

DESAIN DAN ANALISIS KEHANDALAN STRUKTUR FLARE TRIPOD PLATFORM DI PERAIRAN LAUT NATUNA

Febriana Dwi Astuti¹ dan Ricky Lukman Tawekal²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan

Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

¹febrianadwi2@gmail.com dan ²ricky@ocean.itb.ac.id

Kata kunci : struktur, analisis *inplace*, analisis *seismic*, analisis *fatigue*, analisis kehandalan

PENDAHULUAN

Anjungan lepas pantai (*offshore platform*) merupakan sebuah struktur yang dibangun di laut untuk memenuhi kebutuhan eksplorasi minyak bumi dan gas alam dalam jangka waktu yang cukup lama. Selain keperluan anjungan lepas pantai untuk keperluan pokok seperti eksplorasi, *drilling*, dan produksi, terdapat pula *platform* yang digunakan sebagai *support structure* seperti *flare bridge platform*. *Flare bridge platform* merupakan struktur penopang *bridge* yang diperlukan untuk menghubungkan *flare* dan *process platform*. *Flare* dalam kegiatan produksi berfungsi untuk membakar minyak bumi atau gas alam hasil eksplorasi yang tidak terpakai, sedangkan *bridge* merupakan fasilitas yang berfungsi untuk kegiatan transport minyak bumi dan gas alam tak terpakai ke *flare*.

Sama halnya seperti *platform* yang lain, *flare bridge platform* harus mampu menerima beban mati, beban hidup, dan beban lingkungan tanpa mengalami kegagalan struktural. Perancangan *platform* tersebut mengacu kepada standar internasional, salah satunya adalah API RP-2A. API RP-2A terbagi menjadi dua jenis berdasarkan metoda pembebanannya, yaitu WSD (*Working Stress Design*) dan LRFD (*Load Resistance Factor Design*). Desain struktur dengan metoda LRFD dinilai dapat menghasilkan struktur yang lebih ekonomis karena beratnya yang lebih ringan dibandingkan desain struktur dengan metoda WSD. Akan tetapi, metoda pembebanan API RP-2A LRFD menggunakan faktor beban lingkungan di wilayah perairan *North Sea* yang mungkin tidak sesuai untuk struktur di

perairan Indonesia. Oleh karena itu diperlukan kajian terhadap struktur menilai kesesuaian faktor beban lingkungan dengan metoda LRFD untuk perairan di Indonesia.

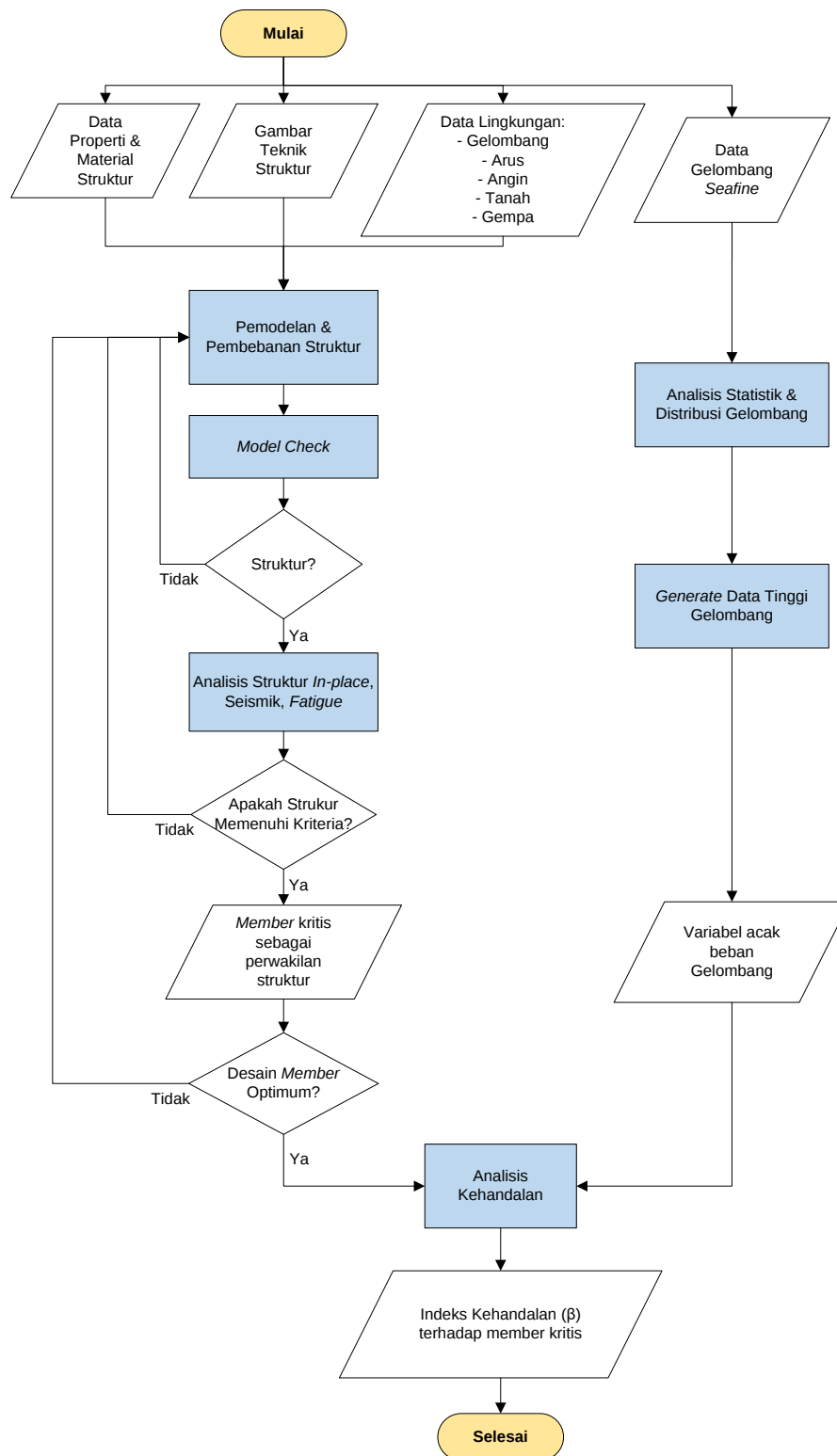
TEORI DAN METODOLOGI

Dalam penulisan Tugas Akhir, pembahasan meliputi tiga bagian besar, yaitu pemodelan struktur, pemeriksaan kekuatan struktur, dan analisis kehandalan struktur. Pemodelan struktur dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SACS (*Structural Analysis Computer System*). Pemodelan dilakukan dengan membuat *joint* dan member serta mendefinisikan properti material. Pemodelan juga dilakukan terhadap beban-beban yang akan bekerja pada struktur, baik beban sendiri struktur, beban lingkungan, maupun beban kegiatan serta peralatan. Setelah pemodelan sudah sesuai, selanjutnya dilakukan pemeriksaan kekuatan struktur.

Pemeriksaan kekuatan struktur dilakukan berdasarkan analisis *inplace*, *seismic*, dan *fatigue*. Analisis *inplace* dilakukan untuk memeriksa kekuatan struktur dalam menerima beban baik pada kondisi *operating* maupun *storm*, sedangkan analisis seismik digunakan untuk memeriksa kekuatan struktur apabila terjadi gempa. Pada analisis *inplace* dan seismik, pemeriksaan dilakukan terhadap tegangan member dan *joint punching shear* yang diwakili dengan nilai UC (*Unity Check*), serta pemeriksaan kapasitas tiang pancang. Pada analisis *fatigue*, pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui masa layan *joint* struktur apabila dikenai beban siklik. Model dari struktur harus memenuhi ketentuan desain dari ketiga analisis tersebut menurut standar API RP-2A LRFD 1993. Dari proses pemeriksaan tersebut akan dipilih member yang kritis tegangannya atau member dengan nilai UC terbesar berdasarkan kategori *bracing*, *deck*, *jacket leg*, dan *pile*.

Pemeriksaan kesesuaian faktor beban dengan prinsip LRFD dapat dilakukan dengan analisis kehandalan. Analisis kehandalan pada Tugas Akhir ini menggunakan simulasi Monte Carlo dengan membangkitkan variabel acak beban berupa tinggi dan perioda gelombang yang merepresentasikan data gelombang pada lokasi struktur dan variabel acak kapasitas berupa tegangan leleh material berdasarkan referensi ISO 19902 *Fixed Steel Offshore Structure*. Analisis kehandalan dengan simulasi Monte Carlo dilakukan pada member-member kritis struktur untuk memperoleh indeks kehandalan (β) dengan kondisi performansi tegangan member pada analisis *inplace* dengan perangkat lunak SACS sesuai API RP-2A LRFD 1993 sebanyak 50 kali simulasi dengan 50 set data tinggi dan perioda gelombang serta 50 set data tegangan leleh. Untuk lebih mendekati keadaan di lapangan, faktor reduksi kekuatan pada material struktur dihilangkan. Diharapkan dari analisis

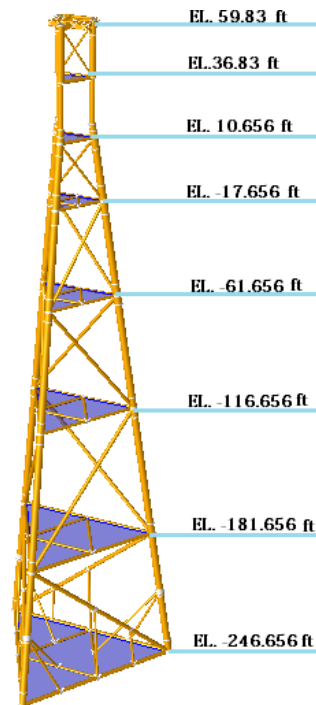
kehandalan yang dilakukan akan didapatkan nilai indeks kehandalan member yang mewakili struktur. Ilustrasi metodologi dalam Tugas Akhir ini ditunjukkan oleh **Gambar 1**.



Gambar 1 Diagram alir metodologi penulisan Tugas Akhir

HASIL DAN ANALISIS

Pemodelan struktur *flare tripod* menggunakan perangkat lunak SACS sehingga didapatkan model struktur seperti pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Hasil pemodelan struktur *flare tripod*

A. Analisis *Inplace*

Dari pemeriksaan struktur dengan analisis *inplace*, didapatkan nilai UC untuk kondisi *operating* maupun *storm* telah memenuhi kriteria desain, yaitu nilai $UC < 1$ untuk kondisi *operating* dan $UC < 1.33$ untuk kondisi *storm*. Nilai UC maksimum untuk kondisi *inplace* terdapat pada grup LG5 dengan nilai UC 0.38, sedangkan untuk kondisi *storm* didapatkan nilai UC maksimum sebesar 0.8 pada grup LG5. Hasil UC member untuk kondisi *operating* dan *storm* ditunjukkan oleh **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Tabel 1 Hasil *Unity Check* Member Kondisi *Operating*

Kategori	Grup	Member	Properti Tubular OD x WT (in)	Properti Wide Flange	UC
Bracing	B4	106L-108L	22 x 0.5		0.18
Jacket leg	LG5	115L-118L	40 x 0.25		0.37
Pile	PL2	105P-108P	36 x 1		0.22
Deck	DK1	0008-0000		W24 x 146	0.26

Tabel 2 Hasil *Unity Check* Member Kondisi *Storm*

Kategori	Grup	Member	Properti Tubular OD x WT (in)	Properti Wide Flange	UC
Bracing	B4	105L-107L	22 x 0.5		0.15
Jacket leg	LG5	115L-118L	40 x 0.25		0.80
Pile	PL2	102P-105P	36 x 1		0.38
Deck	DK1	0008-0000		W24 x 146	0.26

Dari hasil pemeriksaan tegangan *joint* pada analisis *inplace*, didapatkan nilai UC *joint* kurang dari 1.00 dengan UC maksimum untuk kondisi *operating* sebesar 0.102 sedangkan untuk kondisi *storm* sebesar 0.128. Nilai UC tersebut ditunjukkan oleh **Tabel 3** dan **4**.

Tabel 3 Hasil *Unity Check Joint Punching Shear* Kondisi *Operating*

Joint	Diameter (in)	Thickness (in)	Lokasi Joint (ft)	Yield Stress (ksi)	UC Ratio
116L	41.5	1.25	10.656	36	0.102
118L	41.5	1.25	10.656	36	0.093
117L	41.5	1.25	10.656	36	0.09
108L	41.5	1.25	-116.656	36	0.089
112L	41.5	1.25	-61.656	36	0.089

Tabel 4 Hasil *Unity Check Joint Punching Shear* Kondisi *Operating*

Joint	Diameter (in)	Thickness (in)	Lokasi Joint (ft)	Yield Stress (ksi)	UC Ratio
112L	41.5	1.25	-61.656	36	0.128
111L	41.5	1.25	-61.656	36	0.12
106L	41.5	1.25	-181.656	36	0.119
109L	41.5	1.25	-116.656	36	0.117
107L	41.5	1.25	-116.656	36	0.117

Dari hasil pemeriksaan faktor keamanan tiang pancang, didapatkan nilai kapasitas *pile* baik kondisi *operating* maupun *storm* melebihi nilai beban yang bekerja. Hasil pemeriksaan *pile* untuk kondisi *operating* dan *storm* ditunjukkan oleh **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

Tabel 5 Pemeriksaan Kapasitas *Pile* untuk Kondisi *Operating*

Pile Head Joint	Kapasitas tekan Q_d (kips)	$0.7 Q_d$	Beban Maksimum (kips)	Pemeriksaan
101P	1671.315	1169.921	631.88	OK
102P	1967.295	1377.107	644.8	OK
103P	1820.88	1274.616	619.39	OK

Tabel 6 Pemeriksaan Kapasitas *Pile* untuk Kondisi *Storm*

Pile Head Joint	Kapasitas tekan Q_d (kips)	$0.8 Q_d$	Beban Maksimum (kips)	Pemeriksaan
101P	1671.315	1337.052	1196.23	OK
102P	1967.295	1573.836	1187.9	OK
103P	1820.88	1456.704	1156.5	OK

Struktur tersebut dinyatakan memenuhi pemeriksaan dengan analisis *inplace* baik berdasarkan hasil pemeriksaan tegangan member, tegangan sambungan (*joint punching shear*), maupun faktor kapasitas tiang pancang baik pada kondisi *operating* maupun *storm*.

B. Analisis Seismic

Hasil analisis seismik berupa UC member pada kondisi SLE dan DLE ditampilkan pada **Tabel 7** dan **Tabel 8**. Untuk kondisi SLE, nilai UC maksimum adalah pada grup member PL2 yaitu sebesar 0.303. Sedangkan untuk kondisi DLE, nilai UC maksimum adalah pada grup member LG5 yaitu sebesar 0.527.

Tabel 7 Hasil *Unity Check* Member Kondisi SLE

Kategori	Grup	Member	Properti Tubular OD x WT (in)	Properti Wide Flange	UC
Bracing	B4	104L-109L	22 x 0.5		0.179
Jacket leg	LG5	114L-117L	40 x 0.25		0.283
Pile	PL2	101P-PL33	36 x 1		0.303
Deck	DK1	0008-0000		W24 x 146	0.181

Tabel 8 Hasil *Unity Check* Member Kondisi DLE

Kategori	Grup	Member	Properti Tubular OD x WT (in)	Properti Wide Flange	UC
Bracing	B4	104L-109L	22 x 0.5		0.288
Jacket leg	LG5	115L-118L	40 x 0.25		0.527
Pile	PL2	101P-PL33	36 x 1		0.423
Deck	DK1	0029-0002		W24 x 146	0.186

Pada **Tabel 9** dan **Tabel 10** ditampilkan nilai UC untuk analisis *joint punching shear* pada kondisi SLE dan DLE. Untuk kondisi SLE, nilai rasio UC maksimum adalah 0.234, sedangkan untuk kondisi DLE, nilai rasio UC maksimum adalah 0.419.

Tabel 9 Hasil *Unity Check Joint Punching Shear* Kondisi SLE

Joint	Diameter (in)	Thickness (in)	Lokasi Joint (ft)	Yield Stress (ksi)	UC Ratio
116L	41.5	1.25	10.656	36	0.234
117L	41.5	1.25	10.656	36	0.226
118L	41.5	1.25	10.656	36	0.208
104L	41.5	1.25	-181.656	36	0.196
105L	41.5	1.25	-181.656	36	0.189

Tabel 10 Hasil *Unity Check Joint Punching Shear* Kondisi DLE

Joint	Diameter (in)	Thickness (in)	Lokasi Joint (ft)	Yield Stress (ksi)	UC Ratio
116L	41.5	1.25	10.656	36	0.419
118L	41.5	1.25	10.656	36	0.399
117L	41.5	1.25	10.656	36	0.399
115L	41.5	1.25	-17.656	36	0.351
104L	41.5	1.25	-181.656	36	0.342

Pada **Tabel 11** dan **Tabel 12** ditampilkan hasil pemeriksaan kapasitas *pile* dimana seluruh *pile* pada kondisi SLE maupun DLE lebih besar dari beban yang bekerja pada *pile*.

Tabel 11 Pemeriksaan Kapasitas *Pile* untuk Kondisi SLE

Pile Head Joint	Kapasitas tekan Q_d (kips)	$0.7 Q_d$	Beban Maksimum (kips)	Pemeriksaan
101P	1687.12	1180.984	783.3	OK
102P	1977.98	1384.586	778.9	OK
103P	1837.69	1286.383	780.5	OK

Tabel 12 Pemeriksaan Kapasitas *Pile* untuk Kondisi DLE

Pile Head Joint	Kapasitas tekan Q_d (kips)	$0.7 Q_d$	Beban Maksimum (kips)	Pemeriksaan
101P	1687.12	1180.984	1028.4	OK
102P	1977.98	1384.586	1025.7	OK
103P	1837.69	1286.383	1031.8	OK

Struktur tersebut dinyatakan memenuhi pemeriksaan dengan analisis *seismic* baik berdasarkan hasil pemeriksaan tegangan member, tegangan sambungan (*joint punching shear*), maupun faktor keamanan tiang pancang baik pada kondisi SLE maupun DLE.

C. Analisis *Fatigue*

Pada analisis *fatigue* untuk struktur di Tugas Akhir ini, tidak terdapat *joint* yang memiliki masa layan kurang dari 59 tahun. Artinya, struktur *flare tripod* tersebut memenuhi pemeriksaan analisis *fatigue*. Nilai damage terbesar yang terjadi pada joint ditunjukkan oleh **Tabel 13**.

Tabel 13 Hasil *Damage* Terbesar pada *Joint Punching Shear*

Nama Joint	Nama Member	Grup	OD (in)	WT(in)	Damage	Service Life (tahun)
114L	111L-114L	LG4	41.5	1.25	.10366-6	19294.+4
114L	112L-114L	B2	18	0.5	.85682-7	23342.+4
114L	0080-114L	F2	18	0.5	.22691-7	88139.+4
110L	107L-110L	LG3	41.5	1.25	.21620-7	92509.+4
110L	109L-110L	B3	20	0.5	.37876-8	52804.+5

D. Analisis Kehandalan

Pada analisis kehandalan, pembangkitan variabel acak H dilakukan dengan pembangkit angka acak (*pseudo random numbers generator*) pada perangkat lunak Ms. Excel. Uji kecocokan distribusi gelombang hasil pengamatan terhadap distribusi teoritis menghasilkan nilai *error* terkecil untuk distribusi lognormal seperti pada **Tabel 14** yang berarti bahwa distribusi gelombang pengamatan paling mendekati bentuk distribusi lognormal.

Tabel 14 Hasil Uji Kecocokan Data Gelombang dengan Kolmogorov Smirnov

Jenis distribusi	Parameter statistik			Error
	Mean	Standar Deviasi	R	
Normal (μ, σ)	1.0086	0.64053		0.1637
Lognormal (μ, σ)	0.98	0.586		0.0642
Rayleigh (R)			0.80472	0.1825

Dari parameter distribusi ini, dibuatlah pembangkitan 50 data tinggi gelombang acak dengan bantuan perangkat lunak Ms. Excel. Data 50 periode gelombang didapatkan dari hasil analisis regresi dari data pengamatan sehingga menghasilkan persamaan periode gelombang sebagai fungsi dari tinggi gelombang sebagai berikut:

$$T = 0.699H + 3.98$$

dimana:

T = periode gelombang (s)

H = tinggi gelombang (m)

Nilai 50 data tegangan leleh (F_y) dibangkitkan menggunakan parameter statistik dan probabilitas yang diketahui menurut referensi tertentu. Pada Tugas Akhir ini, digunakan referensi data ISO 19902 *Fixed Steel Offshore Structure*. Menurut ISO, tegangan leleh material dapat dimodelkan sebagai distribusi lognormal dengan koefisien variasi (COV) sebesar 0.057 dan *mean coefficient* sebesar 1.13. Dari parameter distribusi dan statistik ini, dapat dihasilkan 50 nilai tegangan leleh acak dengan asumsi mean sebesar 1.13 kali dari 36 ksi, yaitu 40.68 ksi.

Simulasi dengan 50 set data gelombang dan tegangan leleh (F_y) pada analisis *inplace* dengan faktor beban gelombang LRFD dilakukan pada struktur sehingga didapatkan 50 nilai UC untuk masing-masing kategori struktur (*bracing*, *deck*, *jacket leg*, dan *pile*) sehingga dapat dicari bentuk distribusinya. Uji kecocokan K-S menghasilkan error terkecil pada distribusi lognormal seperti pada **Tabel 15**.

Tabel 15 Hasil Uji Kecocokan Distribusi UC Member dengan Kolmogorov Smirnov

	Bracing (B4)	Deck (DK1)	Jacket Leg (LG5)	Pile (PL2)
Error Normal	0.135	0.1	0.13	0.14
Error Lognormal	0.111	0.09	0.09	0.11
Error Rayleigh	0.459	0.51	0.43	0.47

Dari hasil simulasi Monte Carlo, semua nilai UC untuk masing-masing member pada tiap kategori tidak ada yang mengalami kegagalan ($UC < 1$). Hal ini bukan berarti bahwa peluang kegagalan member adalah nol, namun nilai kegagalan member dari 50 kali percobaan adalah

$$0 < x < \frac{1}{50}$$

Untuk mencari probabilitas kegagalan dan indeks kehandalan, maka digunakan asumsi bahwa nilai UC untuk member kritis mendekati distribusi lognormal, sehingga probabilitas dan indeks kehandalan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$p_f = P(UC \geq 1) = 1 - \left[\Phi\left(\frac{1 - \lambda_{UC}}{\zeta_{UC}}\right) - \Phi\left(\frac{-\infty - \lambda_{UC}}{\zeta_{UC}}\right) \right]$$

$$p_f = 1 - \left[\Phi\left(\frac{1 - \lambda_{UC}}{\zeta_{UC}}\right) - \Phi(-\infty) \right]$$

$$p_f = 1 - p_s$$

$$p_s = \Phi(\beta)$$

dimana:

λ_{UC} = rata – rata dalam distribusi log normal

ζ_{UC} = standar deviasi dalam distribusi log normal

p_f = *probability of failure*

p_s = *probability of success*

β = indeks kehandalan

Hasil perhitungan indeks kegagalan (β) dapat dilihat pada **Tabel 16** berikut.

Tabel 16 Hasil Perhitungan Indeks Kehandalan untuk Masing-Masing Kategori Member

	Bracing	Deck	Jacket Leg	Pile
Mean	0.07	0.18	0.09	0.09
Standar Deviasi	0.01	0.01	0.01	0.01
Indeks Kehandalan β	29.63	42.22	22.35	31.09

Nilai β kritis sebesar 22.35 yang diperoleh dari analisis sangat jauh besarnya dari kisaran nilai rekomendasi untuk kelas keamanan tinggi, yaitu sebesar 3.74, sehingga dapat disimpulkan bahwa penerapan faktor beban gelombang API RP-2A LRFD 1993 pada Tugas Akhir ini menghasilkan struktur yang konservatif. Oleh karena itu nilai indeks kehandalan di atas juga akan dibandingkan dengan indeks kehandalan hasil simulasi model menggunakan faktor beban LRFD atau tidak menghilangkan faktor beban LRFD menjadi 1.00.

Hasil uji kecocokan untuk menentukan bentuk distribusi UC member pada masing-masing kategori (*bracing*, *deck*, *jacket leg*, dan *pile*) ditampilkan pada **Tabel 17**.

Tabel 17 Hasil Uji Kecocokan Distribusi UC Member dengan Kolmogorov Smirnov dengan Faktor Beban LRFD

	Bracing (B4)	Deck (DK1)	Jacket Leg (LG5)	Pile (PL2)
Error Normal	0.12	0.03	0.23	0.32
Error Lognormal	0.11	0.03	0.15	0.28
Error Rayleigh	0.51	0.5	0.39	0.46

Nilai error yang lebih kecil menunjukkan bentuk distribusi yang paling mendekati bentuk distribusi dari UC member. Dari hasil uji kecocokan tersebut, bentuk distribusi UC semua member kritis untuk masing-masing kategori mendekati bentuk distribusi Lognormal.

Hasil perhitungan indeks kegagalan (β) model struktur dengan faktor beban LRFD dapat dilihat pada **Tabel 18** berikut.

Tabel 18 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan untuk Masing-Masing Kategori Member dengan Faktor Beban LRFD

	Bracing	Deck	Jacket Leg	Pile
Mean μ	0.09	0.19	0.14	0.11
Standar Deviasi σ	0.01	0.01	0.04	0.01
Indeks Keandalan β	32.3	41.2	15.2	28.9

Nilai β kritis dengan penggunaan faktor beban LRFD sebesar 15.2 yang diperoleh dari analisis sangat jauh besarnya dari kisaran nilai rekomendasi untuk kelas keamanan tinggi, yaitu sebesar 3.72, namun lebih kecil nilainya dibandingkan simulasi menggunakan faktor beban gelombang LRFD saja yaitu sebesar 22.35.

Nilai β yang besar juga dipengaruhi oleh struktur awal yang tidak dioptimasi atau nilai UCnya masih relatif kecil, yaitu untuk kondisi *inplace* UC terbesar bernilai 0.8 sedangkan untuk kondisi seismic DLE bernilai 0.527.

Menurut Haldar (2000:258), banyaknya simulasi akan berpengaruh terhadap akurasi dari estimasi kegagalan. Dikatakan bahwa dalam banyak permasalahan engineering, probabilitas kegagalan bisa memiliki nilai lebih kecil dari 10^{-5} . Angka ini menunjukkan bahwa hanya 1 kejadian gagal dari 100.000 percobaan. Paling tidak dibutuhkan 100,000 atau bahkan satu juta simulasi untuk memperoleh hasil probabilitas kegagalan yang cukup akurat. Dan untuk n variabel acak yang diperhitungkan, akan dibutuhkan n juta bilangan acak untuk mengestimasi secara akurat probabilitas kegagalan dengan metode Monte Carlo (Haldar, 2000:259).

KESIMPULAN

1. Struktur telah memenuhi pemeriksaan untuk kondisi *inplace*, *seismic*, dan *fatigue*.
2. Struktur dinilai kurang optimal untuk kondisi *inplace* karena UC terbesar bernilai 0.8 sedangkan untuk kondisi *seismic* DLE bernilai 0.527.
3. Analisis keandalan menggunakan tinggi gelombang signifikan dan tegangan leleh baja sebagai variabel acak.
4. Member dengan UC maksimum pada kategori *bracing*, *deck*, *jacket leg*, dan *pile* kondisi *storm* digunakan sebagai perwakilan struktur dalam analisis keandalan.
5. UC member kritis struktur anjungan dari 50 simulasi dimodelkan mengikuti distribusi lognormal.

6. Indeks kehandalan struktur (β) diperoleh melalui metode simulasi Monte Carlo.
7. Diperoleh β kritis untuk kriteria performansi tegangan member pada analisis *inplace* dengan banyak simulasi masing-masing 50 kali dengan faktor beban gelombang saja adalah sebesar 22.35, sedangkan dengan penggunaan faktor beban LRFD didapatkan nilai β kritis sebesar 15.2.
8. Dengan variabel acak beban gelombang dan kapasitas leleh pada struktur ini, penggunaan faktor beban API RP-2A LRFD, khususnya faktor beban gelombang sangat konservatif untuk Perairan Laut Natuna.
9. Struktur tidak dioptimasi sehingga memiliki indeks kehandalan yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute, API RP 2A LRFD: Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Load and Resistance Factor Design*, Houston, Juli 1993.
- Bai, Yong. 2003. *Marine Structural Design*. Oxford: Elsevier.
- Chakrabarti, Subrata K. 2005. *Handbook of Offshore Engineering*. Oxford: Elsevier.
- Haldar. Achintya, Sankaran Mahadevan. 2000. *Probability, Reliability, and Statistical Methods in Engineering*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Ochi, Michel K. 1998. *Ocean Waves: The Stochastic Approach*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nallayarasu, S. tanpa tahun. *Offshore Structures: Analysis and Design*. Chennai: Indian Institute of Technology Madras.
- Wurjanto, Andoyo. 2004. *Analisis Statistik dan Probabilitas*. Bandung: Penerbit ITB.