

DESAIN DAN ANALISIS KEHANDALAN ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE *JACKET* 4 KAKI DI PERAIRAN LAUT JAWA

Siti Nurzannah K¹ dan Ricky Lukman Tawekal²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

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

Abstrak: Dalam proses desain struktur anjungan lepas pantai terdapat banyak faktor keacakan baik dalam pembebanan maupun kekuatan struktur sendiri. Untuk melingkupi ketidakpastian ini maka dilakukan penerapan faktor beban pada proses desain struktur. Faktor beban yang biasa dipakai adalah WSD (*Working Stress Design*) dan LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) yang masing-masing memberikan suatu faktor ketidakpastian terhadap nilai beban dan nilai kekuatan struktur. Adapun standar desain yang umumnya digunakan dalam proses desain anjungan lepas pantai di Indonesia adalah API RP2A LRFD yang pembuatan faktor bebannya sendiri berdasarkan kondisi lingkungan di Gulf of Mexico, yang mana sangat jauh berbeda dengan kondisi lingkungan Indonesia. Untuk mengetahui informasi penggunaan faktor beban LRFD di Indonesia, dilakukan desain struktur dengan kriteria memenuhi analisis *Inplace*, analisis *Seismic*, dan analisis *Fatigue* sesuai ketentuan API RP2A LRFD. Untuk penelitian lebih lanjut, struktur yang telah memenuhi kriteria desain LRFD kemudian dicari indeks kehandalannya sebagai parameter kekuatan struktur terhadap variable acak beban dan kuat material. Pada penelitian ini dipilih empat member penting yang masing-masing mewakili empat bagian utama struktur. Adapun analisis kehandalan dilakukan dengan menggunakan metode Monte Carlo yang umum digunakan di dunia keteknikan. Nilai indeks kehandalan struktur akan menentukan apakah desain struktur konservatif atau tidak terhadap faktor beban LRFD.

Kata kunci: struktur *jacket*, analisis *inplace*, analisis kehandalan, Monte Carlo, indeks kehandalan.

PENDAHULUAN

Anjungan lepas pantai merupakan struktur lepas pantai yang secara umum digunakan untuk keperluan eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi. Anjungan lepas pantai dapat *fixed* terhadap *seabed* dan dapat terapung. Adapun pada pengerjaan tugas akhir ini digunakan struktur fised terhadap seabed bertipe *jacket* 4 kaki. Struktur ini terletak pada perairan Laut Jawa dengan kedalaman perairan 100 ft dihitung dari MSL. Struktur yang dipilih akan dilakukan desain hingga memenuhi kriteria API RP2A LRFD.

Dalam mendesain struktur ada tiga analisis yang perlu dilakukan yaitu analisis *Inplace* dimana struktur dianalisis saat struktur telah berdiri, analisis *seismic* dimana mengecek kekuatan struktur terhadap beban gempa yang terjadi pada lokasi struktur berdiri, dan analisis *fatigue* untuk mengecek ketahanan terhadap beban siklik gelombang.

Pada analisa *inplace* dilakukan optimasi penampang pada struktur yang mengalami kegagalan saat dilakukan simulasi. Setelah struktur telah memenuhi kriteria desain, dilakukan analisis kehandalan dari struktur yang telah dioptimasi pada analisa *inplace*

dengan tujuan mengetahui *probability of failure* (*pf*) struktur dengan fungsi performansi diwakili oleh beban dan tahanan struktur. Akan diperoleh indeks kehandalan (β) member struktur, yang mana diharapkan dapat memberikan informasi awal terhadap kajian penerapan faktor beban desain API RP2A LRFD pada perairan Laut Jawa.

METODOLOGI PENULISAN

Tahapan pengerjaan tugas akhir ini meliputi pemodelan struktur berdasarkan data desain yang telah ada kemudian dilakukan pemeriksaan kekuatan struktur sesuai standar desain yang digunakan (API RP2A LRFD). Struktur yang telah didesain memenuhi kriteria LRFD kemudian dianalisis kehandalan.

Tahap pemodelan struktur anjungan lepas pantai dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SACS (Structural Analysis Computer System). Tahap ini mencakup pembuatan member dan property struktur serta pemberian beban-beban yang bekerja pada struktur seperti beban sendiri struktur, beban equipment, dan beban lingkungan.

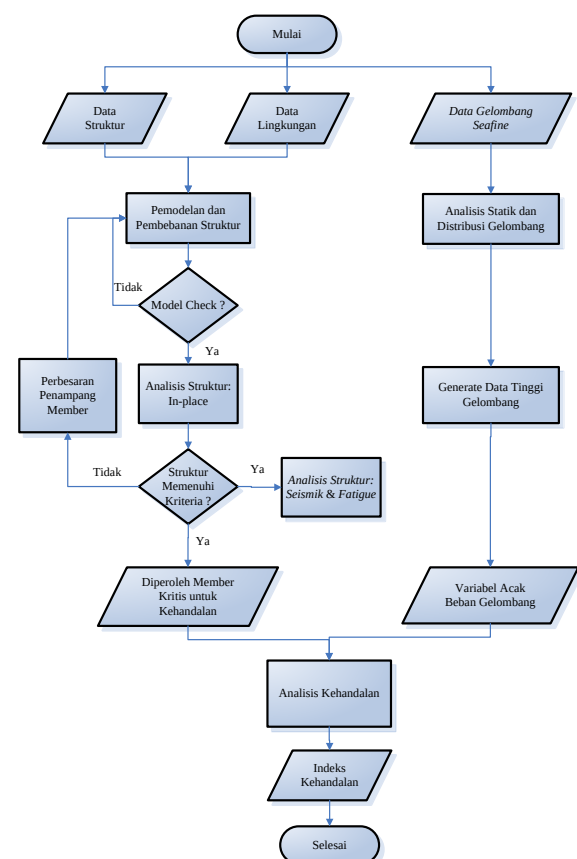
Proses desain awal dilakukan berdasarkan kriteria analisis *inplace*. Kemudian dilakukan pengecekan terhadap analisis seismik dan *fatigue*. Pada proses desain dilakukan pemeriksaan tegangan member, joint punching shear, dan pemeriksaan terhadap kapasitas pile. Jika terdapat kegagalan struktur maka dilakukan desain ulang penampang hingga memenuhi kriteria desain.

Tahap terakhir yang dilakukan adalah analisis kehandalan dengan menggunakan struktur yang telah didesain. Selain model struktur, analisis ini juga membutuhkan variable acak

beban dan kekuatan struktur. Untuk variable acak beban digunakan data gelombang signifikan hasil generated seafine, dan untuk variable acak kekuatan struktur digunakan data kuat leleh baja yang degenerated berdasarkan parameter ISO 19902.

Analisis kehandalan dilakukan pada satu empat member penting yang masing-masing mewakili empat bagian utama struktur. Analisis kehandalan pada member-member ini akan menghasilkan nilai indeks kehandalan (β) dengan kondisi performansi tegangan member pada analisis *inplace*. Adapun untuk proses analisis kehandalan, digunakan metode Monte Carlo.

Tahapan secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.

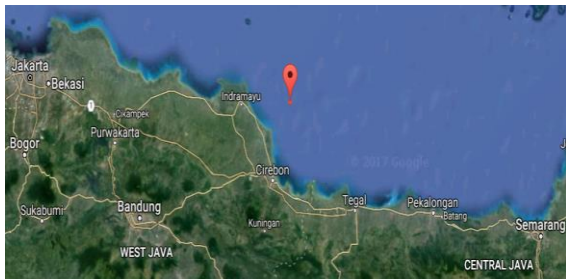


Gambar 1. Diagram alir pengerjaan tugas akhir

DESKRIPSI STRUKTUR DAN DATA LINGKUNGAN

Struktur anjungan lepas pantai yang dianalisis pada pengerjaan tugas akhir ini merupakan struktur anjungan lepas pantai bertipe jacket empat kaki yang telah terinstal di perairan Laut Jawa. Lokasi platform berada pada koordinat $06^{\circ} 20' 15.00''$ Lintang Selatan dan $108^{\circ} 40' 17.00''$ Bujur Barat. Lokasi ini berada di sebelah Utara dari Cirebon dan sebelah Timur dari Indramayu, seperti terlihat pada Gambar 2.

Kedalaman perairan pada lokasi ini adalah 100 ft dihitung dari datum *mean sea level* (MSL) terhadap *seabed*.



Gambar 2. Lokasi platform (Laut Jawa)

Struktur anjungan memiliki tiga jenis deck yaitu main deck pada elevasi + 45 ft, mezzanine deck pada elevasi +31 ft, dan cellar deck pada elevasi +25 ft. working point berada pada elevasi +15 ft dan jacket walkway berada pada elevasi +10 ft. Struktur anjungan dapat dilihat pada Gambar 3.

Data lingkungan yang akan digunakan pada proses analisis terdiri atas data angin, arus, dan gelombang. Untuk data angin yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah.

Tabel 1. Data Angin

Kondisi	Speed (ft/s)
1-year operating	42.19
100-years extreme	56.14

Data gelombang ditampilkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Data Gelombang

Kondisi	Hmax (ft)	Tmax (s)
1-year operating	14.83	8
100-years extreme	20.87	9.1

Sedangkan data arus dapat dilihat pada Tabel 3.

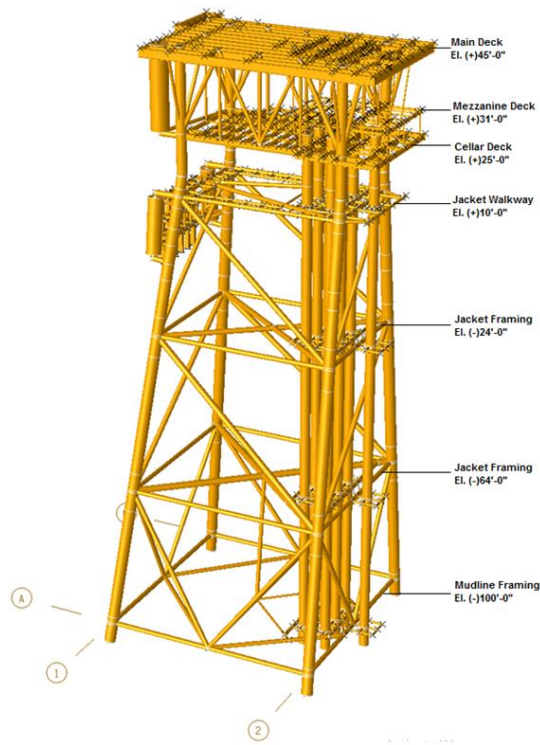
Tabel 3. Data arus

Kondisi	Velocity (ft/sec)
1-year operating	2.07
100-years extreme	2.56

Karena data arus diatas merupakan data tunggal dipermukaan air (0 MSL), maka dilakukan distribusi terhadap data arus menghasilkan data arus terdistribusi seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Distribusi arus

Operating		Storm	
Z (ft)	Uz (ft/s)	Z (ft)	Uz (ft/s)
0	0.000	0	0.000
10	1.490	10	1.842
20	1.645	20	2.034
30	1.743	30	2.155
40	1.816	40	2.246
50	1.875	50	2.319
60	1.924	60	2.380
70	1.967	70	2.433
80	2.005	80	2.480
90	2.039	90	2.522
100	2.070	100	2.560



Gambar 3. Model struktur pada SACS

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam proses desain dilakukan tiga analisis struktur yaitu inplace, seismic, dan fatigue. Untuk analisis inplace dilakukan pemeriksaan tegangan member yang terangkum dalam nilai *Unity Check* (UC), pemeriksaan *joint punching shear*, dan pemeriksaan kapasitas aksial tiang pancang sesuai dengan kriteria API RP2A LRFD. Analisis Inplace pada pengerjaan tugas akhir ini dilakukan pada dua kondisi pembebanan yaitu kondisi pembebanan *Operating* dan *Storm* yang masing-masing akan dilakukan untuk kedalaman perairan minimum dan maksimum.

Kriteria desain yang aman pada pemeriksaan UC tegangan member dan UC joint pada pemeriksaan *joint punching shear* adalah nilai $UC < 1$. Sedangkan pada pemeriksaan kapasitas tanah, beban yang terjadi pada tiang pancang harus lebih kecil dari kapasitas

tiang pancang yang telah terfaktor. Adapun faktor kapasitas pile berdasarkan API RP2A LRFD adalah 0.7 untuk pada kondisi *Operating* dan 0.8 untuk kondisi *Storm*.

Hasil dari pemeriksaan analisis struktur inplace untuk operating dan storm dapat dilihat pada Tabel 5 hingga Tabel 10 dibawah.

Tabel 5. UC Member Operating

Lokasi	Member	Group Property	UC Min	UC Max
Main Deck	M397-M030	(MA2) W24x68	0.851	0.85
Cellar Deck	C024-C029	(CL4) C8x11.5	0.574	0.576
Mezzanine Deck	Z037-Z016	(ME2) L4x4 ¹ / ₄	0.963	0.964
Deck Leg	603L-C003	(DL1) OD30" x 1"WT	0.394	0.396
Deck Brace	C002-M015	(TR1) OD10.75" x 0.365"WT	0.685	0.678
Jacket Leg	0026-0038	(LG2) OD34" x 0.5"WT	0.375	0.363
Jacket Brace	304L-403L	(DG2) OD16" x 0.375"WT	0.582	0.605
Pile	301P-401P	(PL1) OD30" x 1"WT	0.377	0.357

Tabel 6. UC Member Storm

Lokasi	Member	Group Property	Min UC	Max UC
Main Deck	M054-M057	(MA3) W16x21	0.734	0.727
Cellar Deck	C132-C133	(CL1) C16x67	0.927	0.927
Mezzanine Deck	0092-Z027	(ME2) L4x4 ¹ / ₄	0.664	0.663
Deck Leg	602L-C002	(DL1) OD30" x 1"WT	0.418	0.412
Deck Brace	C002-M015	(TR1) OD10.75" x 0.365"WT	0.623	0.614
Jacket Leg	0025-0037	(LG2) OD34" x 0.5"WT	0.483	0.483
Jacket Brace	304L-403L	(DG2) OD16" x 0.375"WT	0.818	0.842
Pile	301P-401P	(PL1) OD30" x 1"WT	0.555	0.537

Tabel 7. UC Joint Can Operating

Minimum		Maksimum	
Joint	UC	Joint	UC
403L	0.630	403L	0.704
402L	0.569	402L	0.554
304L	0.492	304L	0.492

Tabel 8. UC Joint Can Storm

Minimum		Maksimum	
Joint	UC	Joint	UC
304L	0.481	304L	0.481
303L	0.395	303L	0.389
302L	0.359	302L	0.364

Tabel 9. Kapasitas Pile Operating

Pile Joint	Kapasitas (Q _D)	0.8(Q _D)	Load Water Level Maks.	Load Water Level Min.
	Kips	Kips	Kips	Kips
001P	1500.4	1200.32	690.5	711.5
002P	1506.2	1204.96	519	521.8
003P	1500.4	1200.32	599.8	611.6
004P	15'06.2	1204.96	790.4	805.4

Tabel 10. Kapasitas Pile Storm

Pile Joint	Kapasitas (Q _D)	0.8(Q _D)	Load Water Level Maks.	Load Water Level Min.
	Kips	Kips	Kips	Kips
001P	1500.4	1200.32	787.3	806.4
002P	1506.2	1204.96	400	402.5
003P	1500.4	1200.32	723.2	733.4
004P	15'06.2	1204.96	758.4	772.1

Pemeriksaan kapasitas tiang pancang diatas telah memenuhi baik untuk kondisi operating maupun kondisi storm untuk masing-masing water level maksimum dan minimum, dimana besarnya nilai load yang bekerja berada dibawah nilai kapasitas yang telah difaktorkan.

Dari hasil pemeriksaan desain struktur secara keseluruhan berdasarkan analisis inplace diatas dapat disimpulkan bahwa struktur telah memenuhi kriteria desain untuk kondisi *Operating* dan *Storm*.

Tahap analisis selanjutnya ialah analisis seismik dengan menggunakan beban gempa untuk kondisi Strength Level

Earthquake (PGA = 0.159 g) dan Ductility Level Earthquake (PGA = 0.239 g). Nilai masing-masing Pseudo Spectrum (PSV) kedua beban gempa dapat dilihat pada Tabel 11 dibawah ini.

Tabel 11. Respon spectra

SLE		DLE	
Period (s)	PSV (in/s/g)	Period (s)	PSV (in/s/g)
0.03	1.845	0.03	1.845
0.05	3.075	0.05	3.075
0.125	15.238	0.125	15.238
0.5	54.714	0.5	60.952
5	54.714	5	60.952
10	23.357	10	30.476

Pengecekan Kriteria desain analisis seismik dilakukan untuk perioda natural struktur, UC tegangan member dan joint punching shear, serta Pile capacity. Dari analisis dinamik yang dilakukan dengan jumlah mode sebanyak 40 diperoleh perioda natural struktur sebesar 2.03 detik. Untuk faktor partisipasi massanya sendiri, struktur telah memenuhi 90% partisipasi massa pada mode ke 12.

Masing-masing pengecekan UC dan kapasitas pile dilakukan untuk kondisi gempa SLE dan DLE dengan hasil ditampilkan pada Tabel 12 hingga Tabel 14 dibawah.

Tabel 12. Nilai UC Member

Lokasi	Member	Group Property	UC SLE	UC DLE
Main Deck	M021-M001	(MA2) W24x68	0.503	0.555
Cellar Deck	C057-C085	(CL4) C8x11.5	0.46	0.556
Mezzanine Deck	0092-Z027	(ME2) L4x4 ^{1/4}	0.519	0.532
Deck Leg	602L-C002	(DL1) OD30" x 1"WT	0.31	0.406
Deck Brace	C003-M008	(TR1) OD10.75"x 0.365"WT	0.416	0.558
Jacket Leg	0026-0038	(LG2) OD34"x 0.5"WT	0.253	0.342
Jacket Brace	304L-403L	(DG2) OD16"x 0.375"WT	0.463	0.685
Pile	301P-401P	(PL1) OD30"x 1"WT	0.332	0.444

Tabel 13. Nilai UC Joint Can

DLE		SLE	
Joint	UC	Joint	UC
304L	0.688	404L	0.439
303L	0.421	403L	0.433
401L	0.386	401L	0.427
204L	0.334	402L	0.397

Tabel 14. Kapasitas Pile

Pile Joint	Kapasitas (Q _D)	0.7 (Q _D)	DLE Load	SLE Load
	Kips	Kips	Kips	Kips
001P	1432.35	1002.645	701.06	569.19
002P	1432.35	1002.645	370.47	328.88
003P	1432.35	1002.645	587.23	450.26
004P	1432.35	1002.645	778.38	637.39

Pemeriksaan kapasitas tiang pancang diatas telah memenuhi baik untuk kondisi operating maupun kondisi storm untuk masing-masing water level maksimum dan minimum, dimana besarnya nilai load yang bekerja berada dibawah nilai kapasitas yang telah difaktorkan.

Dari hasil pemeriksaan desain struktur secara keseluruhan berdasarkan analisis seismik diatas dapat disimpulkan bahwa struktur telah memenuhi kriteria desain untuk kondisi gempa SLE dan DLE.

Tahap terakhir analisis desain yang dilakukan ialah analisis fatigue. Analisis Fatigue dilakukan dengan memberikan beban lingkungan gelombang siklik dengan tinggi gelombang, periode gelombang dan arah yang berbeda (8 arah). Output dari analisis *fatigue* adalah *service life joint* struktur yang bergantung kepada nilai damage yang terjadi pada struktur saat dikenai beban siklik.

Hasil dari analisis fatigue terdapat sebuah joint dengan nilai damage diatas 1, lengkapnya pada Tabel 15.

Tabel 15. Fatigue Life (Damage > 1)

Joint	Member	Group	Damage	Fatigue Life (Year)
0006	102L-0006	BR3	1.67	31

Adapun untuk joint-joint lainnya memiliki nilai damage dibawah 1. Berikut ini beberapa nilai fatigue life terkecil pada Tabel 16.

Tabel 16. Fatigue Life (Damage < 1)

Joint	Member	Group	Damage	Fatigue Life (Year)
003P	003P-103P	PL1	0.85	61.11
304L	202L-304L	DG3	0.64	81.27
304L	0032-304L	LG1	0.54	96.57
604L	504L-604L	PL1	0.53	98.06
0163	0165-0163	HR3	0.28	184.40
303L	303L-304L	HR1	0.21	248.80

Berdasarkan hasil analisis *fatigue* tersebut disimpulkan perlunya assessment lebih lanjut terhadap member jacket bracing agar dapat bertahan dalam masa service life yang diinginkan, yaitu 52 tahun.

Tahap Terakhir ialah analisis kehandalan. Pada tahapini dipilih empat member utama yang akan dianalisis dengan kriteria pada Tabel 17 berikut.

Tabel 17. Member Utama Struktur

Bagian	Member	Group	Property
Main Deck	M011-M003	MA1	W 24 x 110
Deck Leg	603L-C003	DL1	OD 30"x 1" WT

Bagian	Member	Group	Property
Jacket Leg	0026-0038	LG2	OD 34"x 0.5" WT
Pile	301P-401P	PL1	OD 30"x 1" WT

Pada dasarnya kehandalan merupakan probabilitas sukses (p_s) yang memenuhi kriteria performansi yang dinyatakan dalam β dengan fungsi performansi sebagai berikut:

$$Z = g(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (1.)$$

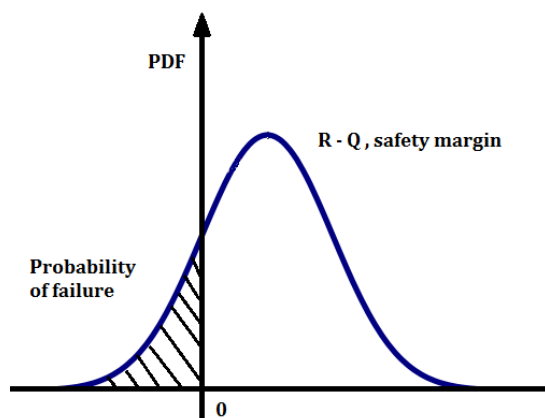
Dimana X_i sebagai variable acak yang berhubungan dengan parameter beban dan kapasitas.

Analisis kehandalan pada pengerjaan tugas akhir ini dilakukan menggunakan dua parameter variable acak, yaitu kekuatan struktur dan beban, sehingga fungsi performansi yang digunakan sebagai penentu parameter kegagalan struktur yang dipakai pada tugas akhir ini menjadi:

$$g(R, Q) = R - Q \quad (2.)$$

Dengan R adalah parameter kekuatan struktur dan Q adalah parameter beban struktur.

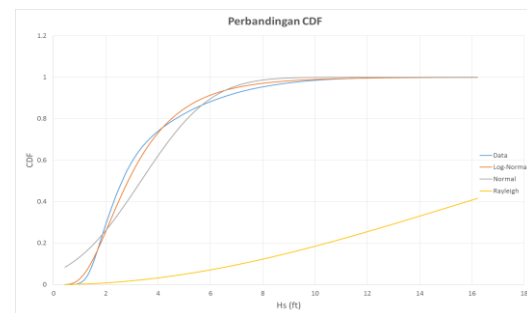
Probabilitas kegagalan (*probability of failure*) struktur adalah saat $g(R, Q) < 0$, yaitu daerah arsiran seperti Gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi PDF fungsi performansi $g(R, Q)$

Parameter kekuatan struktur yang dipilih adalah tegangan leleh material struktur (F_y) dan parameter beban yang dipilih adalah beban gelombang dengan tinggi dan perioda gelombang signifikan.

Metode analisis kehandalan yang digunakan adalah Simulasi Monte Carlo dengan jumlah simulasi yang dilakukan sebanyak 50 kali. Dari itu diperlukan membangkitkan 50 pasang data acak tinggi gelombang dan tegangan leleh terlebih dahulu. Untuk men-generate 50 pasang data gelombang, ditentukan distribusi data gelombang pada perairan Laut Jawa berdasarkan data gelombang signifikan 59 tahun. Uji distribusi dilakukan dengan metode Kolmogorov-Smirnov (K-S). Gambar 5 berikut ini merupakan hasil uji K-S gelombang.



Gambar 5. Hasil uji K-S gelombang H_s

Berdasarkan hasil uji K-S diperoleh distribusi teoritis yang paling cocok dengan distribusi data gelombang adalah distribusi Lognormal dengan nilai D_n yang paling kecil diantara ketiga distribusi, yaitu $D_n = 0.0612$.

Selanjutnya dibangkitkan 50 data gelombang secara acak dengan parameter $H_{max} = 16.22$ ft dengan Mean = 3.45 dan Standar deviasi = 2.53.

Pada perangkat lunak SACS, data beban gelombang yang diperlukan adalah tinggi gelombang dan perioda gelombang. Untuk menentukan perioda gelombang, dilakukan regresi linier perioda gelombang terhadap tinggi gelombang signifikan. Hasil regresi

linier didapat hubungan T terhadap H sebagai persamaan berikut.

$$T = 0.5409H_s + 3.843 \quad (2.)$$

Selanjutnya, ditentukan nilai perioda untuk setiap 50 tinggi gelombang hasil generated.

Untuk membangkitkan 50 data tegangan leleh material, perlu ditentukan parameter statistic yang digunakan. Pada tugas akhir ini, data tegangan leleh menggunakan distribusi Lognormal dengan parameter Mean bias = 1.1266 dan Standar deviasi = 0.0572 (ISO 19902). Digunakan mean normal $F_y = 36$ ksi.

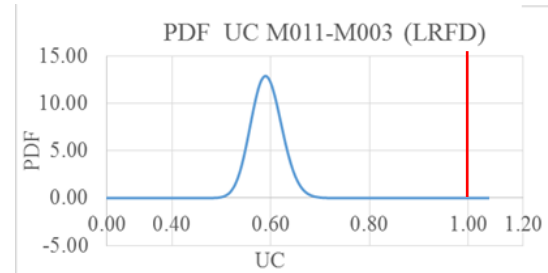
Pasangkan data gelombang dan tegangan leleh yang dibangkitkan kemudian menjadi input pada perangkat lunak SACS. Hasil simulasi yang ditinjau sebagai fungsi penentu *probability of failure* struktur adalah nilai UC tegangan member.

Pada tugas akhir ini, analisis kehandalan dilakukan pada dua kondisi yaitu kondisi saat tidak menggunakan factor beban dan factor reduksi dan saat menggunakan factor beban dan factor reduksi sesuai dengan ketentuan API RP2A LRFD. Langkah dalam melakukan simulasi sama dengan langkah pada analisis *Inplace*.

Hasil dari simulasi didapatkan 50 nilai UC untuk masing-masing member perwakilan dan untuk setiap pasang data tinggi gelombang dan tegangan leleh hasil pembangkitan.

Data UC tiap member ini kemudian dilakukan uji K-S untuk menentukan jenis distribusi UC member dan diperoleh jenis distribusi yang cocok untuk setiap member adalah distribusi Log normal.

Berikut ini ditampilkan salah satu PDF UC kondisi pemfaktoran yaitu member main deck pada Gambar 6 .



Gambar 6. PDF UC Main Beam (LRFD)

Dari kurva PDF UC, dapat ditentukan probabilitas of failure dari member dengan menghitung luas dibawah kurva PDF dengan batas $1 \leq UC \leq \infty$.

Berdasarkan hasil distribusi sebelumnya maka perhitungan indeks kehandalan (β) dilakukan dengan menggunakan persamaan log normal berikut ini.

$$\begin{aligned} p_f &= P(UC \geq 1) = 1 - \left[\Phi \left(\frac{\ln(1) - \lambda_{UC}}{\zeta_{UC}} \right) - \Phi \left(\frac{\ln(0) - \lambda_{UC}}{\zeta_{UC}} \right) \right] \\ p_f &= P(UC \geq 1) = 1 - \left[\Phi \left(\frac{\ln(1) - \lambda_{UC}}{\zeta_{UC}} \right) - \Phi(-\infty) \right] \\ p_f &= 1 - \left[\Phi \left(\frac{0 - (\lambda_{UC})}{\zeta_{UC}} \right) - 0 \right] \\ p_f &= 1 - \left[\Phi \left(\frac{\lambda_{UC}}{\zeta_{UC}} \right) \right] \\ p_f &= 1 - p_s \\ p_s &= \Phi(\beta) \end{aligned}$$

Sehingga nilai indeks kehandalan dapat ditentukan dengan persamaan 3 berikut.

$$\beta = \frac{\lambda_{UC}}{\zeta_{UC}} \quad (3.)$$

Tabel 18 dibawah ini menampilkan parameter statistik utama dari UC yang diperoleh dari hasil simulasi.

Tabel 18. Parameter Statistic UC

Bagian	Terfactor		Non-factor	
Main Beam	Mean	0.5917	Mean	0.3753
	Standard Error	0.0044	Standard Error	0.0029
	COV	0.0525	COV	0.0540

Bagian	Terfactor		Non-factor	
Deck Leg	Mean	0.3197	Mean	0.2006
	Standard Error	0.0024	Standard Error	0.0016
	COV	0.0524	COV	0.0547
Jacket Leg	Mean	0.2615	Mean	0.1784
	Standard Error	0.0029	Standard Error	0.0021
	COV	0.0764	COV	0.0826
Pile	Mean	0.2552	Mean	0.1662
	Standard Error	0.0029	Standard Error	0.0021
	COV	0.0790	COV	0.0875

Tabel 19 dibawah ini menampilkan hasil perhitungan nilai indeks kehandalan yang dilakukan terhadap masing-masing member perwakilan struktur untuk kondisi pembebanan LRFD dan non-faktor.

Tabel 19. Indeks Kehandalan Member

Bagian	LRFD			Non-faktor		
	Parameter		β	Parameter		β
	λ_{uc}	ζ_{uc}		λ_{uc}	ζ_{uc}	
Main Beam	-0.53	0.05	10.03	-0.98	0.05	18.20
Deck Leg	-1.14	0.05	21.80	-1.61	0.05	29.44
Jacket	-1.34	0.08	17.62	-1.73	0.08	20.94
Pile	-1.37	0.08	17.35	-1.80	0.09	20.59
$\beta_{Average}$			16.70	$\beta_{Average}$		22.29

Sehingga diperoleh indeks kehandalan (β) untuk kondisi pembebanan **LRFD** sebesar **16.70** dan untuk kondisi **tanpa faktor** sebesar **22.29**.

Bai (2003:475) merekomendasikan nilai p_f dan β untuk suatu kelas keamanan tertentu seperti pada Tabel 20.

Tabel 20 Rekomendasi indeks kehandalan (Yong Bai, 2003:475)

Kelas Keamanan	Target (p_f)	Keamanan (β)
Rendah	10^{-2}	2.32
Normal	10^{-3}	3.09
Tinggi	10^{-4}	3.72

Kelas keamanan pada Tabel dijelaskan sebagai berikut:

- Kelas Keamanan Rendah: kondisi dimana kegagalan member atau joint struktur tidak berakibat terhadap keselamatan manusia dan kerusakan lingkungan. Ketika kerusakan tersebut terjadi pada kelas ini pun, kondisinya dapat dimonitor dan tidak diperlukan adanya perlakuan khusus.
- Kelas Keamanan Normal: kondisi dimana kegagalan mengakibatkan risiko terhadap keselamatan manusia, bahaya minor terhadap bagian utama anjungan, kerusakan minor terhadap lingkungan, dan kerugian ekonomi tertentu.
- Kelas Keamanan Tinggi: kondisi dimana kegagalan mengakibatkan risiko terhadap keselamatan seluruh anjungan, begitu juga terhadap keselamatan manusia dan kerusakan lingkungan serta kerugian ekonomi yang besar.

Keempat member yang menjadi focus utama analisis kehandalan merupakan member-member utama penyokong beban-beban yang bekerja pada struktur sehingga berada didalam kategori keamanan kelas tinggi. Indeks kehandalan minimal yang direkomendasikan ialah 3.72. Sehingga nilai indeks kehandalan untuk beban terfaktor sebesar 16.70 dan tanpa faktor sebesar 22.3 yang diperoleh masih sangat jauh dari kisaran nilai rekomendasi menurut Bai (2003).

Dari hasil analisis ini disimpulkan bahwa struktur *wellhead platform* tipe *jacket* empat kaki di Laut Jawa yang didesain sesuai prinsip desain API RP-2A LRFD 1993, memiliki indeks kehandalan yang sangat besar.

Oleh karena itu, kajian awal terhadap penerapan faktor beban sesuai dengan kriteria desain API RP2A LRFD pada

perairan Laut Jawa memberikan informasi bahwa dibutuhkan kajian lebih lanjut untuk penyesuaian penerapan faktor beban struktur anjungan lepas pantai di perairan laut Jawa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada pengerjaan tugas akhir ini, diperoleh beberapa kesimpulan antara lain:

1. Struktur telah memenuhi kriteria desain tegangan member, joint punching shear, dan pile capacity untuk analisa inplace maupun seismik sesuai dengan kriteria desain API RP2A LRFD 1993
2. Pada analisis *fatigue* terdapat satu joint pada bracing yang masih berada dibawah service life diinginkan, yaitu 31 tahun. Khusus untuk member ini diperlukan optimasi lebih lanjut dengan melakukan perbesaran penampang.
3. Indeks kehandalan (β) diperoleh dengan menggunakan metode simulasi Monte-Carlo dengan jumlah simulasi sebanyak 50 kali untuk empat perwakilan member utama dengan menggunakan variable acak berupa gelombang signifikan. Nilai rata-rata β untuk kondisi LRFD adalah 16.70 dan untuk kondisi tanpa faktor adalah 22.29.
4. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan faktor beban API RP-2A LRFD 1993 tidak cocok digunakan untuk Perairan Laut Jawa dan membutuhkan kajian lebih lanjut untuk penerapan faktor beban yang sesuai.

SARAN

1. Data Struktur dan beban untuk desain lebih lengkap dan detail agar hasil analisis yang dilakukan lebih akurat.
2. Data gelombang yang digunakan untuk analisa kehandalan seharusnya menggunakan data gelombang maksimum untuk mendapatkan hasil yang lebih kritis.
3. Simulasi Monte-Carlo dilakukan lebih banyak dengan jumlah simulasi minimal 1000 kali agar mendapatkan hasil simulasi yang lebih akurat.
4. Melakukan analisis kehandalan pada struktur anjungan lepas pantai pada perairan Indonesia yang berbeda untuk mendapatkan kesimpulan yang lebih komprehensif mengenai kajian penerapan faktor beban lingkungan API RP-2A LRFD untuk perairan Indonesia secara umum.

DAFTAR PUSTAKA

API RP 2A LRFD 1993: *Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platform –Load and Resistance Factor Design*. Houston: Handling Services

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.

Bai, Yong. 2003. *Marine Structural Design*. Oxford: Elsevier.

ISO 19902:2007. *Petroleum and Natural Gas Industries – Fixed Offshore Structures*.

Wurjanto, Andoyo. 2004. *Analisis Statistik dan Probabilitas*. Bandung: Penerbit ITB.