

Analisis Transportasi dan *Seafastening*

Struktur *Jacket* Empat Kaki

Amanda Mitzi Pratiwi

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, ITB

amandamitzi@gmail.com

Kata kunci: transportasi, *jacket*, *barge*, *seafastening*

I. PENDAHULUAN

Anjungan lepas pantai yang berada di selatan Pulau Madura ini menggunakan struktur *jacket* empat kaki dengan *deck* berdiri di atasnya terdiri dari *cellar deck*, *mezzanine deck*, dan *main deck*. Sebelum analisis transportasi dilakukan, struktur terlebih dahulu harus dianalisis untuk keadaan terpasang (*inplace*). Dalam keadaan tersebut, struktur akan dianalisis kondisi operasi, badai, *fatigue*, dan gempa. Struktur dinyatakan aman pada kondisi terpasang, jika perbandingan tegangan desain terhadap tegangan izin (*unity check ratio*) member dan joint dari struktur kurang dari 1.00. Setelah terpenuhi, dilakukan analisis transportasi yang mempertimbangkan beban angin dan inersia gerakan *barge* yang berpengaruh pada tegangan setiap member dari struktur. Hasil dari UC member dan joint pada saat transportasi harus kurang dari 1.00 dengan desain *seafastening* tertentu yang digunakan saat transportasi sebagai penahan struktur *jacket* di atas *barge*. Dengan hasil UC kurang dari 1.00, maka dapat dinyatakan bahwa struktur *jacket* aman untuk ditransportasi ke lokasi dimana *jacket* akan dipasang.

II. TEORI DAN METODOLOGI

Dasar dari analisis ini menggunakan standar kode dan spesifikasi dari Noble Denton No.30 “*Guideline for Marine Transportation*” yang membahas ketentuan periode transportasi, peramalan cuaca, kriteria gerak *barge*, faktor reduksi *metocean*, kombinasi beban, sampai kepada desain *seafastening* yang digunakan pada saat transportasi. Standar API RP 2A WSD-2005 “*Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design*”, untuk faktor keamanan dan syarat tegangan (*unity check ratio*).

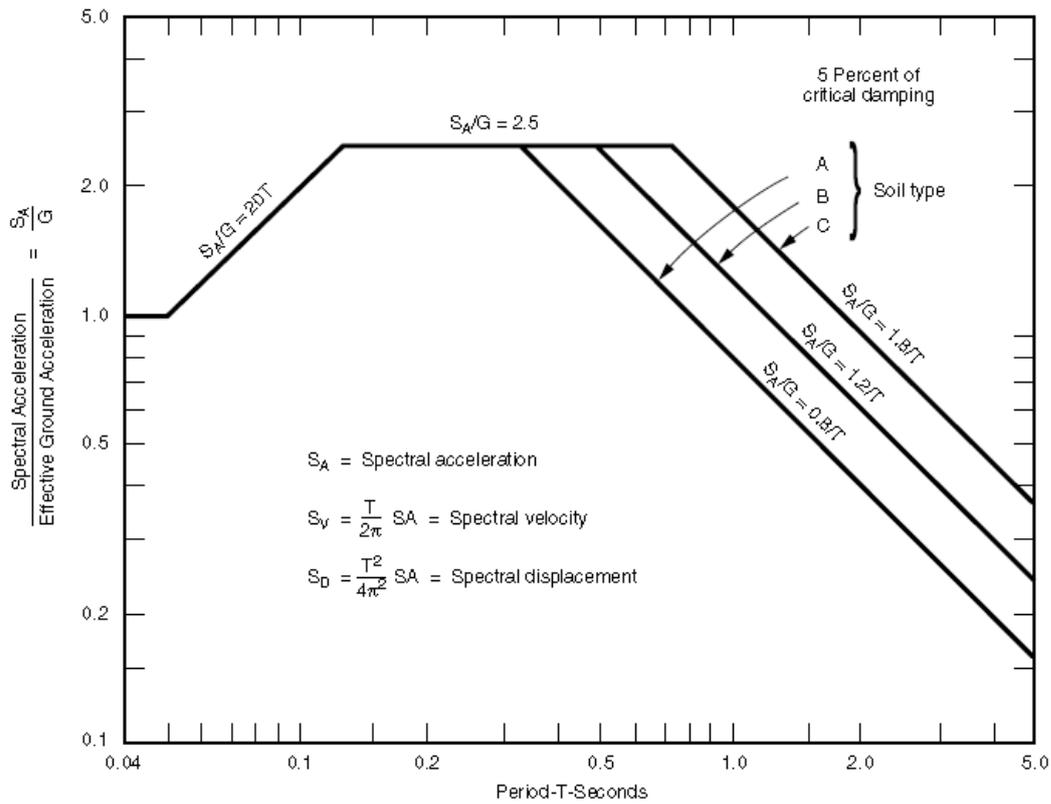
Analisis *inplace* dan transportasi dilakukan menggunakan perangkat lunak SACS 5.3 dalam pengerjaannya. Perangkat lunak SACS 5.3 membantu dalam menghitung pembebanan

keseluruhan yang bekerja saat *inplace* dan transportasi yang berpengaruh terhadap tegangan setiap member dan joint dari struktur.

Struktur yang berada di atas *barge* selama transportasi, ditahan menggunakan penyangga vertikal dan *seafastener*. Untuk mendapatkan struktur penyangga dan *seafastener* yang memenuhi dilakukan metode *trial and error*. Peningkatan properti tubular dari penyangga vertikal dan *seafastener* dilakukan sampai kepada hasil UC member dan joint saat transportasi kurang dari 1.00.

Analisis *fatigue* spektral adalah pendekatan secara statistik untuk menghitung kerusakan *fatigue* untuk struktur yang mengalami pembebanan dinamik yang memiliki sifat tetap secara statistik untuk jumlah siklus tegangan yang banyak, misalnya gaya angin dan gelombang. Pendekatan ini memanfaatkan spektrum gelombang dan transfer *function*, hal itu menunjukkan hubungan antara rasio respon struktur terhadap ketinggian gelombang sebagai fungsi dari frekuensi gelombang untuk suatu kisaran frekuensi gelombang. Maka dari itu, analisis *fatigue* spektral memperhitungkan distribusi nyata dari energi untuk seluruh kisaran frekuensi gelombang.

Respon spektra desain didapatkan dengan cara memplot respon maksimum struktur untuk perioda berbeda terhadap suatu fungsi percepatan riwayat waktu. Gambar 4.7 adalah contoh respon spektra desain yang digunakan dalam peraturan API WSD 2000.



Gambar 1 Respon Spektra Desain (API WSD RP 2A-WSD,2000)

Untuk mendapatkan respon maksimum dari struktur maka respon setiap mode harus dikombinasikan. Ada beberapa cara untuk mengkombinasikan (*mode combination*) diantaranya adalah:

Absolute Direct Summation

$$R = \sum_{i=1}^n |R_i| \tag{1}$$

Di mana R adalah nilai maksimum suatu respon tertentu (misalnya perpindahan, percepatan, *base shear*, dll) dan R_i adalah nilai maksimum dari mode ke i

SRSS (Sum Root of Sum Square)

$$R = \left| \sum_{i=1}^n R_i^2 \right|^{1/2} \tag{2}$$

Di mana R adalah nilai maksimum suatu respon tertentu (misalnya perpindahan, percepatan, *base shear* dll) dan R_i adalah nilai maksimum dari mode ke i

CQC (Complete Quadratic Combination)

$$R = \left| \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_i \rho_{ij} R_j \right|^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Di mana

$$\rho_{ij} = \frac{8\sqrt{\eta_i \eta_j} (\eta_i + r \eta_j) r^{\frac{3}{2}}}{(1-r^2)^2 + 4\eta_i \eta_j (1+r^2) + 4(\eta_i^2 + \eta_j^2) r^2} \quad (4)$$

$$r = \omega_j / \omega_i$$

ω_i : periode natural ke i

η_i : koefisien redaman ke i

Jika matriks ρ merupakan matriks identitas, maka hasil yang didapatkan dari kombinasi modal CQC akan sama dengan kombinasi modal SRSS.

Analisis *inplace* dilakukan pada dua kondisi, yaitu:

1. Kondisi *operating*

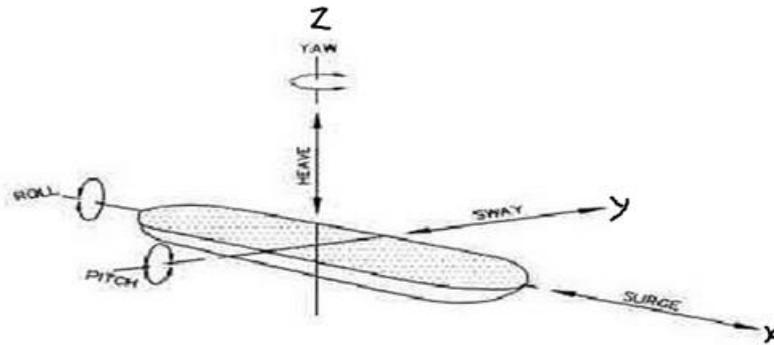
Pada kondisi ini, anjungan lepas pantai beroperasi secara normal. Struktur menerima seluruh beban kerja yang ada. Untuk beban lingkungan yang terjadi pada struktur diambil harga ekstrim untuk periode ulang 1 tahun.

2. Kondisi *storm*

Kondisi ini merupakan kondisi saat terjadi badai di lokasi struktur. Pada kondisi ini, tidak ada beban *work over rig live*, dan beban hidup pada tiap deck dianggap terdeteksi sebesar 25%. *Crane* dianggap tidak bekerja, sehingga beban *crane* yang terjadi hanya beban *crane* vertikal saja. Menurut peraturan dari AISC, *allowable stress* dari tiap batang dinaikkan harganya sebesar 133%. Untuk beban lingkungan yang terjadi pada struktur diambil harga ekstrim untuk periode ulang 100 tahun. Syarat bahwa suatu struktur memenuhi syarat analisis *inplace* apabila:

- a. *Unity check* pada struktur besarnya < 1
- b. *Unity check* pada pile ≤ 1
- c. *Safety factor* pada pile untuk maksimum *axial load* ≥ 2 untuk kondisi *operating* dan ≥ 1.5 untuk kondisi *storm*

Beban gerakan *barge* akibat gelombang yang berpengaruh pada muatan *barge*



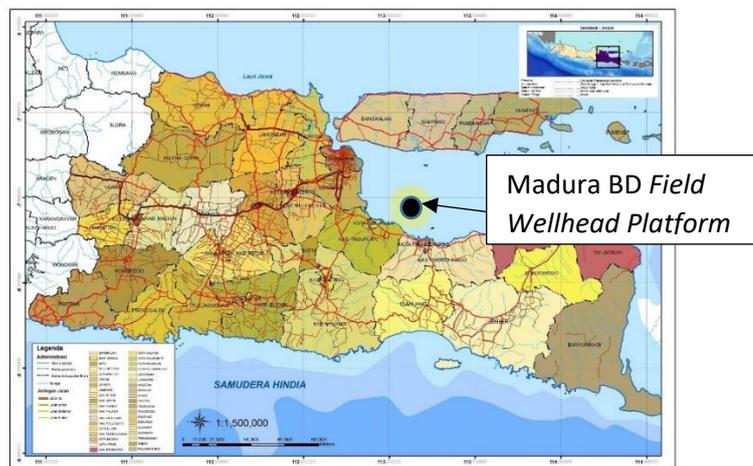
Gambar 2 Gerakan *Barge*

- | | | |
|---|---|-----------|
| <i>Surging</i> : gerakan translasi kapal terhadap sumbu x | } | translasi |
| <i>Swaying</i> : gerakan translasi kapal terhadap sumbu y | | |
| <i>Heaving</i> : gerakan translasi kapal terhadap sumbu z | | |
| <i>Rolling</i> : gerakan rotasi kapal terhadap sumbu x | } | rotasi |
| <i>Pitching</i> : gerakan rotasi kapal terhadap sumbu y | | |
| <i>Yawing</i> : gerakan rotasi kapal terhadap sumbu z | | |

III. ANALISIS DAN HASIL

III.1. Analisis Struktur *Inplace*

Struktur *Jacket* empat kaki ini akan dipasang pada lokasi sebagai berikut



Gambar 3 Lokasi Madura BD *Field Wellhead Platform*

Struktur *jacket* empat kaki terdiri dari dua *single batter* dan dua *double batter* dilengkapi dengan bagian *top of jacket walkway* sebagai tempat peralatan pendukung operasi struktur. Terdapat *deck* yang berdiri di atas struktur *jacket* sebagai tempat di mana manusia melakukan kegiatan operasi. Kondisi lingkungan yang berdampak pada struktur yaitu: gaya angin, gaya gelombang, gaya arus, pasang surut, dan beban gempa.

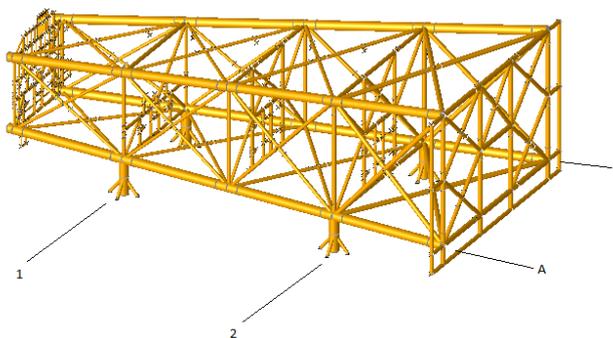
Pemodelan struktur untuk kondisi *inplace*, *fatigue*, dan gempa menggunakan struktur yang sama, hanya terdapat perbedaan perlakuan pembebanan dan proses analisis yang dilakukan menggunakan SACS 5.3.



Gambar 4 Model Struktur untuk *Inplace*, Badai, *Fatigue*, dan Gempa pada SACS 5.3

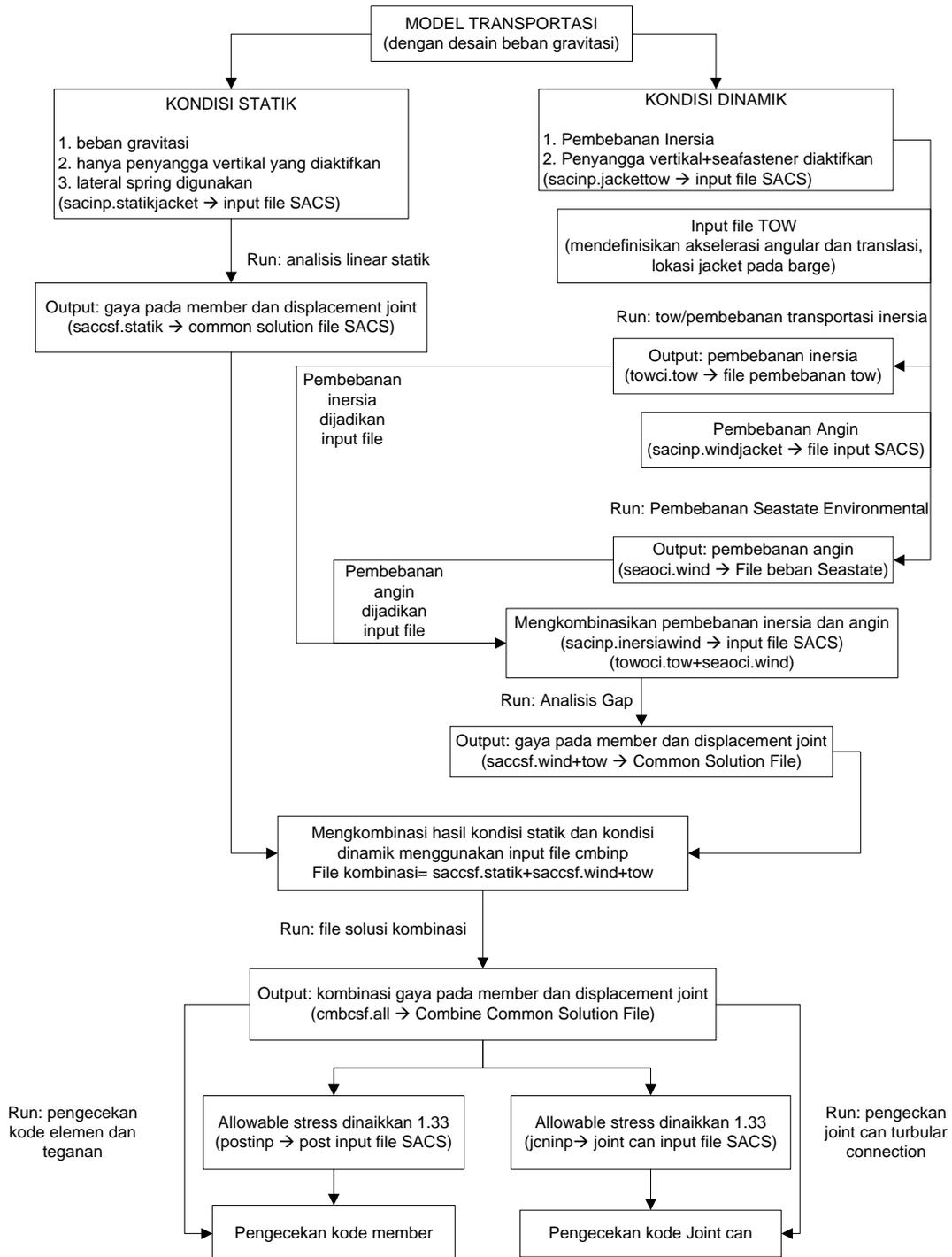
III.2. Analisis Struktur Transportasi

Struktur pada saat transportasi dianalisis terhadap kondisi pembebanan statik dan dinamik dengan model struktur pada SACS 5.3 seperti gambar di bawah.



Gambar 5 Model Struktur untuk Analisis Transportasi

Kondisi statik, pembebanan yang ada hanya dari beban gravitasi dan untuk kondisi dinamik pembebanan dibagi menjadi dua, yaitu beban angin dan inersia. Hasil analisis statik dan dinamik kemudian dikombinasi untuk mendapatkan *unity check ratio* member dan joint akibat pembebanan keseluruhan. Berikut adalah diagram alir untuk analisis transportasi



Gambar 6 Tahapan Analisis Transportasi Menggunakan SACS 5.3

III.3. Hasil Analisis *Inplace*

Hasil analisis *Inplace* dan badai didapatkan UC member dan joint kurang dari satu disajikan pada tabel di bawah ini yang merupakan UC member terbesar pada struktur untuk kondisi *inplace*

Tabel 1 UC Member Kondisi Operasi

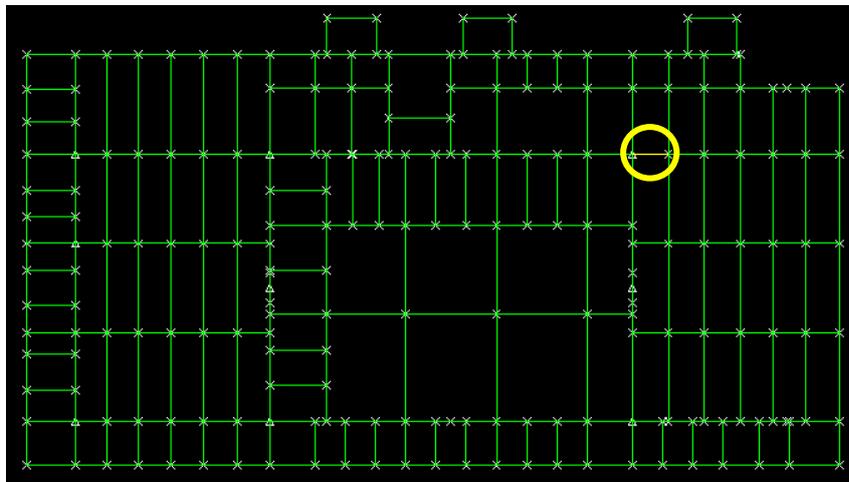
Group ID	Critical member	load condition	max unity check
C27	904L-0777	LC8	0.89
26B	103L-0147	DL1	0.83

Hasil UC member kondisi badai sudah kurang dari 1.00. Tabel UC terbesar pada kondisi badai disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2 UC Member Kondisi Badai

Group ID	Critical member	load condition	max unity check
C27	904L-0777	LC8	0.81
26B	103L-0147	LC1	0.85

Letak member dengan $0.8 < UC < 1.00$ sama untuk kondisi operasi dan badai. Disajikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 7 $0.8 < UC < 1.0$ Cellar Deck +31.33ft

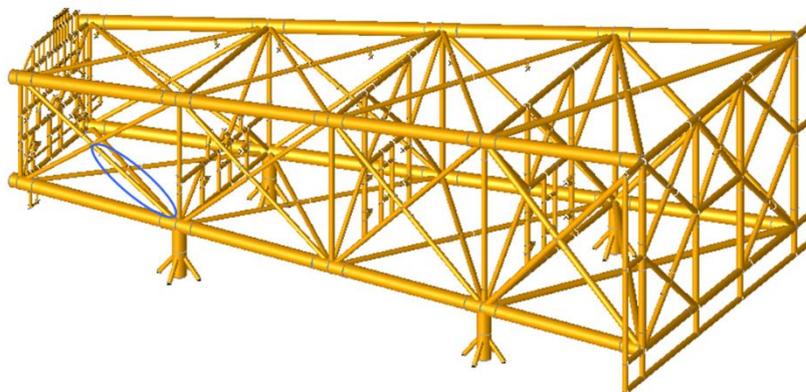
Hasil analisis gempa dilakukan untuk mengetahui apakah tiang pancang struktur sudah cukup kuat untuk menerima beban gempa. Didapatkan UC tiang pancang kurang dari 1.00 yang disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 3 UC Tiang Pancang

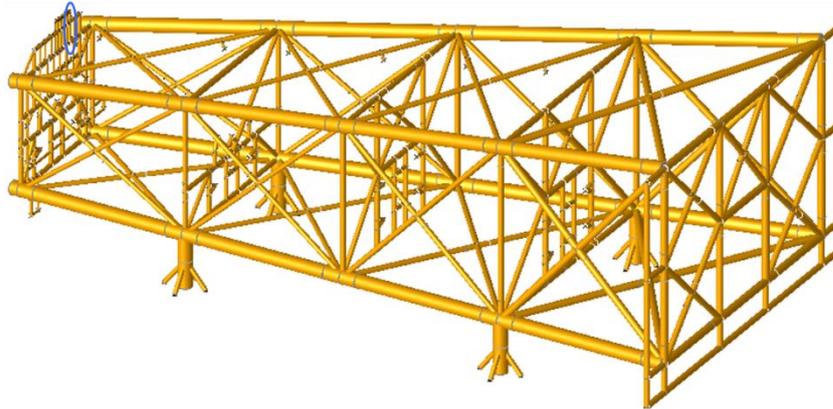
PILE JOINT	PILE GROUP	LOAD CASE	UC
101P	PL1	PILE	0.241
102P	PL2	PILE	0.121
103P	PL3	PILE	0.149
104P	PL4	PILE	0.038

III.4. Hasil Analisis Transportasi

Hasil dari analisis transportasi yang didapat untuk *unity check ratio* terbesar ada pada member 0318-402L dengan member group BR1 sebesar 0.89 akibat kombinasi pembebanan TR07 dengan deskripsi pembebanan (+) pitch (-) heave + angin 180° ditambah beban gravitasi. Sedangkan, *unity check* terkecil ada pada member 0191-0200 member group W12 sebesar 0.10 akibat kasus pembebanan TR07 dengan deskripsi pembebanan (+) pitch (-) heave + angin 180° ditambah beban gravitasi.

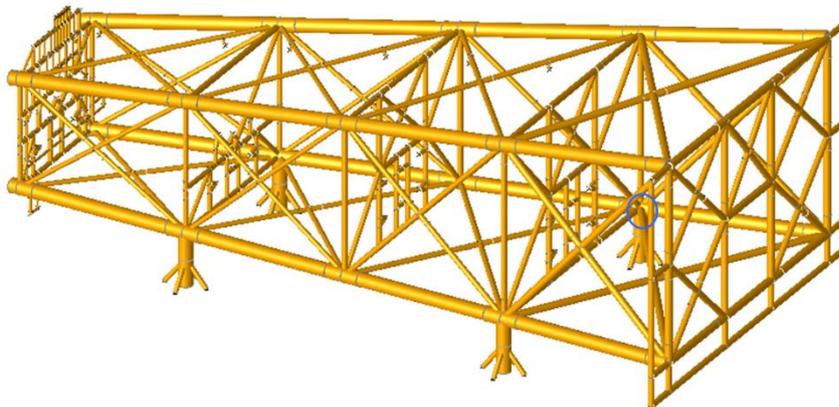


Gambar 10 UC Member Terkecil

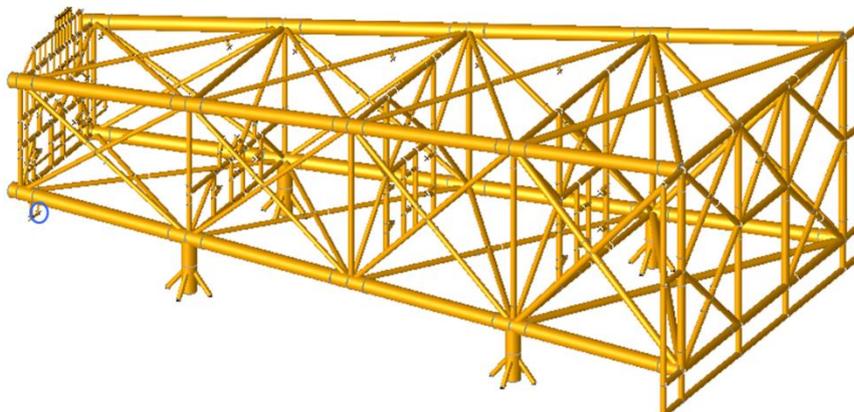


Gambar 11 UC Member Terbesar

Hasil analisis transportasi untuk *unity check joint load* terbesar ada pada joint 201L sebesar 0.839 akibat pembebanan TR03 dengan deskripsi pembebanan (+) roll (-) heave + angin 270° ditambah beban gravitasi. Sedangkan, *unity check joint load* terkecil pada joint 0266 sebesar 0.001 dengan deskripsi pembebanan (+) roll (-) heave + angin 270° ditambah beban gravitasi.

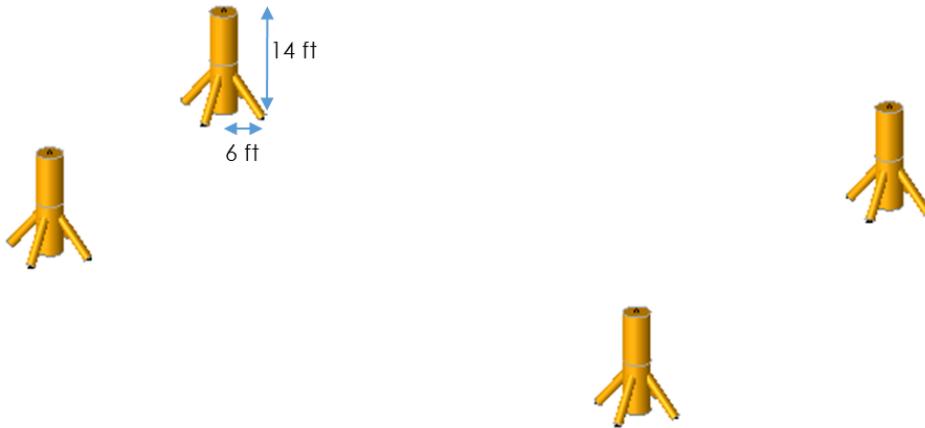


Gambar 12 Joint dengan UC Terbesar

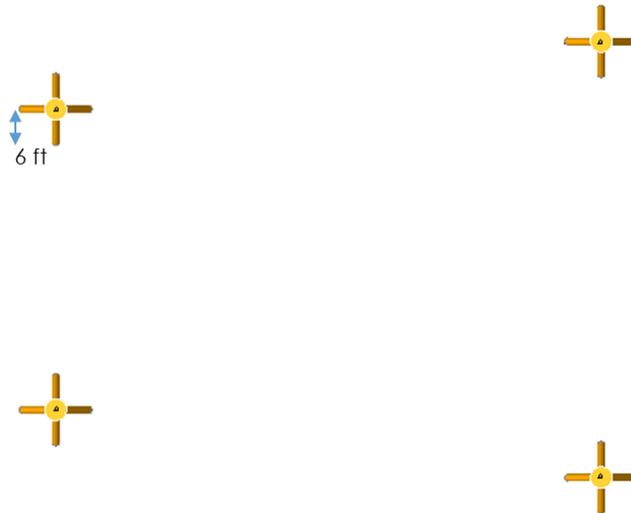


Gambar 13 Joint dengan UC Terkecil

Hasil joint dan member dengan UC kurang dari 1.00, didapat menggunakan konfigurasi penyangga struktur dan *seafastener* sebagai berikut.



Gambar 14 Konfigurasi Penyangga Vertikal dan *Seafastener*



Gambar 15 Penyangga Vertikal dan *Seafastener* Tampak Atas

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Struktur sudah aman untuk proses transportasi (UC member dan joint < 1.00) dengan menggunakan desain penyangga vertikal dan *seafastener* berikut ini:

Tabel 4 Properti Penyangga Vertikal dan *Seafastener*

Group Member	Ukuran	Keterangan
VM	OD47.00' WT 1.00'	Penyangga vertikal
16P	OD16.00' WT 1.125'	<i>Seafastener</i>

2. Analisis transportasi membutuhkan kriteria gerak *barge* yang digunakan sebagai sarana transportasi struktur *jacket*. Kriteria gerak *barge* pada bahasan ini hanya menggunakan ketentuan Noble Denton 0030 “*Transport*”. Untuk mendapatkan kriteria gerak yang lebih optimal dapat digunakan perangkat lunak Moses untuk mengetahui kriteria gerak dari *barge*.
3. Analisis dengan menggunakan SACS 5.3 terlihat sudah cukup untuk mengetahui *unity check* member dan joint apakah sudah aman untuk *jacket* dapat ditransportasi.
4. Dibutuhkan analisis lebih lanjut mengenai struktur penyangga vertikal dan *seafastener* apakah benar-benar dapat diaplikasikan pada saat transportasi dan tidak mengalami kegagalan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction. 1989. "AISC ASD 9th Edition: Specification for Structural Steel Buildings". Chicago: AISC.
- American Petroleum Institute RP 2A WSD. 2005. "Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design". Washington, DC: API
- Chairul.AMR. "Anjungan Lepas Pantai". Dari: <http://digilib.itb.ac.id/files/disk1/629/jbptitbpp-gdl-chairulamr-31418-3-2008ta-2.pdf>. 25 Agustus 2014.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. "SNI-1726-2002: Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung". Bandung
- Eka Ferry. "Bangunan Lepas Pantai". Dari: <http://digilib.itb.ac.id/files/disk1/545/jbptitbpp-gdl-ekaferryse-27242-2-2007ts-2.pdf>. 25 Agustus 2014.
- GL Noble Denton No. 28. 2013. "Guidelines for Steel Jacket Transportation and Installation"
- GL Noble Denton No. 30. 2013. "Guidelines for Marine Transportation"
- LE, Munden. "Transportation and Placement of Substructure"
- Tawekal, Prof. Ricky Lukman,Ir.,MSE,Ph.D. 2011. "Catatan Kuliah KL- 4121 Bangunan Lepas Pantai 1". Bandung: ITB.
- Tawekal, Prof. Ricky Lukman,Ir.,MSE,Ph.D. "KL 4131 Dasar-dasar Teknik Perkapalan". Bandung: ITB.