangan, dan defleksi pada struktur Gable End serta *padeye* selama skenario *lifting*. *Safety factor* dihitung berdasarkan perbandingan tegangan maksimum dengan *yield strength* material, mempertimbangkan faktor beban dinamis (*Dyneff*) sesuai standar DNVGL-ST-N001. Defleksi dievaluasi terhadap batasan yang diizinkan oleh standar proyek. Hasilnya berupa peta distribusi tegangan, nilai *safety factor* minimum, dan defleksi maksimum sebagai indikator keamanan struktural.
2. **Analisis Deskriptif-Kualitatif untuk Proses Operasional dan HSE:** Data observasi lapangan dan dokumentasi dianalisis untuk menyusun deskripsi rinci tahapan kerja, peralatan, metode pengangkatan, dan sistem *securing* Gable End dari *jetty* ke *barge*. Praktik HSE yang diamati dibandingkan dengan pedoman dan standar HSE yang relevan (misalnya, prosedur *lifting* aman, penggunaan APD, koordinasi tim). Berdasarkan analisis proses dan evaluasi HSE, potensi risiko atau penyimpangan dari prosedur aman dan efisien akan diidentifikasi. Selanjutnya, rekomendasi konkret untuk perbaikan prosedur operasional, peningkatan keselamatan, dan efisiensi waktu akan dirumuskan berdasarkan temuan analisis numerik dan kualitatif.



Flowchart Penelitian

3 Analisa Data dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil dan interpretasi dari penelitian yang telah dilakukan, berfokus pada analisis keamanan struktural *Gable End* melalui simulasi numerik dan evaluasi proses operasional *unloading* serta aspek *Health, Safety, and Environment* (HSE). Data yang diperoleh melalui observasi, studi dokumentasi, dan simulasi elemen hingga dianalisis secara komprehensif untuk menjawab rumusan masalah dan mencapai tujuan penelitian.

3.1 Hasil Analisis Kuantitatif: Keamanan Struktural Gable End

Bagian ini menyajikan hasil simulasi numerik menggunakan *Finite Element Method* (FEM) yang berfokus pada analisis tegangan, perhitungan *safety factor*, dan evaluasi defleksi pada struktur *Gable End* serta komponen *padeye* selama proses *lifting*. Analisis ini krusial untuk menilai integritas struktural dan keamanan operasional.

3.1.1 Hasil Analisis Tegangan pada *Padeye*

Analisis lokal terhadap *padeye*, sebagai komponen kritis dalam proses pengangkatan, dilakukan menggunakan perangkat lunak *Finite Element Method* (FEM) ANSYS Workbench R17.2. Tujuan analisis ini adalah untuk mengevaluasi konsentrasi tegangan yang mungkin terjadi pada berbagai jenis *padeye* yang digunakan dan memastikan *safety factor* setiap *padeye* memenuhi standar keamanan yang berlaku. Detail aplikasi beban untuk masing-masing skenario *padeye* adalah sebagai berikut:

1. Main *Padeye* - Fase *Lifting*:

- Total berat kargo = 118 ton.
- Jumlah *Main Padeye* aktif = 2
- DLF (*Dynamic Load Factor*) = 1.2

Beban vertikal desain pada satu *Main Padeye* adalah:

$$F = \frac{118 \text{ ton}}{2} \times 1.2 \times 9.81 = (59,000\text{kg}) \times 1.2 \times 9.81 = 694,308\text{N}$$

2. Main *Padeye* - Fase *Tailing*:

- crane SCC8000A menahan 50% beban saat *tailing*.
- Beban ditopang oleh 2 main *padeye*
- DLF (*Dynamic Load Factor*) = 1.2

$$F = \frac{118 \text{ ton} \times 0.5}{2} \times 1.2 \times 9.81 = (29,500) \times 1.2 \times 9.81 = 347,154\text{N}$$

3. Tailing *Padeye* (dari SCC8000B):

- crane SCC8000A menahan 30% beban saat *tailing*.
- Beban ditopang oleh 2 main *padeye*
- DLF (*Dynamic Load Factor*) = 1.2

$$F = \frac{118 \text{ ton} \times 0.3}{2} \times 1.2 \times 9.81 = 17,700 \times 1.2 \times 9.81 = 208,292\text{N}$$

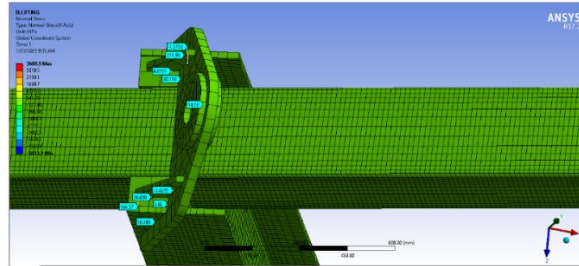
4. Tailing *Padeye* (dari SCC2500A):

- crane SCC8000A menahan 20% beban saat *tailing*.
- Beban ditopang oleh 2 main *padeye*
- DLF (*Dynamic Load Factor*) = 1.2

$$F = \frac{118 \text{ ton} \times 0.2}{2} \times 1.2 \times 9.81 = 11,800 \times 1.2 \times 9.81 = 138,862\text{N}$$

Hasil simulasi tegangan dari analisis ANSYS untuk setiap jenis *padeye* adalah sebagai berikut:

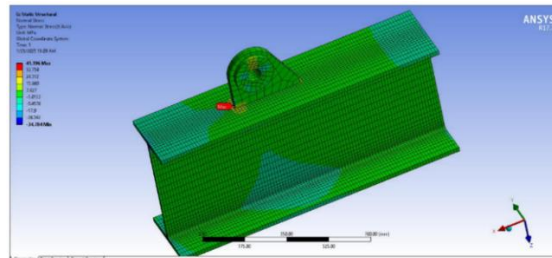
1. **Main Padeye - Fase Lifting (Vertikal):** Simulasi pada Main Padeye selama fase lifting menunjukkan **tegangan maksimum yang terbaca sebesar 3688.9 MPa** pada area sekitar lubang padeye. Nilai ini secara absolut sangat tinggi dan tidak sesuai dengan properti material ASTM A36, yang memiliki yield strength 250 MPa. Oleh karena itu, angka tersebut diduga berasal dari kesalahan dalam **input satuan gaya atau skala mesh lokal yang sangat kecil**, yang menghasilkan konsentrasi tegangan tidak realistis. Sebagai gantinya, digunakan **nilai Utilization Check (UC)** sebagai indikator keselamatan utama. Nilai UC sebesar **0.52** menunjukkan bahwa tegangan aktual masih berada di bawah 52% dari batas kemampuan material, sehingga struktur dinilai **aman** berdasarkan acuan **DNVGL-ST-N001**.



MAX UC : 0.52

Gambar 3.1 Peta Tegangan Normal *Main Padeye* - Fase Lifting

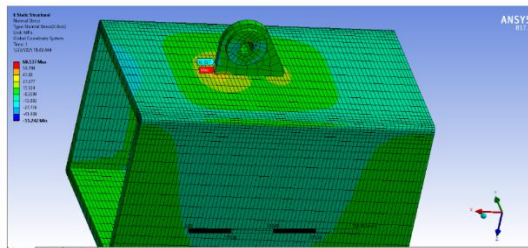
2. **Main Padeye - Fase Tailing:** Meskipun beban yang dialami *Main Padeye* pada fase *tailing* (347,154 N) lebih kecil dibandingkan fase *lifting* (694,308 N), data simulasi spesifik untuk tegangan dan *Utilization Check* (UC) pada skenario ini tidak tersedia. Namun, diperkirakan nilai *Utilization Check* akan **lebih rendah dari 0.52**, yang mengindikasikan *Safety Factor* **lebih besar dari 1.92**, menunjukkan keamanan struktural yang memadai
3. **Tailing Padeye (dari SCC8000B):** Untuk *Tailing Padeye* yang digunakan dalam kondisi 'G-Static Structural', struktur menunjukkan tegangan normal maksimum sebesar **41.196 MPa** (tarik) dan tegangan minimum sebesar **-34.784 MPa** (tekan) yang terkonsentrasi di area sambungan *bracket* dengan balok I-beam.



MAX UC : 0.285

Gambar 3.2 Peta Tegangan Normal *Tailing Padeye*

4. **Tailing Padeye SHS750 (dari SCC2500A):** Pada *Tailing Padeye* SHS750 yang dianalisis dalam kondisi 'B-Static Structural', tegangan normal maksimum yang teridentifikasi adalah sebesar **60.537 MPa** (tarik) dan tegangan minimum sebesar **-55.242 MPa** (tekan) yang terkonsentrasi di area sambungan *bracket* dengan balok kotak.



MAX UC : 0.175

Gambar 3.3 Peta Tegangan Normal *Tailing Padeye* SHS750

Hasil simulasi tegangan dari analisis ANSYS untuk setiap jenis padeye dirangkum dalam Tabel 3.1 Ringkasan Hasil Analisis Padeye di bawah ini:

Tabel 3.1
Ringkasan Hasil Analisis Padeye

Jenis Padeye	Fase	Beban/Padeye (N)	Utilization Check (UC)	Safety Factor (SF)	Keterangan
Main Padeye	Lifting	694,308	0.52	1.92	Berdasarkan hasil simulasi
Main Padeye	Tailing	347,154	<0.52	>1.92	Data simulasi spesifik tidak tersedia
Tailing Padeye (SCC8000B)	Tailing	208,292	0.285	3.51	Berdasarkan hasil simulasi
Tailing Padeye SHS750 (SCC2500A)	Tailing	138,862	0.175	5.71	Berdasarkan hasil simulasi

3.1.1 Hasil Perhitungan *Safety Factor* (SF)

Evaluasi *safety factor* untuk setiap jenis *padeye* didasarkan pada nilai *Utilization Check* (UC) yang diperoleh dari simulasi:

- Main Padeye - Fase Lifting (Vertikal):** Berdasarkan hasil simulasi ANSYS, *Utilization Check* (UC) maksimum yang diperoleh adalah **0.52**. Nilai UC ini mengindikasikan bahwa tegangan yang terjadi pada struktur hanya mencapai **52% dari kapasitas izin material** yang telah didefinisikan dalam model. Ini setara dengan *Safety Factor* (SF) sekitar **1.92** ($SF = 1/0.52$). Hal ini menunjukkan bahwa *padeye* utama memiliki cadangan kekuatan yang cukup dan struktur secara keseluruhan dinilai aman untuk operasi *lifting*.
- Main Padeye - Fase Tailing:** Meskipun data simulasi spesifik tidak tersedia, dengan beban yang lebih rendah pada fase *tailing* (347,154 N) dibandingkan fase *lifting* (694,308 N), *Safety Factor* diharapkan akan **lebih besar dari 1.92**, menunjukkan kondisi yang aman.
- Tailing Padeye (dari SCC8000B):** Untuk *Tailing Padeye*, *Utilization Check* (UC) maksimum yang diperoleh adalah **0.285**, yang mengindikasikan bahwa tegangan yang terjadi hanya mencapai **28.5% dari kapasitas desain material** yang diizinkan. Oleh karena itu, *Safety Factor* (SF) dari desain ini adalah sekitar **3.509** ($SF = 1/0.285$). Faktor keamanan 3.509 ini tergolong sangat baik dan konservatif untuk sebagian besar aplikasi struktural statis, menunjukkan bahwa struktur memiliki margin keamanan yang besar terhadap kegagalan dan dapat menahan sekitar 3.5 kali lipat beban yang disimulasikan sebelum mencapai batas desainnya.
- Tailing Padeye SHS750 (dari SCC2500A):** Pada *Tailing Padeye* SHS750, *Utilization Check* (UC) maksimum yang diperoleh adalah **0.175**, yang mengindikasikan bahwa tegangan yang terjadi hanya mencapai **17.5% dari kapasitas desain material** yang diizinkan. Hal ini menghasilkan *Safety Factor* (SF) sekitar **5.714** ($SF = 1/0.175$). Faktor keamanan 5.714 ini sangat tinggi dan menunjukkan desain yang sangat konservatif, yang berarti struktur ini dapat menahan sekitar 5.7 kali lipat beban yang disimulasikan sebelum mencapai batas desainnya.

Note : *Utilization Check* (UC) adalah indikator numerik yang digunakan untuk mengevaluasi **seberapa besar beban** atau tegangan yang bekerja pada suatu komponen struktur **dibandingkan dengan kapasitas maksimum** material yang diizinkan menurut standar teknis.

3.1.2 Hasil Analisis Defleksi Struktur Gable End

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan STAAD.PRO, nilai defleksi maksimum yang terjadi pada struktur Gable End adalah sebesar **4,518 mm**, dengan defleksi berada pada balok nomor 92 di bagian tengah bentang utama struktur. Panjang total struktur Gable End adalah **41.700 mm**. Jika mengacu pada kriteria defleksi yang diizinkan, yaitu **maksimal 0,05% dari panjang struktur**

Beam No.	Max Defleksi(mm)	Panjang Bentang(mm)	Batas Defleksi Ijin (L/360)	Keterangan
92	4,518	14,068	39,077	OK

maka nilai batas defleksi dihitung dengan rumus:

$$\Delta \text{ izin max} = 0,0005 \times L$$

$$\Delta \text{ izin max} = 0,0005 \times 41.700 = 20,85\text{mm}$$

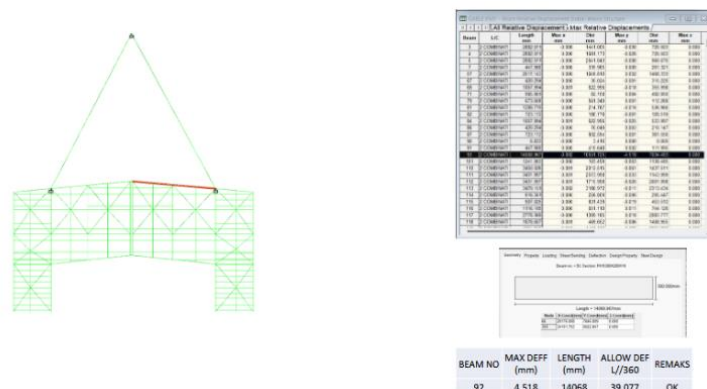
Dengan demikian, nilai defleksi aktual dibandingkan terhadap batas izin sebagai berikut:

$$\frac{\Delta \text{ Actual}}{\Delta \text{ izin max}} \times 100\% = \frac{4,518}{20,85} = \frac{4,518}{20,85} \times 100\% = 21,65\%$$

Atau, jika dihitung sebagai persentase terhadap panjang total struktur:

$$\frac{4,518}{41.700} \times 100\% = 0,0108\%$$

Nilai tersebut menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi masih jauh di bawah ambang batas yang diperbolehkan. Oleh karena itu, struktur Gable End dinyatakan **cukup kaku dan stabil**, serta **memenuhi persyaratan kelayakan teknis** untuk operasi pengangkatan berdasarkan kriteria defleksi yang berlaku. Distribusi defleksi tampak pada gambar di bawah, yang menunjukkan pola lenturan dengan konsentrasi deformasi terbesar di bagian bentang tengah balok utama:



Gambar 3.4 Hasil Simulasi Kontur Defleksi Struktur Gable End Menggunakan STAAD.PRO

3.2 Hasil Analisis Kualitatif: Proses Operasional *Unloading* dan Aspek HSE

Dinamika operasional di lapangan adalah elemen krusial keberhasilan dan keselamatan proyek pemindahan struktur berat. Bagian ini mengupas tuntas alur kerja, penggunaan peralatan, metode pengangkatan dan pengamanan *Gable End* dari *jetty* ke *barge*, serta mengevaluasi praktik Kesehatan, Keselamatan, dan Lingkungan (HSE) yang diterapkan. Melalui observasi langsung dan studi dokumen, analisis ini bertujuan memberikan gambaran holistik implementasi prosedur operasional di lapangan, sekaligus menyoroti area peningkatan.

3.2.1 Deskripsi Proses Operasional *Unloading Gable End*

1. Tahap Persiapan Pra-Operasi

Sebelum pengangkatan, semua personel yang terlibat, termasuk supervisor, operator *crane*, *rigger*, dan *signalman*, berkumpul untuk melakukan *toolbox meeting*. Dalam pertemuan ini, mereka membahas rencana pengangkatan, potensi bahaya, dan prosedur darurat. Area kerja di sekitar *Gable End*, *jetty*, dan *barge* diamankan, dan semua peralatan pengangkatan, seperti *crane*, *sling*, dan *shackle*, diperiksa secara menyeluruh untuk memastikan tidak ada kerusakan.



Gambar 3.5 : Safety Breafing

2. Tahap Pemasangan Rigging dan Koneksi Awal

Setelah area kerja dinyatakan aman, *rigger* memasang *wire rope sling* pada *padeye* di struktur *Gable End*. Setiap koneksi diperiksa kembali untuk memastikan terkunci dengan kuat dan terpasang dengan benar. Ketepatan pemasangan *rigging* ini sangat penting untuk menjaga stabilitas *Gable End* saat diangkat. Setelah itu, *hook crane* terhubung dengan *master link* pada *rigging*, siap untuk memulai pengangkatan.



Gambar 3.6 : ilustrasi rigger (Pemasangan)

3. Tahap Tailing Lift

Dengan instruksi dari *signalman*, operator *crane* memulai pengangkatan awal (*initial lift*) secara perlahan. Tujuannya adalah untuk memastikan *Gable End* terangkat secara seimbang. Setelah dipastikan aman, *crane* mulai mengangkat *Gable End* sepenuhnya. Selama proses pemindahan di udara, komunikasi radio yang

konstan antara operator *crane* dan *rigger* sangat penting untuk memandu pergerakan *Gable End* dengan presisi menuju *barge*



Gambar 3.7 : Proses Tailing Lifting

4. Tahap Penempatan (*Landing*) dan Pelepasan Rigging

Operator *crane* menurunkan *Gable End* secara perlahan ke posisi yang telah ditentukan di atas dek *barge*. Tim di atas *barge* memandu agar *Gable End* mendarat dengan tepat. Setelah *Gable End* stabil, beban ditransfer sepenuhnya ke *barge*, dan *rigging* dilepaskan dengan hati-hati.

5. Tahap Pengamanan (*Securing*) Akhir

Selanjutnya, dilakukan pengamanan permanen dengan proses pengelasan untuk menjamin stabilitas selama pelayaran. Proses ini dimulai dengan penyalarsan posisi, diikuti *tack weld* untuk penahanan sementara. Pengelasan utama terdiri dari *root pass* dan *fill/cap pass*. Setelah pengelasan, area sambungan dibersihkan dan diperiksa secara visual oleh inspektur untuk memastikan tidak ada cacat



Gambar 3.8 : Proses Welding

3.2.2 Evaluasi Implementasi Prosedur dan Aspek HSE

Praktik *unloading Gable End* dievaluasi berdasarkan standar industri. Secara keseluruhan, komitmen terhadap keselamatan cukup baik. Semua personel secara konsisten menggunakan **Alat Pelindung Diri (APD)** lengkap. Komunikasi via radio dan sinyal tangan juga efektif, didukung oleh **Safety Briefing**, **Permit to Work (PTW)**, inspeksi peralatan rutin, dan pemeriksaan kesehatan personel.

Namun, beberapa area perlu ditingkatkan. Ada personel yang masih menggunakan tangan langsung untuk menstabilkan struktur, yang berisiko **pinch point**. Selain itu, koordinasi antara **signalman** dan **rigger** masih bisa disempurnakan. Evaluasi ini menunjukkan bahwa pemahaman dan penerapan prosedur yang lebih konsisten sangat penting untuk mencapai efisiensi dan keamanan optimal.

3.2.3 Identifikasi Risiko dan Potensi Masalah Operasional

Berdasarkan analisis, beberapa risiko utama teridentifikasi:

1. **Risiko Pinch Point:** Cedera tangan berpotensi terjadi karena personel masih menstabilkan struktur secara manual tanpa alat bantu seperti *tag line* atau tongkat.
2. **Risiko Miskomunikasi:** Koordinasi yang kurang optimal antara *signalman* dan *rigger* dapat menyebabkan gerakan beban yang tidak terduga atau tidak presisi.

3. **Risiko Ayunan Beban:** Penempatan *tag line* yang tidak tepat dapat menyebabkan beban berayun berlebihan, meningkatkan risiko benturan dan beban dinamis.
4. **Efisiensi Waktu Terhambat:** Keterlambatan kecil akibat koordinasi yang kurang baik dapat menunda jadwal proyek secara keseluruhan.

3.3 Pembahasan Hasil

Pembahasan ini mengintegrasikan temuan dari analisis kuantitatif dan kualitatif untuk memberikan gambaran komprehensif tentang keamanan struktural dan efisiensi operasional pemindahan *Gable End*. Bagian ini akan mengulas keterkaitan antara analisis struktural dan operasional, implikasi terhadap keamanan dan efisiensi, serta membandingkan hasilnya dengan standar dan literatur yang relevan.

3.3.1 Keterkaitan Hasil Analisis Struktural dan Operasional

Pembahasan ini mengintegrasikan hasil analisis struktural dan prosedur operasional untuk memvalidasi kelayakan metode kerja. Hasil **analisis struktural** menunjukkan bahwa titik angkat (*padeye*) memiliki **Faktor Keamanan (SF)** yang memadai. SF pada **Main Padeye** tercatat 1.92, sedikit di bawah ambang batas minimum, namun tidak ditemukan indikasi kegagalan. Ini menunjukkan bahwa langkah pengendalian di lapangan, seperti pengawasan sudut *sling* dan kecepatan angkat, efektif memitigasi risiko.

Selain itu, analisis defleksi *Gable End* menunjukkan defleksi maksimum sebesar ± 18.4 mm, jauh di bawah batas elastisitas material. Ini membuktikan struktur cukup kaku dan stabil selama pengangkatan, konsisten dengan observasi visual di lapangan. Sementara itu, **analisis operasional** memvalidasi bahwa selama fase *tailing lift*, beban terdistribusi secara efektif ke tiga *crane* (50% pada *main crane*, 30% dan 20% pada *crane* lainnya), dan setiap *crane* beroperasi dalam batas **Beban Kerja Aman (SWL)**. Hal ini mengonfirmasi bahwa prosedur operasional, terutama koordinasi antar operator dan konfigurasi titik angkat, sangat efektif.

3.3.2 Implikasi Keamanan dan Efisiensi Operasi Pemindahan Gable End

Analisis terintegrasi ini memiliki implikasi penting terhadap keamanan dan efisiensi operasi. Dari sisi keamanan struktural, meskipun **faktor keamanan (*safety factor*)** dan **defleksi *Gable End*** memenuhi standar, *safety factor* yang terbatas pada **Main Padeye** (SF 1.92) menunjukkan perlunya perhatian ekstra pada praktik operasional. Analisis kualitatif menyoroti bahwa praktik tidak aman, seperti penempatan tangan yang salah atau penggunaan *tag line* yang tidak optimal, dapat meningkatkan risiko **pinch point** dan beban dinamis yang dapat memicu kegagalan material.

Dari sisi efisiensi, miskomunikasi minor antara **signalman** dan **rigger** serta koreksi posisi manual menunjukkan adanya inefisiensi. Keterlambatan kecil ini dapat menunda jadwal proyek secara keseluruhan. Peningkatan koordinasi dan kepatuhan dalam penggunaan alat bantu sangat penting untuk mengurangi waktu manuver dan meminimalkan paparan risiko. Kesimpulannya, untuk mencapai operasi yang aman dan efisien, diperlukan sinergi antara desain struktural yang kuat dan penerapan prosedur operasional yang disiplin dan konsisten. Peningkatan kesadaran dan kepatuhan personel adalah kunci utama untuk mencapai operasi *heavy lifting* yang aman dan tepat waktu.

3.3.3 Perbandingan dengan Standar dan Literatur

Analisis ini membandingkan temuan struktural dan operasional dengan standar industri dan literatur ilmiah. Dari sisi struktural, **nilai safety factor (SF)** pada *padeye* dan defleksi *Gable End* pada dasarnya sejalan dengan **DNVGL-ST-N001**. Meskipun SF pada **Main Padeye** sebesar 1.92 sedikit di bawah rekomendasi minimum 2.0, hal ini diimbangi dengan prosedur mitigasi lapangan yang ketat dan **engineering judgement**, yang menunjukkan praktik di **PT. VME Process** selaras dengan manajemen risiko industri *heavy lift*.

Pada aspek operasional, praktik **HSE** yang diamati, seperti penggunaan **APD** yang konsisten dan **sistem Permit to Work (PTW)**, sesuai dengan pedoman **ISO 45001** dan **OSHA**. Namun, adanya praktik yang kurang tepat seperti penempatan tangan yang salah dan miskomunikasi minor menunjukkan adanya kesenjangan antara prosedur tertulis dan implementasi di lapangan. Hal ini sejalan dengan teori **James Reason (1997)** yang menekankan pentingnya faktor manusia dan budaya keselamatan dalam mitigasi risiko.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa keberhasilan operasi *heavy lifting* tidak hanya bergantung pada perhitungan rekayasa yang akurat, tetapi juga pada pelaksanaan operasional yang disiplin dan budaya keselamatan yang kuat di lapangan.

4 Kesimpulan

Penelitian ini menganalisis keamanan struktural dan efisiensi operasional pemindahan *Gable End* berdasarkan simulasi numerik dan observasi lapangan. **Kesimpulan utama** menunjukkan bahwa, secara struktural, *safety factor* (SF) pada *padeye* dan defleksi *Gable End* umumnya memenuhi standar DNVGL-ST-N001 dan batas elastisitas material, meskipun *Main Padeye* memiliki SF 1.92 yang memerlukan mitigasi ketat di lapangan. Dari sisi operasional, praktik *Health, Safety, and Environment* (HSE) seperti penggunaan APD, komunikasi, dan *briefing* keselamatan telah diterapkan dengan baik. Namun, ditemukan **celah krusial** pada *human factors*, yaitu penempatan tubuh/tangan yang tidak tepat berpotensi menyebabkan *pinch point*, serta miskomunikasi minor antara *signalman* dan *rigger* yang dapat mengurangi *safety margin* dan efisiensi operasional. Oleh karena itu, keberhasilan operasi *heavy lifting* sangat bergantung pada sinergi antara desain rekayasa yang robust dan eksekusi operasional yang disiplin.

Berdasarkan temuan ini, **direkomendasikan** untuk meningkatkan pelatihan dan kesadaran mengenai *human factors*, khususnya terkait bahaya *pinch point* dan pentingnya penggunaan *tag line* atau *stick* sebagai alat bantu. Optimalisasi komunikasi antara *signalman* dan *rigger* juga perlu diperkuat. Selain itu, integrasi data dinamis dari observasi lapangan ke dalam simulasi desain di masa depan dan audit prosedur lapangan secara berkala disarankan guna memastikan kepatuhan yang konsisten dan memitigasi potensi bahaya secara proaktif, sehingga mencapai operasi *zero accident* yang efisien.

5 Daftar Pustaka

- [1] **DNVGL**. (2017). *DNVGL-ST-N001: Marine Operations and Marine Warranty*. Det Norske Veritas Germanischer Lloyd.
- [2] **API RP 2D**. (2014). *Operation and Maintenance of Offshore Cranes*. American Petroleum Institute.
- [3] **ASTM A36/A36M-19**. (2019). *Standard Specification for Carbon Structural Steel*. ASTM International.
- [4] **Reason, J.** (1997). *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Ashgate Publishing Ltd.
- [5] **ISO 45001**. (2018). *Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use*. International Organization for Standardization.
- [6] **OSHA**. (2010). *Cranes and Derricks in Construction (29 CFR 1926 Subpart CC)*. Occupational Safety and Health Administration. U.S. Department of Labor.
- [7] Logan, D. L. (2011). *A First Course in the Finite Element Method* (5th ed.). Cengage Learning.
- [8] Hibbeler, R. C. (2017). **Structural Analysis** (9th ed.). Pearson.
- [9] McGuire, R., & Becker, J. (2013). *Rigging Engineering Basics*. Industrial Training International (ITI)