

DESAIN DAN ANALISIS KEHANDALAN *DRILLING PRODUCTION PLATFORM* TIPE JACKET DELAPAN KAKI PADA PERAIRAN LAUT NATUNA

Alexander Junior Yahya Simbolon (NIM: 15513042)
Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Ricky Lukman Tawekal
Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132
alexsimbolonjr613@gmail.com

ABSTRAK

Proses desain struktur anjungan lepas pantai akan melibatkan beban-beban dalam bentuk variabel yang bentuk kepastiannya perlu diperhitungkan. Oleh sebab itu pembebanan terhadap struktur umum dilakukan dengan menerapkan aturan pembebanan 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. Hal ini dilakukan untuk meyakinkan bahwa struktur akan memenuhi fungsinya dalam periode waktu yang sudah ditentukan. Aturan dan standar yang sering digunakan dalam desain anjungan lepas pantai tipe *fixed* di Indonesia adalah API RP-2A dimana pada desain struktur yang dikaji, digunakan aturan pembebanan LRFD. Penggunaan standar tersebut yang lahir dari kondisi perairan *North Sea* dan *Gulf of Mexico* yang notabene memiliki kondisi keekstreman yang lebih besar daripada kondisi perairan Indonesia, khususnya Laut Natuna memungkinkan nilai faktor pembebanan dan faktor reduksi kuat material pada standar tersebut terlalu besar untuk diterapkan di Indonesia. Untuk mengetahui informasi penggunaan faktor beban LRFD di Indonesia, maka struktur akan didesain secara optimum dengan mengikuti aturan API RP-2A LRFD tersebut. Optimasi desain akan ditentukan berdasarkan hasil analisis *Inplace*, analisis *Seismic*, dan analisis *Fatigue* pada struktur dimana parameter batas yang tidak boleh dilampaui elemen struktur adalah ketika nilai *Unity Check* (UC) > 1 . Penentuan indeks kehandalan sebagai parameter kekuatan struktur terhadap keacakan beban dan kuat material ditentukan dengan menggunakan performansi tegangan elemen struktur yang fungsi dan kondisinya kritis terhadap struktur. Penentuan elemen struktur tersebut didapatkan dari hasil analisis *inplace* serta penentuan nilai performansi juga dilakukan dengan analisis *inplace*. Analisis kehandalan dilakukan dengan menggunakan metode Monte Carlo yang umum digunakan di dunia keteknikan. Nilai indeks kehandalan menentukan desain struktur adalah konservatif atau tidak.

Kata kunci: struktur jacket, analisis *inplace*, optimasi desain, analisis kehandalan, Monte Carlo, API RP-2A LRFD, indeks kehandalan, pembebanan

PENDAHULUAN

Anjungan lepas pantai merupakan struktur/ bangunan lepas pantai yang digunakan dalam proses eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas. Jenis, ukuran, ditentukan oleh fungsinya. Ada beberapa tipe anjungan lepas pantai. Dilihat dari fungsi, anjungan lepas pantai dapat dibedakan menjadi anjungan pengeboran (*drilling*), anjungan proses, anjungan tempat tinggal, dan lain-lain. Dilihat dari

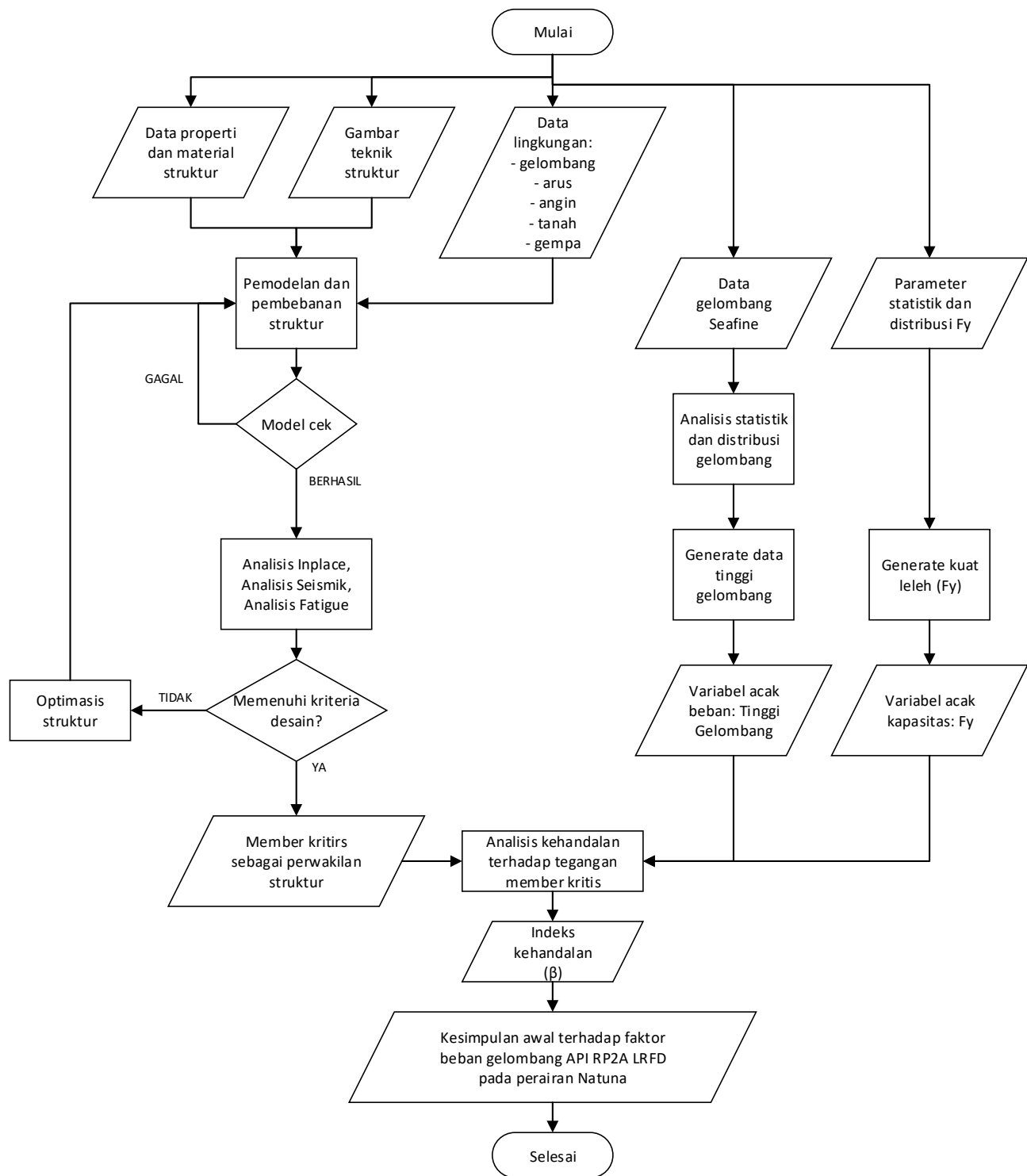
jenis strukturnya, anjungan lepas pantai dibedakan menjadi beberapa tipe, yaitu tipe tetap (*fixed platform*), terapung, *gravity based*, dan lain-lain.

Pada tugas akhir ini, digunakan anjungan tipe tetap (*fixed platform*) dengan tipe jacket delapan kaki, dimana struktur dipancang ke dasar laut dengan menggunakan tiang pancang yang dibungkus oleh struktur kaki dengan pengaku (*brace*). Struktur anjungan lepas pantai pada tugas akhir ini terletak pada perairan Laut Natuna dengan kedalaman perairan -250 ft dibawah MSL.

Pada tugas akhir ini, akan dilakukan analisis kehandalan dari struktur dengan tujuan mengetahui *probability of failure (pf)* struktur dengan fungsi performansi diwakili oleh beban dan tahanan struktur. Namun sebelum dilakukan analisis kehandalan, perlu dilakukan desain yang optimum terhadap struktur terlebih dahulu dengan memperhatikan kriteria desain API RP2A LRFD. Dalam mendesain struktur ada tiga analisis yang perlu dilakukan yaitu analisis *Inplace* dimana struktur dianalisis saat struktur telah berdiri, analisis seismik dimana mengecek kekuatan struktur terhadap beban gempanya, dan analisis *fatigue* untuk mengecek kekuatan struktur terhadap beban *fatigue*-nya. Setelah dilakukan optimasi pada analisis *Inplace* dan telah memenuhi kriteria desain, dilakukan analisis kehandalan terhadap struktur dengan performansi tegangan member pada *member* struktur yang ditinjau. Setelah dilakukannya analisis kehandalan dan diperoleh indeks kehandalan (β) member struktur, diharapkan memberikan informasi awal terhadap kajian penerapan faktor beban desain API RP2A LRFD pada perairan Laut Natuna. Pada Tugas Akhir ini, analisis kehandalan menggunakan metode simulasi Monte Carlo.

METODOLOGI

Tahapan keseluruhan dari penulisan tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penulisan Tugas Akhir

Dalam penulisan tugas akhir ini, pembahasan meliputi pemodelan struktur dengan data desain yang telah ada, melakukan pemeriksaan dan mendesain struktur yang optimum, dan melakukan analisis kehandalan struktur. Pemodelan struktur anjungan lepas pantai dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SACS (*Structural Analysis Computer System*). Tahapan pemodelan dilakukan mulai dari pembuatan member dan propertinya sampai pemberian beban sendiri struktur, beban peralatan, dan beban lingkungan.

Tahapan selanjutnya adalah melakukan pemeriksaan terhadap struktur. Struktur diperiksa dengan melakukan tiga tahapan analisis yaitu Analisis *Inplace*, Analisis Seismik, dan Analisis *Fatigue*. Pada setiap tahapan analisis dilakukan pemeriksaan tegangan member, *joint punching shear*, dan pemeriksaan terhadap kapasitas tanah melalui nilai *pile safety factor*. Jika terjadi kegagalan struktur pada setiap analisis, dilakukan optimasi pada struktur dengan ketentuan yang telah ada pada standar API RP2A LRFD 1993.

Pada pemeriksaan dengan analisis *Inplace*, akan dipilih *member* yang memiliki tegangan paling kritis. Analisis kehandalan akan dilakukan pada member tersebut untuk memperoleh indeks kehandalan (β) dengan kondisi performansi tegangan member pada analisis *Inplace*. Variabel beban acak yang dikaji pada analisis kehandalan adalah beban gelombang. Sedangkan variabel kekuatan yang dipakai adalah kuat leleh baja. Analisis kehandalan dilakukan dengan metode Monte Carlo. Dari analisis kehandalan ini akan didapatkan indeks kehandalan member kritis yang dianggap mewakili struktur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahapan desain struktur dilakukan tiga analisis yaitu analisis *Inplace*, analisis seismik, dan analisis *Fatigue*. Pada analisis *inplace* ada tiga kriteria desain yang diperiksa sesuai dengan API RP2A LRFD yaitu nilai *Unity Check* (UC) tegangan *member*, pemeriksaan *joint punching shear*, dan pemeriksaan daya dukung tanah terhadap struktur. Analisis *Inplace* dilakukan pada empat kondisi yaitu kondisi *Operating* dan *Storm* pada kedalaman minimum, dan kondisi *Operating* dan *Storm* pada kedalaman 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 daya dukung tanah terfaktor. Faktor daya dukung tanah berdasarkan API RP2A LRFD adalah 0.7 pada kondisi *Operating* dan 0.8 pada kondisi *Storm*. Hasil dari pemeriksaan analisis *Inplace* setelah dilakukan optimasi pada bagian struktur dapat dilihat pada tabel 1, tabel 2, tabel 3, dan tabel 4.

Tabel 1. Nilai UC tegangan member pada bagian struktur

Grup	Lokasi	Operating		Storm	
		Min. WD	Max. WD	Min. WD	Max. WD
MD1	Main deck	0.87	0.83	0.83	0.87
CL1	Cellar Deck	0.81	0.81	0.81	0.81
SC2	Subcellar Deck	0.63	0.63	0.63	0.63
LG5	Jacket Leg	0.08	0.08	0.08	0.08
HO5	Bracing	0.92	0.92	0.91	0.92
PL2	Pile	0.47	0.46	0.46	0.46

Tabel 2. Nilai UC joint kritis pada struktur

Joint	Lokasi	Operating		Storm	
		Min. WD	Max. WD	Min. WD	Max. WD
508L	Jacket Walkway	0.745	0.74	0.745	0.74
503L		0.474	0.479	0.47	0.479
504L		0.738	0.734	0.74	0.734

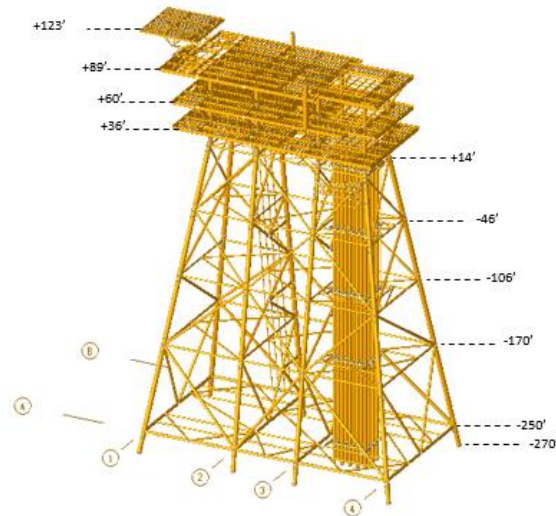
Tabel 3. Pemeriksaan kapasitas aksial tiang pancang untuk kondisi *operating*

Pile	Kapasitas (Q_D)	$0.7 Q_D$	Beban maksimum (P_{DO})	Pile Safety factor	Pemeriksaan
	[kips]	[kips]	[kips]		
001P	9332.8	6532.96	887.4	7.36	OK
005P	9332.8	6532.96	852.1	7.66	OK
002P	9402.5	6581.75	766	8.59	OK
006P	9324.2	6526.94	746.7	8.74	OK
003P	9402.5	6581.75	323.5	20.34	OK
007P	9389.6	6572.72	330.1	19.9	OK
004P	9252.3	6476.61	252.1	25.7	OK
008P	9252.3	6476.61	272.3	23.7	OK

Tabel 4. pemeriksaan kapasitas aksial tiang pancang untuk kondisi *storm*

Pile	Kapasitas (Q_D)	$0.8 Q_D$	Beban maksimum (P_{DO})	Pile safety factor	Pemeriksaan
	[kips]	[kips]	[kips]		
001P	9332.8	6532.96	857.6	7.61	OK
005P	9332.8	6532.96	823.4	7.9	OK
002P	9402.5	6581.75	730.4	9.01	OK
006P	9324.2	6526.94	711.8	9.1	OK
003P	9402.5	6581.75	276.9	23.7	OK
007P	9389.6	6572.72	284	23.1	OK
004P	9252.3	6476.61	215.7	30	OK
008P	9252.3	6476.61	234.3	27.6	OK

Dari hasil pemeriksaan analisis *Inplace*, struktur memenuhi kriteria desain untuk kondisi *Operating* dan *Storm*. Model struktur dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Model 3-D Struktur pada perangkat lunak SACS

Selanjutnya dilakukan analisis seismik untuk memeriksa apakah struktur aman terhadap beban gempanya. Pada Tugas Akhir ini, data gempa yang digunakan adalah data gempa Laut Natuna. Analisis seismik dilakukan pada dua kondisi yaitu kondisi *Strength Level Earthquake* (SLE) dan *Ductility Level Earthquake* (DLE). Nilai *Pseudo Ground Acceleration* (PGA) kondisi SLE adalah 0.03 g dan kondisi DLE adalah 0.045 g. Nilai *Period and Pseudo Spectrum* (PSV) yang merepresentasikan respon spektra gempa dihitung dengan menggunakan grafik respon spektrum API RP2A LRFD. Kriteria desain yang diperiksa pada analisis seismik sama dengan analisis *Inplace* yaitu nilai UC tegangan *member*, pemeriksaan *joint punching shear* dan *Single Pile Analysis*. Hasil pemeriksaan analisis seismik dapat dilihat pada tabel 5, tabel 6, dan tabel 7.

Tabel 5. Nilai UC tegangan member kondisi SLE dan DLE

Member	Grup	UC	
		SLE	DLE
504L-M102	HO5	0.825	0.825
M100-508L	HO5	0.871	0.871
E503-E001	MD1	0.905	0.906
H537-E005	MD1	0.937	0.937
E143-E129	MD4	0.811	0.812
E157-H532	MD4	0.824	0.825

Tabel 6. Nilai UC joint terbesar kondisi SLE dan DLE

Joint	UC	
	SLE	DLE
508L	0.159	0.160
504L	0.156	0.156
503L	0.1	0.1

Tabel 7. Nilai *pile safety factor* tiang pancang kondisi SLE dan DLE

Pile	Pile safety factor		Pemeriksaan
	SLE	DLE	
001P	4.77	4.77	OK
005P	5.23	5.22	OK
002P	6.80	6.79	OK
006P	8.52	8.52	OK
003P	4.66	4.65	OK
007P	5.04	5.04	OK
004P	6.96	6.96	OK
008P	8.65	8.65	OK

Untuk memastikan bahwa struktur aman terhadap beban *fatigue*-nya, dilakukan analisis *Fatigue*. Analisis *Fatigue* dilakukan dengan memberikan beban lingkungan gelombang siklik dengan tinggi gelombang, perioda gelombang dan arah yang berbeda (8 arah). Hasil dari analisis *fatigue* adalah *service life joint* struktur, yang nantinya akan dibandingkan dengan umur desain struktur. Struktur dikatakan aman bila *service life joint* struktur lebih besar dari umur desain struktur. Umur desain struktur pada Tugas Akhir ini adalah 40 tahun. Hasil dari analisis *fatigue* dapat dilihat pada tabel 8. Berdasarkan hasil analisis *fatigue*, struktur dinyatakan aman terhadap beban *fatigue*-nya, dengan nilai *service life joint* terkecil adalah 194 tahun dan terdapat pada *riser*.

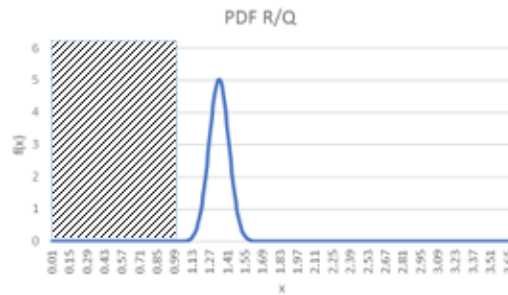
Tabel 8. *Service life joint* struktur terkecil

Joint	Service life (tahun)
R070	194.07
R008	213.07
R071	242.77

Analisis kehandalan diawali dengan penentuan fungsi performansi yang digunakan sebagai penentu parameter kegagalan struktur. Parameter kegagalan struktur yang dipakai pada tugas akhir ini dapat dituliskan sebagai berikut.

$$g(R, Q) = R/Q$$

Dengan R adalah parameter kekuatan struktur dan Q adalah parameter beban struktur. Probabilitas kegagalan (*probability of failure*) struktur adalah saat $g(R, Q) < 1$. Untuk menentukan probabilitas kegagalan fungsi performansi, perlu ditentukan PDF dari fungsi performansi seperti dapat dilihat pada gambar 3.



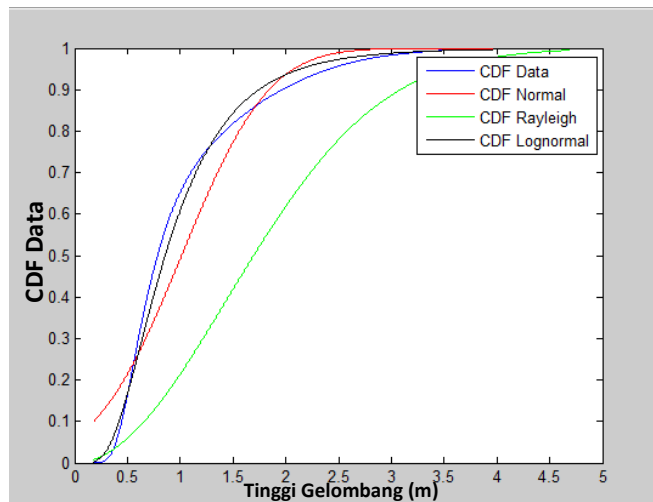
Gambar 3. Ilustrasi PDF fungsi performansi $g(R,Q)$

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 tertentu. Pada tugas akhir ini, metode analisis kehandalan yang digunakan adalah dengan simulasi Monte Carlo dengan banyak simulasi yang dipilih adalah 50 kali. Sehingga perlu dibangkitkan 50 data acak terhadap tinggi gelombang dan tegangan leleh. Untuk men-*generate* 50 data gelombang, sebelumnya perlu ditentukan distribusi data gelombang pada perairan Laut Natuna berdasarkan data gelombang 50 tahunan yang ada. Uji distribusi dilakukan dengan metode Kolmogorov-Smirnov (K-S). Berdasarkan hasil uji K-S diperoleh distribusi yang paling cocok dengan distribusi data gelombang adalah distribusi Lognormal dengan nilai $D_n \max = 0.062$. Gambar hasil uji K-S pada gelombang dapat dilihat pada gambar 4. Selanjutnya dibangkitkan 50 data gelombang secara acak. Pada perangkat lunak SACS, data beban gelombang yang diperlukan adalah tinggi gelombang dan perioda gelombang. Untuk menentukan perioda gelombang, dilakukan regresi linier terhadap data tinggi gelombang dan periodanya. Hasil regresi linier didapat hubungan H terhadap T . Selanjutnya, ditentukan nilai perioda untuk setiap 50 tinggi gelombang.

Untuk membangkitkan 50 data tegangan leleh material, perlu ditentukan parameter statistik yang digunakan. Pada tugas akhir ini, data tegangan leleh menggunakan distribusi Lognormal, dan untuk parameter statistiknya dapat dilihat pada ISO 19902. Parameter statistik yang digunakan untuk membangkitkan data tinggi gelombang dan tegangan leleh material dapat dilihat pada tabel 9. Pasangkan data gelombang dan tegangan leleh yang dibangkitkan untuk kemudian menjadi *input* pada perangkat lunak SACS. Hasil yang akan ditinjau sebagai fungsi penentu *probability of failure* struktur adalah nilai UC tegangan member. Member yang ditinjau pada analisis kehandalan adalah member kritis hasil analisis *Inplace* setelah dioptimasi pada bagian-bagian strukrur yang ditinjau, dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 9. Member yang ditinjau pada analisis kehandalan

Parameter kehandalan	Mean (μ)	Standar Deviasi (σ)	Distribusi
Tinggi Gelombang (H_s)	3.32 ft	0.649	Lognormal
Tegangan Leleh (F_y)	40.55 MPa	2.319	Lognormal

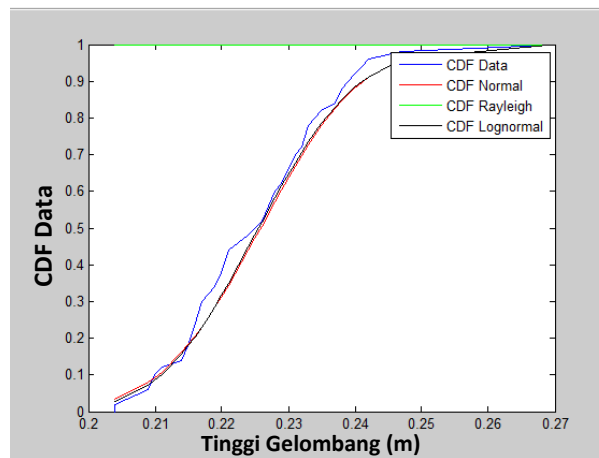


Gambar 4. Grafik hasil Uji K-S distribusi data gelombang

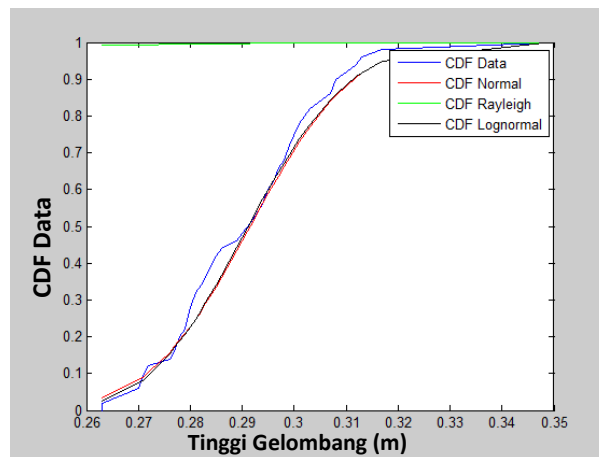
Tabel 10. Member yang ditinjau pada analisis kehandalan

Bagian	Grup	Member
<i>Main Deck</i>	MD2	E500-E009
<i>Bracing</i>	HZ4	M207-M236
<i>Jacket</i>	HO5	M100-508L
<i>Pile</i>	PL2	105P-205P

Pada tugas akhir ini, analisis kehandalan dilakukan pada dua kondisi yaitu kondisi saat tidak menggunakan faktor beban dan faktor reduksi dan saat menggunakan faktor beban dan faktor reduksi sesuai dengan ketentuan API RP2A LRFD. Langkah dalam melakukan simulasi sama dengan langkah pada analisis *Inplace*. Hasil dari simulasi mendapatkan 50 nilai UC untuk setiap *member* dan untuk setiap pasang data tinggi gelombang dan tegangan leleh hasil pembangkitan. Setelah mendapatkan data nilai UC tiap *member*, tentukan distribusi data tersebut dengan Uji K-S. Setelah dilakukan uji K-S pada setiap 50 data nilai UC setiap member yang ditinjau, distribusi yang cocok untuk setiap member adalah distribusi Lognormal. Grafik uji K-S distribusi data UC member pile dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6. Nilai hasil Uji K-S setiap member dapat dilihat pada tabel 11 dan tabel 12. Dari nilai UC tersebut, ditentukan PDF data dan parameter statistik datanya.



Gambar 5. Grafik Uji K-S distribusi UC tegangan member pile kondisi tidak terfaktor



Gambar 6. Grafik Uji K-S distribusi UC tegangan member pile kondisi terfaktor

Tabel 11. nilai D_N maksimum untuk uji distribusi pada kondisi tidak terfaktor

No	Member	D_N Maksimum		
		Normal	Rayleigh	Lognormal
1	Main Deck	0.108	0.656	0.09
2	Bracing	0.143	0.995	0.122
3	Jacket	0.105	0.695	0.098
4	Pile	0.097	0.999	0.091

Tabel 12. nilai D_N maksimum untuk uji distribusi pada kondisi terfaktor

No	Member	D_N Maksimum		
		Normal	Rayleigh	Lognormal
1	Main Deck	0.103	0.47	0.093
2	Bracing	0.14	0.95	0.12
3	Jacket	0.105	0.505	0.097
4	Pile	0.083	0.99	0.079

Dari kurva PDF UC tersebut, dapat ditentukan *probability of failure* dari *member* dengan menghitung luas dibawah kurva PDF dengan batas $1 \leq UC \leq \infty$. Sebelum menentukan probabilitas kegagalan, perlu ditentukan nilai parameter statistik *mean* (μ) dan standar deviasi (σ) data UC. Pada tugas akhir ini, perhitungan *probability of failure* dilakukan dengan persamaan distribusi normal. Karena distribusi data UC adalah distribusi Lognormal, perlu dilakukan normalisasi parameter statistik. Nilai parameter statistik data UC member yang ditinjau dapat dilihat pada tabel 13 dan tabel 14.

Tabel 13. nilai ekuivalen dari parameter statistik distribusi normal pada kondisi tidak terfaktor

Member	Distribusi	Parameter statistik			Ekivalen	Parameter statistik normal ekuivalen		
		Mean	Std Deviasi	COV		Mean EKIV	Std Deviasi EKIV	COV EKIV
Main Deck	Lognormal	0.61	0.031	0.051	Normal	0.607	0.031	0.0516
Bracing	Lognormal	0.27	0.022	0.081	Normal	0.269	0.022	0.0817
Jacket	Lognormal	0.57	0.036	0.064	Normal	0.572	0.036	0.0642
Pile	Lognormal	0.23	0.012	0.053	Normal	0.225	0.012	0.0529

Tabel 14. nilai ekuivalen dari parameter statistik distribusi normal pada kondisi terfaktor

Member	Distribusi	Parameter statistik			Ekivalen	Parameter statistik normal ekuivalen		
		Mean	Std Deviasi	COV		Mean EKIV	Std Deviasi EKIV	COV EKIV
Main Deck	Lognormal	0.79	0.040	0.051	Normal	0.78	0.040	0.051
Bracing	Lognormal	0.35	0.027	0.079	Normal	0.35	0.027	0.079
Jacket	Lognormal	0.75	0.048	0.065	Normal	0.74	0.048	0.065
Pile	Lognormal	0.29	0.015	0.053	Normal	0.29	0.015	0.053

Persamaan perhitungan *probability of failure* (pf) adalah sebagai berikut.

$$p_f = P(UC \geq 1) = 1 - \left[\Phi \left(\frac{1 - \mu_n}{\sigma_n} \right) \right]$$

$$p_f = 1 - \left[\Phi \left(\frac{1 - \mu_n}{\sigma_n} \right) \right]$$

$$p_f = 1 - p_s$$

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

$$\beta = \frac{1 - \mu_n}{\sigma_n}$$

Dengan β adalah nilai indeks kehandalan member. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai pf dan indeks kehandalan (β) seperti pada tabel 15 dan tabel 16.

Tabel 15. nilai indeks kehandalan struktur berdasarkan member yang ditinjau pada kondisi tidak terfaktor

Member	Indeks kehandalan (β)	Probability of Failure (pf)
Main Deck	7.61	0.15×10^{-13}
Bracing	8.95	10^{-15}
Jacket	6.65	0.2×10^{-10}
Pile	14.62	$<10^{-15}$

Tabel 16. nilai indeks kehandalan struktur berdasarkan member yang ditinjau pada kondisi terfaktor

Member	Indeks kehandalan (β)	Probability of Failure (pf)
Main Deck	4.09	0.2×10^{-4}
Bracing	8.17	10^{-15}
Jacket	3.92	0.3×10^{-4}
Pile	13.33	$<10^{-15}$

Bai (2003:475) merekomendasikan besaran p_f dan β untuk suatu kelas keamanan tertentu seperti pada tabel 17.

Tabel 17. Rekomendasi indeks kehandalan untuk kelas-kelas keamanan tertentu (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

Pada hasil analisis kehandalan dengan menggunakan faktor beban dan faktor reduksi, didapat nilai indeks kehandalan lebih kecil dibandingkan saat tidak menggunakan faktor beban dan faktor reduksi. Pada member kritis tiang pancang didapat nilai indeks kehandalan sebesar 13.33 saat menggunakan faktor beban dan faktor reduksi dimana nilai ini jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai rekomendasi kemaanan oleh Yong Bai 2003:475 dengan tingkat keamanan tinggi yaitu 3.72. Tiang pancang adalah bagian yang cukup kritis terhadap struktur sehingga dapat dijadikan acuan keamanan dari struktur, dan indeks kehandalan tiang pancang pada analisis kehandalan sangat tinggi.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kajian awal terhadap penerapan API RP2A LRFD pada perairan Laut Natuna memberikan informasi awal yaitu faktor beban API RP 2A LRFD seperti faktor beban gelombang yang digunakan dalam mendesain struktur anjungan lepas pantai pada Laut Natuna perlu disesuaikan lebih lanjut penerapannya karena nilai indeks kehandalan masih cukup tinggi untuk beberapa member yang ditinjau.

KESIMPULAN

Hasil dari analisis *Inplace* setelah struktur dioptimasi telah memenuhi kriteria desain API RP2A LRFD dengan pemeriksaan terhadap *unity check* tegangan member, pemeriksaan *joint punching shear*, dan pemeriksaan kapasitas daya dukung tanah terhadap struktur. Pada analisis seismik terhadap beban gempanya, struktur juga telah memenuhi kriteria desain menurut API RP2A LRFD melalui pemeriksaan *unity check* tegangan member, pemeriksaan *joint punching shear*, dan pemeriksaan *pile safety factor* pada *single pile analysis*. Begitu pula dari hasil analisis *fatigue* struktur terhadap beban *fatigue*-nya telah memenuhi kriteria desain, dimana nilai *service life joint* struktur terkecil lebih besar dari umur desain struktur.

Pada analisis kehandalan struktur, nilai indeks kehandalan dan *probability of failure* (*pf*) member yang ditinjau sebagai perwakilan struktur dapat dikatakan tinggi dengan pembandingan nilai indeks kehandalan yang direkomendasikan Yong Bai (2003:475). Member pile yang ditinjau memiliki nilai indeks kehandalan 14.64 pada kondisi tidak terfaktor dan 13.33 pada kondisi terfaktor. Mengacu pada fungsi pile sebagai pondasi struktur, dapat dikatakan struktur memiliki indeks kehandalan (β) yang tinggi.

Hasil indeks kehandalan yang sangat jauh bila dibandingkan dengan rekomendasi Yong Bai (2003:475) mengindikasikan bahwa faktor beban yang digunakan menurut standar API RP2A LRFD perlu ditinjau ulang terhadap penerapannya di perairan Laut Natuna.

SARAN

Pada tugas akhir ini, desain dilakukan berdasarkan data desain basis struktur yang disediakan oleh dosen. Data desain basis yang disediakan, dalam pengerjaannya, banyak data yang tidak jelas seperti penempatan lokasi beban, properti *member*, ukuran *member*, dan lain-lain sehingga perlu dilakukan beberapa asumsi yang dapat membuat struktur tidak dalam kondisi sebenarnya.

Data gelombang yang disediakan adalah data gelombang 50 tahunan, sementara pada data desain basis data gelombang adalah data 100 tahunan, sehingga perlu dilakukan pengecekan ulang terhadap parameter statistik data gelombang kembali dan menyebabkan ketidakakuratan penentuan distribusi gelombang. Selain itu, jumlah simulasi Monte Carlo yang dilakukan dapat dikatakan sangat sedikit jika ingin mendapatkan hasil yang baik, sehingga perlu ditambahkan jumlah simulasi Monte Carlo untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. 1993. *API Recommended Practice 2A-LRFD: Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platform – Load and Resistance Factor Design*. Houston: Handling Services
- Bai, Yong. 2003. *Marine Structural Design*. Oxford: Elsevier.
- Chakrabarti, Subrata K. 2005. *Handbook of Offshore Engineering*. Oxford: Elsevier.
- Florentina, Shinta. 2015. *Analisis Kehandalan Struktur Jacket Empat Kaki di Perairan Selat Makassar*. Bandung, Indonesia
- 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*.
- Wurjanto, Andojo. 2004. *Analisis Statistik dan Probabilitas*. Bandung: Penerbit ITB.
- Tang, Wilson H. 1975. *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.