

DESAIN DAN ANALISIS KEHANDALAN STRUKTUR JACKET EMPAT KAKI WELLHEAD PLATFORM B DI PERAIRAN LAUT NATUNA

Linda Cendekia Suprobo¹ dan Ricky Lukman Tawekal²

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha 10 Bandung 40132

¹ cendekialinda@gmail.com dan ² ricky.ocean@itb.ac.id

ABSTRAK

Anjungan lepas pantai berperan sebagai struktur anjungan yang digunakan dalam proses eksploitasi, eksplorasi, produksi serta distribusi minyak dan gas. Dalam perencanaannya desain struktur anjungan lepas pantai mengacu pada standar API RP-2A. Terdapat dua versi prinsip desain dalam API RP-2A yaitu LRFD (1993) dan WSD (2007). Pada API RP-2A LRFD, faktor beban lingkungan diturunkan berdasarkan kondisi keacakan lingkungan di perairan *Gulf of Mexico*. Dalam penerapan pada perencanaan desain struktur anjungan lepas pantai di wilayah perairan Indonesia dimungkinkan adanya ketidakcocokan. Dilakukan analisis pada struktur anjungan yang telah berdiri yaitu struktur anjungan tipe tetap empat kaki yang berada di perairan Laut Natuna. Pada struktur ini akan dilakukan analisis struktur yang meliputi analisis *in-place*, *seismic* dan *fatigue*. Analisis struktur dilakukan untuk mendapatkan *member-member* UC terbesar pada struktur *jacket* dan *deck* sebagai *member-member* perwakilan struktur. Analisis kehandalan dilakukan dengan metode simulasi Monte Carlo dengan variabel acak beban gelombang dan variabel acak kapasitas tegangan leleh. Indeks kehandalan diperoleh melalui pengolahan UC dari *member-member* perwakilan struktur yang menjadi fokus kajian. Dari indeks kehandalan, didapatkan kesimpulan terhadap kajian awal tentang kesesuaian penerapan faktor beban gelombang dalam API RP-2A LRFD pada seluruh struktur di salah satu perairan Indonesia.

Kata kunci: *fixed platform, reliability based underwater inspection, probability of failure, reliability index, reliability analysis, in-place analysis, seismic analysis, fatigue analysis*

PENDAHULUAN

Sumber daya alam di laut terutama minyak dan gas bumi memiliki potensi bagi Indonesia. Setelah ditemukannya daerah yang berpotensi menghasilkan minyak atau gas bumi, maka anjungan lepas pantai mulai berperan sebagai struktur anjungan yang digunakan dalam proses eksploitasi,

eksplorasi, produksi serta distribusi minyak dan gas. Dilihat dari jenisnya anjungan lepas pantai dibagi menjadi beberapa jenis diantaranya *fixed platform, floating platform, compliant platform* dan *Floating Production and Storage Unit (FPSO)*. Dalam proses desain struktur anjungan

lepas pantai mengacu pada standar API RP-2A (American Petroleum Institute – Recommended Practice 2A). Dalam API RP-2A terdapat dua versi yaitu WSD (2007) dan LRFD (1993). Prinsip LRFD (*Load Resistance Factor Design*) adalah menggunakan faktor beban dan juga faktor reduksi kekuatan sehingga kuat nominal yang direduksi harus mencukupi pembebanan yang menggunakan faktor beban. Pada API RP-2A LRFD, faktor beban lingkungan diturunkan berdasarkan kondisi keacakan di lingkungan Perairan Amerika, khususnya *Gulf of Mexico*. Hal ini memungkinkan adanya ketidakcocokan untuk penerapan di wilayah perairan Indonesia karena kondisi perairan di *Gulf of Mexico* dinilai sangat ekstrim jika

dibandingkan dengan kondisi perairan di Laut Indonesia. Oleh karena itu, diperlukan analisis kehandalan pada struktur anjungan lepas pantai untuk menghitung indeks kehandalan (β) dari struktur yang kemudian dapat menjadi penentuan mengenai kesesuaian penerapan faktor beban pada API RP-2A LRFD 1993 yang digunakan dalam desain struktur anjungan lepas pantai di perairan Laut Natuna. Lokasi struktur anjungan lepas pantai pada tugas akhir ini berada di wilayah perairan Laut Natuna. Struktur anjungan lepas pantai berada di kedalaman perairan 250 *ft*. Lokasi struktur anjungan ditandai penanda merah pada citra satelit Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi Anjungan Lepas Pantai pada Citra Satelit Wilayah Indonesia

TEORI DAN METODOLOGI

Konsep *Load Resistance and Factor Design* (LRFD)

Dalam menentukan nilai kekuatan *ultimate* yang dibutuhkan dari desain struktur, nilai beban yang bekerja pada struktur dikalikan dengan nilai faktor beban dan harus lebih kecil dari nilai kekuatan nominal struktur yang telah dikalikan dengan nilai faktor reduksi kekuatan yang dituliskan dalam Persamaan 1.

$$R_u = \sum \gamma_i F_i \leq \phi R_n \quad (\text{Persamaan 1})$$

Dimana:

R_u : kekuatan *ultimate* yang dibutuhkan dan ditentukan dari kombinasi pembebanan LRFD [*kips*]

γ_i : faktor beban (*load factor*)

F_i : beban layan yang bekerja pada struktur (beban mati, beban hidup, beban lingkungan dan lain-lain) [kips]

ϕ : faktor reduksi kekuatan (*component resistance factor*), tercantum pada Tabel 1.

R_n : kekuatan nominal struktur [kips]

Tabel 1 Nilai Faktor Reduksi Kekuatan

Sumber : API RP-2A LRFD

Limit State	Resistance Factor
Shear	1.0 or 0.9
Flexure	0.9
Compression	0.9
Tension (Yielding)	0.9
Tension (Rupture)	0.75

Unity Check Tegangan Member

Unity check adalah rasio antara beban yang terjadi pada element struktur terhadap beban maksimum yang diizinkan pada tiap *member*, hal ini berarti *unity check* yang dimiliki oleh setiap batang harus lebih kecil dari 1. Penentuan *unity check* ditunjukkan dalam Persamaan 2 dan Persamaan 3.

$$UC = \frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m \sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{c'}}\right) F_b} \quad (\text{Persamaan 2})$$

$$UC = \frac{f_a}{F_a} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \quad (\text{Persamaan 3})$$

Dimana:

f_a : Tegangan tarik / tekan aksial, $f_a > 0$ tegangan tarik aksial, $f_a < 0$ tegangan tekan aksial [ksi]

F_a : Tegangan izin aksial [ksi]

f_{bx} : Tegangan lentur terhadap sumbu x [ksi]

f_{by} : Tegangan lentur terhadap sumbu y [ksi]

F_b : Tegangan izin lentur [ksi]

F_y : Tegangan leleh [ksi]

C_m : Nilai faktor reduksi

Kapasitas Aksial Tiang Pancang

Pengecekan kapasitas tiang pancang dilakukan untuk mengetahui kapasitas tiang pancang melebihi beban maksimum yang diterima oleh tiang pancang, yaitu rasio antara kapasitas tiang pancang dengan tegangan tarik atau tekan yang terjadi. Dalam API RP-2A LRFD 1993, pemeriksaan kemampuan aksial tiang pancang dilakukan melalui Persamaan 4 dan Persamaan 5.

$$P_{DO} \leq \Phi_{PO} Q_D \quad (\text{Persamaan 4})$$

$$P_{DE} \leq \Phi_{PE} Q_D \quad (\text{Persamaan 5})$$

Dimana:

P_{DE} atau P_{DO} = beban aksial tiang pancang untuk kondisi lingkungan ekstrem atau operasi

Φ_{PE} = faktor tahanan tiang pancang untuk kondisi lingkungan ekstrem (0.8)

Φ_{PO} = faktor tahanan tiang pancang untuk kondisi lingkungan operasi (0.7)

Q_D = kapasitas aksial *ultimate* dari tiang pancang

Aturan Palmgren Miner

Aturan Palmgren Miner dapat menghitung beberapa siklus beban yang memiliki amplitudo yang berbeda-beda. Bagian dari umur layan *fatigue* yang dihabiskan oleh jumlah siklus dari kisaran beban yang terjadi dalam 1 tahun adalah nilai perbandingan dari jumlah beban siklik yang terjadi dalam satu tahun terhadap jumlah beban siklik yang dibutuhkan untuk mencapai kegagalan. Nilai kerusakan joint dalam satu tahun dihitung menggunakan Persamaan 6.

$$Damage = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} \quad (\text{Persamaan 6})$$

Dimana:

n = Jumlah beban siklik yang terjadi dalam satu tahun

N = Jumlah beban siklik yang dibutuhkan untuk mencapai kegagalan

m = Jumlah kelas beban siklik yang diperhitungkan

Uji Kecocokan Kolmogorov-Smirnov

Metode Kolmogorov-smirnov mencakup perbandingan antara probabilitas kumulatif lapangan distribusi kumulatif yang ditinjau. Sampel yang berukuran N diatur dengan urutan yang meningkat seperti pada Persamaan 7.

$$\hat{G}(x) = \begin{cases} 0 & x < x_1 \\ \frac{k}{N} & x_k \leq x \leq x_{k+1} \\ 1 & x \geq x_N \end{cases} \quad (\text{Persamaan 7})$$

Dimana:

x_k = Nilai data ke- k

k = Nomor urut data (1,2,3, ... N)

$\hat{G}(x)$ = CDF data aktual

$G(x)$ = CDF data teoritis

Selisih maksimum antara $\hat{G}(x)$ dan $G(x)$ untuk seluruh rentang x merupakan ukuran penyimpangan dari model teoritis terhadap data aktual dinyatakan dengan Persamaan 8.

$$D_N = maks |\hat{G}(x) - G(x)| \quad (\text{Persamaan 8})$$

Untuk suatu taraf nyata α tertentu, pengujian $K - S$ membandingkan selisih maksimum pengamatan dalam Persamaan 26 dengan nilai kritis D_N^α , yang didefinisikan dengan Persamaan 9.

$$P(D_N \leq D_N^\alpha) = 1 - \alpha \quad (\text{Persamaan 9})$$

Jika D_N yang diamati kurang dari nilai kritis D_N^α , maka suatu fungsi distribusi dapat diterima pada taraf nyata α yang ditentukan.

Fungsi Performansi Analisis Kehandalan

Fungsi performansi dapat dituliskan dalam Persamaan 10 berikut.

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (\text{Persamaan 10})$$

dengan X_i sebagai variabel acak yang berhubungan dengan parameter beban dan kapasitas. Sebagai keadaan batas (*limit state*) (kondisi gagal dan tidak gagal) dapat dinyatakan dengan $Z = 0$.

Probabilitas kegagalan, p_f suatu struktur dapat dinyatakan pada Persamaan 11 berikut.

$$p_f = P(R < S) = \int_0^\infty \left[\int_0^S f_R(r) dr \right] f_S(s) ds \\ = \int_0^\infty F_R(s) f_S(s) ds \quad (\text{Persamaan 11})$$

Probabilitas sukses ($P(\text{success})$) dan indeks kehandalan β dapat dinyatakan dalam Persamaan 12 dan Persamaan 13 berikut.

$$P(\text{success}) = p_s = 1 - p_f \quad (\text{Persamaan 12})$$

$$p_s = \Phi(\beta) \quad (\text{Persamaan 13})$$

Metode Simulasi Monte-Carlo

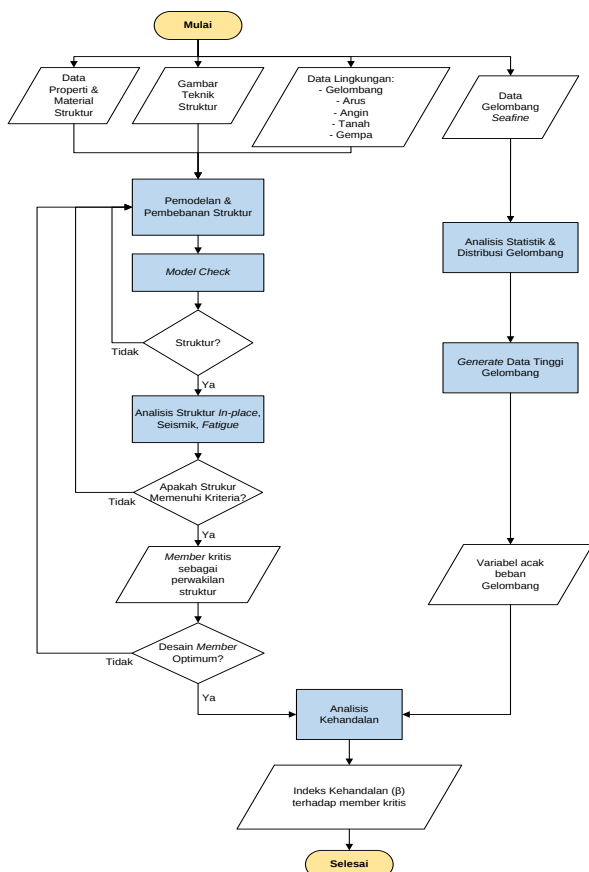
Menurut Haldar (2000:251), ada enam tahapan penting dalam metode simulasi Monte Carlo, yaitu:

1. Menentukan permasalahan berkaitan dengan seluruh variabel acak yang diperhitungkan,

2. Mengkuantifikasi karakter probabilitas dari seluruh variabel acak (PDF dan parameter terkait),
3. Membangkitkan nilai-nilai dari variabel acak,
4. Mengevaluasi permasalahan secara deterministik untuk setiap set realisasi dari variabel-variabel acak dengan eksperimen numerik,
5. Mengekstrak informasi probabilistik dari sejumlah realisasi (siklus simulasi),
6. Menentukan akurasi dan efisiensi dari simulasi.

Metodologi

Metodologi dari pengerjaan tugas akhir dapat dilihat pada diagram alir Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Diagram Alir Metodologi Penulisan Tugas Akhir

HASIL DAN ANALISIS

Perhitungan *unity check* tegangan *member*, *joint punching shear*, kapasitas aksial tiang pancang dan perhitungan *fatigue life* struktur akan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SACS, pembangkitan variabel acak kapasitas tegangan leleh baja akan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak MATLAB, pembangkitan variabel acak beban gelombang akan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak MINITAB, sedangkan perhitungan analitik dilakukan untuk menghitung indeks kehandalan (β).

Pemeriksaan UC Tegangan Member, Joint Punching Shear dan Kapasitas Aksial Tiang Pancang Analisis In-Place Kondisi Operating

Berdasarkan pemeriksaan analisis *in-place* pada kondisi *operating*, *unity check* terbesar tegangan *member* ditunjukkan pada Tabel 2 sedangkan lokasi *member*-*member* tersebut ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Kemudian hasil pemeriksaan UC terbesar *joint punching shear* ditunjukkan pada Tabel 3 dan lokasinya ditunjukkan pada Gambar 5. Selanjutnya hasil pemeriksaan kapasitas aksial tiang pancang ditunjukkan pada Tabel 4.

Pemeriksaan UC Tegangan Member, Joint Punching Shear dan Kapasitas Aksial Tiang Pancang Analisis In-Place Kondisi Storm

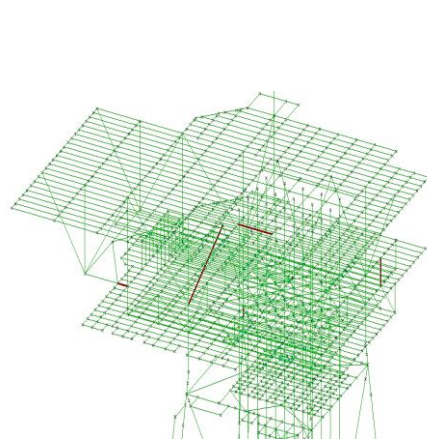
Berdasarkan pemeriksaan analisis *in-place* pada kondisi *storm*, *unity check* terbesar tegangan *member* ditunjukkan pada Tabel 5 sedangkan lokasi *member*-*member* tersebut ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Kemudian hasil pemeriksaan UC terbesar *joint punching shear* ditunjukkan pada Tabel 6 dan Tabel 7 serta lokasinya ditunjukkan pada Gambar 8. Selanjutnya hasil pemeriksaan kapasitas aksial tiang pancang ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 2 Hasil Rasio UC Terbesar pada *Member-Member* Struktur Kondisi *Operating*

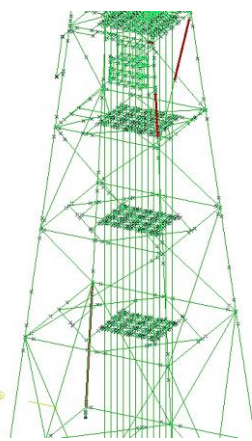
Bagian	Member	Grup	Properti Member	UC	Kombinasi Pembebanan
Sub Cellar Deck	S109-S155	SF1	18" OD X 0.5" WT	0.8	120
Cellar Deck	C409-C010	CS1	W14X22	0.79	177
Deck Diagonal Bracing	C000-T000	TR1	24" OD X 0.875" WT	0.75	120
Main Deck	M531-M532	MS1	W14X22	0.74	165
Pile	203P-303P	PL3	48" OD X 1.75" WT	0.72	111
Deck Leg	703L-803L	LG7	56" OD X 2.5" WT	0.52	111
Jacket Horizontal Bracing	J626-602L	HO9	22" OD X 0.75" WT	0.44	100
Deck Vertical Bracing	S009-C084	TR3	18" OD X 0.5" WT	0.43	130
Jacket Leg	J556-J562	LG1	53" OD X 1" WT	0.24	179
Jacket Diagonal Bracing	J569-J572	DI2	24" OD X 1" WT	0.23	178

Tabel 3 Hasil UC Joint Punching Shear Terbesar Kondisi *Operating*

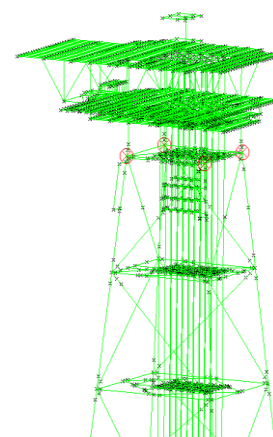
Joint	Properti Chord	Properti Brace	UC	Kombinasi Pembebanan
601L	56" OD X 2.5" WT	22" OD X 2" WT	0.244	100
603L	56" OD X 2.5" WT	22" OD X 2" WT	0.217	176
602L	56" OD X 2.5" WT	22" OD X 2" WT	0.212	166
604L	56" OD X 2.5" WT	22" OD X 2" WT	0.179	147



Gambar 3 *Member-Member* yang Memiliki Nilai UC Tegangan Terbesar Kondisi *Operating*



Gambar 4 *Member-Member* yang Memiliki Nilai UC Tegangan Terbesar Kondisi *Operating* (Lanjutan)



Gambar 5 Lokasi *Joint* yang Memiliki UC *Punching Shear* Terbesar Kondisi *Operating*

Tabel 4 Kapasitas Aksial Tiang Pancang Kondisi Operating

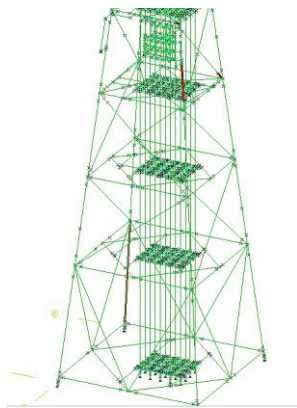
Pile	Kapasitas (Q_D) [Kips]	$0.7 Q_D$ [Kips]	Beban Maksimum (P_{Do}) [Kips]	Hasil Pemeriksaan
001P	13091.4	9163.98	5013.2	OK
002P	12660.5	8862.35	4697.3	OK
003P	13091.4	9163.98	5124.9	OK
004P	12660.5	8862.35	4777.3	OK

Tabel 5 Hasil Rasio UC Terbesar pada Member-Member Struktur Kondisi Storm

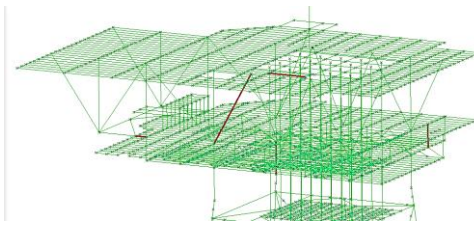
Bagian	Member	Grup	Properti Member	UC	Kombinasi Pembebanan
Pile	203P-303P	PL3	48" OD X 1.75" WT	0.95	211
Sub Cellar Deck	S109-S155	SF1	18" OD X 0.5" WT	0.74	220
Cellar Deck	C409-C010	CS1	W14X22	0.73	214
Main Deck	M531-M532	MS1	W14X22	0.64	214
Jacket Horizontal Bracing	J626-602L	HO9	22" OD X 0.75" WT	0.51	214
Jacket Leg	J556-J562	LG1	53" OD X 1" WT	0.51	279
Deck Diagonal Bracing	C000-T000	TR1	24" OD X 0.875" WT	0.44	220
Deck Vertical Bracing	S009-C084	TR3	18" OD X 0.5" WT	0.4	214
Jacket Diagonal Bracing	504L-J632	DI2	24" OD X 1" WT	0.39	208
Deck Leg	803L-S002	LG7	56" OD X 2.5" WT	0.36	214

Tabel 6 Hasil UC Joint Punching Shear Terbesar Kondisi Storm

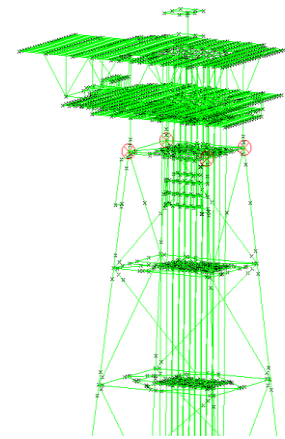
Joint	Properti Chord	Properti Brace	UC	Kombinasi Pembebanan
601L	56" OD X 2.5" WT	22" OD X 2" WT	0.386	200
603L	56" OD X 2.5" WT	22" OD X 2" WT	0.343	276
602L	56" OD X 2.5" WT	22" OD X 2" WT	0.335	266
604L	56" OD X 2.5" WT	22" OD X 2" WT	0.282	247
302L	55.5" OD X 2.25" WT	24" OD X 1" WT	0.119	200
301L	55.5" OD X 2.25" WT	24" OD X 1" WT	0.117	200
304L	55.5" OD X 2.25" WT	24" OD X 1" WT	0.107	266



Gambar 6 *Member-Member yang Memiliki Nilai UC Tegangan Terbesar Kondisi Storm*



Gambar 7 *Member-Member yang Memiliki Nilai UC Tegangan Terbesar Kondisi Storm (Lanjutan)*



Gambar 8 *Lokasi Joint yang Memiliki UC Punching Shear Terbesar Kondisi Storm*

Tabel 7 *Kapasitas Aksial Tiang Pancang Kondisi Storm*

Pile	Kapasitas (Q_D) [Kips]	$0.8 Q_D$ [Kips]	Beban Maksimum (P_{DE}) [Kips]	Hasil Pemeriksaan
001P	13091.4	10473.12	5974.9	OK
002P	12660.5	10128.4	5566.7	OK
003P	13091.4	10473.12	6102.3	OK
004P	12660.5	10128.4	5685.1	OK

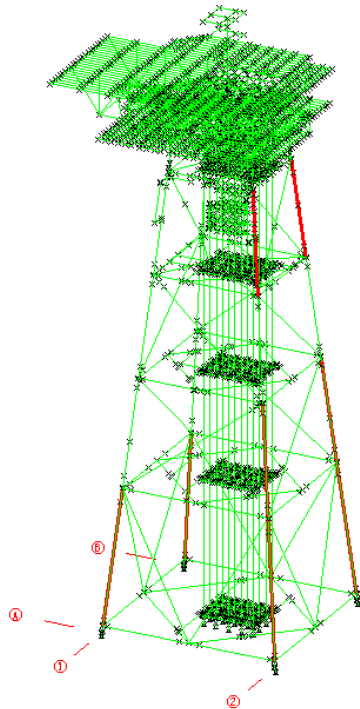
Berdasarkan hasil analisis UC tegangan *member*, UC *joint punching shear*, dan kapasitas aksial tiang pancang di atas, struktur yang dimodelkan telah memenuhi kriteria desain kondisi *in-place*, baik *operating* maupun *storm*.

Pemeriksaan UC Tegangan *Member*, *Joint Punching Shear* dan Kapasitas Aksial Tiang Pancang Analisis Seismic Level Gempa SLE

Berdasarkan pemeriksaan analisis *seismic* pada level gempa SLE, *unity check* terbesar tegangan *member* ditunjukkan pada Tabel 8 sedangkan lokasi *member-member* tersebut ditunjukkan pada Gambar 9.

Tabel 8 *Hasil UC Terbesar pada Pemeriksaan Tegangan *Member* Level Gempa SLE*

Member	Grup	Property	UC
203P-303P	PL3	48" OD X 1.75" WT	0.76
201P-301P	PL3	48" OD X 1.75" WT	0.75
204P-304P	PL3	48" OD X 1.75" WT	0.68
202P-302P	PL3	48" OD X 1.75" WT	0.65
503P-603P	PL6	48" OD X 1.75" WT	0.6
303P-403P	PL4	48" OD X 1.75" WT	0.58
501P-601P	PL6	48" OD X 1.75" WT	0.58
301P-401P	PL4	48" OD X 1.75" WT	0.57

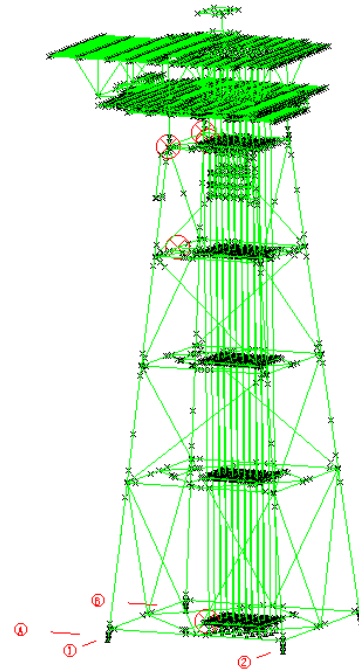


Gambar 9 *Member-Member yang Memiliki Nilai UC Tegangan Terbesar pada Seismic Level Gempa SLE*

Kemudian hasil pemeriksaan UC terbesar *joint punching shear* ditunjukkan pada Tabel 9 dan lokasinya ditunjukkan pada Gambar 10.

Tabel 9 Hasil Pemeriksaan UC *Joint Punching Shear* Level Gempa SLE

Joint	Property Chord	Property Brace	UC
J347	16" OD X 0.375" WT	16" OD X 0.25" WT	0.213
603L	56" OD X 2.5" WT	22" OD X 2" WT	0.201
601L	56" OD X 2.5" WT	22" OD X 2" WT	0.199
J452	23" OD X 0.875" WT	16" OD X 0.625" WT	0.19



Gambar 10 Lokasi UC Terbesar *Joint Punching Shear* pada Level Gempa SLE

Selanjutnya hasil pemeriksaan kapasitas aksial tiang pancang ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10 Hasil Pemeriksaan Kapasitas Tiang Pancang Level Gempa SLE

Pile	Kapasitas (Q_D) [Kips]	$0.7 Q_D$ [Kips]	Beban Maksimum (P_{DO}) [Kips]
001P	13204.03	9242.82	4644.1
002P			5205
003P			4735.6
004P			5104

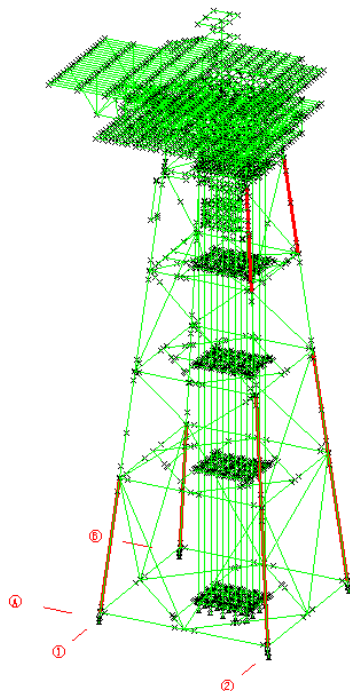
Pemeriksaan UC Tegangan Member, Joint Punching Shear dan Kapasitas Aksial Tiang Pancang Analisis Seismic Level Gempa DLE

Berdasarkan pemeriksaan analisis *seismic* pada level gempa DLE, *unity check* terbesar tegangan *member* ditunjukkan pada Tabel

11 sedangkan lokasi member-member tersebut ditunjukkan pada Gambar 11.

Tabel 11 Hasil UC Terbesar pada Pemeriksaan Tegangan Member Level Gempa DLE

Member	Grup	Property	UC
203P-303P	PL3	48" OD X 1.75" WT	0.8
201P-301P	PL3	48" OD X 1.75" WT	0.79
204P-304P	PL3	48" OD X 1.75" WT	0.72
202P-302P	PL3	48" OD X 1.75" WT	0.69
503P-603P	PL6	48" OD X 1.75" WT	0.62
303P-403P	PL4	48" OD X 1.75" WT	0.61
501P-601P	PL6	48" OD X 1.75" WT	0.61
301P-401P	PL4	48" OD X 1.75" WT	0.60

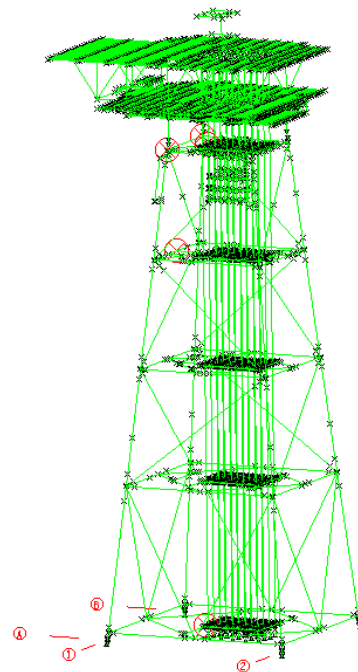


Gambar 11 Member-Member yang Memiliki Nilai UC Tegangan Terbesar pada Seismic Level Gempa DLE

Kemudian hasil pemeriksaan UC terbesar *joint punching shear* ditunjukkan pada Tabel 12 dan lokasinya ditunjukkan pada Gambar 12.

Tabel 12 Hasil Pemeriksaan UC Joint Punching Shear Level Gempa DLE

Joint	Property Chord	Property Brace	UC
J347	16" OD X 0.375" WT	16" OD X 0.25" WT	0.231
603L	56" OD X 2.5" WT	22" OD X 2" WT	0.208
601L	56" OD X 2.5" WT	22" OD X 2" WT	0.207
J452	23" OD X 0.875" WT	16" OD X 0.625" WT	0.193



Gambar 12 Lokasi UC Terbesar Joint Punching Shear pada Level Gempa DLE

Selanjutnya hasil pemeriksaan kapasitas aksial tiang pancang ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13 Hasil Pemeriksaan Kapasitas Tiang Pancang Level Gempa DLE

Pile	Kapasitas (Q_D) [Kips]	$0.7 Q_D$ [Kips]	Beban Maksimum (P_{DO}) [Kips]
001P	13204.03	9242.82	4806.6
002P			5177
003P			4806.6
004P			5252

Dari hasil analisis UC tegangan member, UC *joint punching shear*, dan kapasitas tiang pancang di atas, struktur yang dimodelkan memenuhi kriteria desain kondisi *seismic*, pada level *Strength Level Earthquake (SLE)* maupun *Ductility Level Earthquake (DLE)*.

Pemeriksaan *Fatigue Life* Struktur

Hasil pemeriksaan *fatigue life* terendah struktur ditunjukkan pada Tabel 14 berikut.

Tabel 14 Hasil Pemeriksaan *Fatigue Life* Terendah pada Struktur

Joint	Member	<i>Cumulative Damage</i>	<i>Fatigue Life</i> (Tahun)
J448	J448-J613	0.96	78.125
501L	501L-J617	0.87	86.21
J749	J749-J748	0.80	93.75
J426	0013-J426	0.56	133.93
J429	J429-J431	0.47	159.57
601L	601L-701L	0.40	187.5

Pemeriksaan masa layan struktur yang dilakukan adalah 75 tahun dengan perioda terjadinya gelombang yang tersedia untuk analisis *fatigue* pada struktur adalah 100 tahun. Safety factor yang digunakan dalam analisis ini adalah 2. Dari Tabel 14 dapat disimpulkan bahwa 6 joint yang memiliki masa layan terendah tersebut memiliki *fatigue life* lebih dari 75 tahun.

Hasil Perhitungan Indeks Kehandalan (β) Struktur

Indeks kehandalan (β) dihitung dengan menggunakan persamaan probabilitas distribusi lognormal sesuai hasil uji kecocokan Kolmogorov-smirnov. Hasil perhitungan indeks kehandalan (β) dapat dilihat pada Tabel 15 berikut.

Tabel 15 Indeks Kehandalan (β) Member-Member Perwakilan Struktur

No	Member-Member Perwakilan Struktur	Indeks Kehandalan (β) Struktur
1	Tiang Pancang 203P-303P	8.71
2	Sub Cellar Deck S109-S155	10.61
3	Cellar Deck C409-C010	10.67
4	Main Deck M531-M532	11.47
5	Jacket Horizontal Bracing J626-602L	14.36
6	Jacket Leg J556-J562	11.36
7	Deck Diagonal Bracing C000-T000	11.59
8	Deck Vertical Bracing S009-C084	13.58
9	Jacket Diagonal Bracing 504L-J632	13.63
10	Deck Leg 803L-S002	14.5

Melalui analisis kehandalan dengan metode simulasi Monte Carlo yang dilakukan pada tugas akhir ini, dilakukan simulasi

sebanyak 50 kali untuk memeriksa kriteria performansi tegangan *member* pada analisis *in-place* yang menghasilkan indeks kehandalan β yang sangat besar. Penerapan faktor beban yang dikaji berupa faktor beban gelombang dapat dianggap terlalu konservatif untuk struktur *existing platform* di perairan Laut Natuna.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada tugas akhir ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut,

1. Pada analisis *in-place* kondisi *operating*, *member* yang memiliki UC tegangan terbesar terletak pada struktur *deck* yaitu *member* S109-S155 pada *sub cellar deck* dengan besar UC 0.8 sedangkan pada analisis *in-place* kondisi *storm* adalah *member* 203P-303P pada tiang pancang dengan besar UC 0.95.
2. Untuk *punching shear* analisis *inplace*, *joint-joint* dengan UC kritis berada pada titik-titik pertemuan *bracing* di kaki *jacket*.
3. Dalam pemeriksaan kapasitas aksial tiang pancang, struktur *jacket* yang telah berdiri memenuhi kriteria pemeriksaan baik pada kondisi *operating* maupun *storm* sesuai dengan API RP-2A LRFD.
4. Pada analisis *seismic*, nilai UC semakin membesar pada kondisi DLE jika dibandingkan dengan kondisi SLE baik pada UC tegangan *member* maupun UC *joint punching shear*.
5. *Member* yang memiliki UC terbesar pada analisis *seismic* kondisi SLE dan kondisi DLE terletak pada *member* tiang pancang 203P-303P dengan besar UC masing-masing 0.76 pada kondisi SLE dan 0.8 pada kondisi DLE.
6. Untuk *joint punching shear* analisis *seismic*, UC terbesar ialah pada kuat gempa DLE pada titik pertemuan

framing jacket dengan *jacket horizontal bracing* elevasi 18.83 ft.

7. Pemeriksaan kapasitas aksial tiang pancang pada analisis *seismic* telah memenuhi kriteria pemeriksaan sesuai dengan API RP-2A LRFD.
8. Perhitungan *fatigue life* pada analisis *fatigue* dilakukan dengan memberikan *safety factor* sebesar 2 dan nilai kerusakan terbesar yang didapatkan adalah 0.96 dengan *fatigue life* adalah sebesar 78.125 tahun pada *joint jacket horizontal bracing* J448.
9. UC *member-member* perwakilan struktur pada struktur anjungan dari 50 simulasi dapat dimodelkan mengikuti distribusi lognormal dengan tingkat kepercayaan 20% .
10. Indeks kehandalan (β) diperoleh melalui metoda simulasi Monte-Carlo. *Member* tiang pancang 203P-303P memiliki nilai indeks kehandalan (β) terendah sebesar 8.71 dan *member jacket deck leg* 803L-S002 memiliki nilai indeks kehandalan (β) tertinggi sebesar 14.5 pada desain struktur terhadap tinggi gelombang signifikan (H_s) untuk kriteria performansi tegangan *member* pada analisis *inplace* dengan banyak simulasi masing-masing 50 kali.
11. Kesimpulan terhadap kajian awal mengenai penerapan faktor beban dalam API RP-2A LRFD 1993 pada perairan Indonesia adalah penerapan faktor beban yang dikaji berupa faktor beban gelombang dapat dianggap terlalu konservatif untuk struktur *existing platform* di perairan Laut Natuna.

Beberapa hal yang bisa dilanjutkan dari tugas akhir ini yaitu,

1. Dalam tugas akhir selanjutnya, analisis kehandalan dengan metode simulasi Monte-Carlo agar melakukan jumlah simulasi

- sekurang-kurangnya 100,000 kali agar mendapatkan hasil simulasi yang lebih akurat.
2. Melakukan kajian pada penerapan faktor beban lingkungan lainnya seperti beban angin dan beban arus di perairan Laut Natuna.
 3. Menggunakan variabel acak kapasitas lainnya seperti Modulus Young pada material struktur.
 4. Analisis kehandalan pada struktur anjungan lepas pantai di berbagai lokasi perairan Indonesia untuk mendapatkan kesimpulan mengenai kajian penerapan faktor beban lingkungan API RP-2A LRFD secara umum sehingga dapat menjadi perbandingan mengenai karakteristik struktur dan lingkungan di sekitar anjungan yang berdiri.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. 1993. Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform – Load Resistance and Factor Design, API RP-2A LRFD, 1st Edition. Washington D.C: American Petroleum Institute.
- American Petroleum Institute. 2007. Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform – Working Stress Design, API RP-2A WSD, 21st Edition. Washington D.C: American Petroleum Institute.
- Bai, Yong. 2003. Marine Structural Design. Oxford: Elsevier.
- Chakrabarti, Subrata K. 2005. Handbook of Offshore Engineering. Planfield: Elsevier.
- Efthymiou, M., dkk. (1997): Reliability-Based Criteria for Fixed Steel Offshore Platform.
- Goda, Yoshimi. 2010. Random Seas and Design of Maritime Structures. Singapore: World Scientific.
- Haldar. Achintya, Sankaran Mahadevan. 2000. Probability, Reliability, and Statistical Methods in Engineering. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- International Organization for Standardization. ISO 19902:2007 Petroleum and Natural Gas Industries – Fixed Offshore Structures.
- Nallayarasu, Seeninaidu. Offshore Structures: Analysis and Design. India: Indian Institute of Technology Madras.
- Ochi, Michel K. 1998. Ocean Waves: The Stochastic Approach. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tawekal, Ricky Lukman. 2011. SI 7173. Perencanaan Bangunan Lepas Pantai. Bandung: Penerbit ITB.
- Tawekal, Ricky Lukman. Perhitungan Faktor Beban Gaya Lingkungan Untuk Analisis Struktur Anjungan Lepas Pantai Dengan Metoda LRFD. Media Komunikasi Teknik Sipil, Volume 12, Edisi XXX Oktober 2004
- Tawekal, Ricky Lukman. Studi Perbandingan Metoda WSD dan LRFD Dalam Analisis Struktur Anjungan Lepas Pantai. Media Komunikasi Teknik Sipil, Volume 12, Edisi XXIX Juli 2004.
- Wurjanto, Andoyo. 2004. Analisis Statistik dan Probabilitas. Bandung: Penerbit ITB.