

Analisis Keandalan Struktur *Jacket* Empat Kaki di Perairan Selat Makassar

Sinta Florentina

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan

Institut Teknologi Bandung

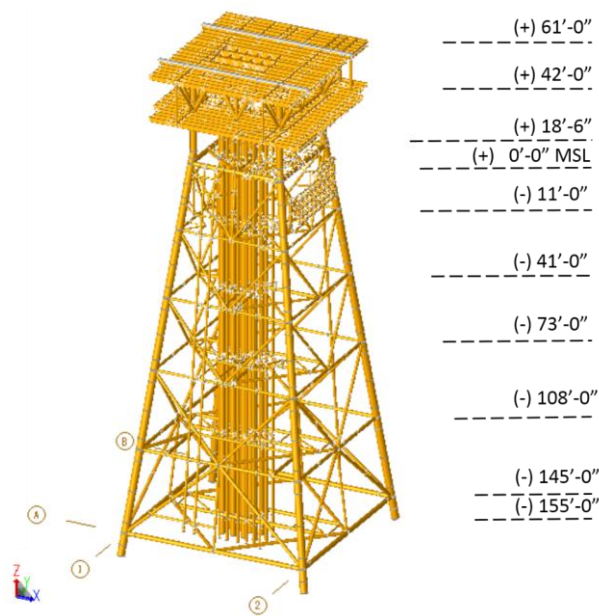
sinta2608@gmail.com

Kata Kunci: *struktur jacket, analisis keandalan, simulasi Monte Carlo, API RP-2A LRFD, faktor beban gelombang.*

PENDAHULUAN

Anjungan lepas pantai akan menerima beban-beban selama kegiatan berlangsung. Akan diperlukan perencanaan untuk memperoleh anjungan lepas pantai yang kokoh dan ekonomis dalam memenuhi fungsinya. Standar yang umum digunakan dalam perancangan anjungan lepas pantai ialah API RP-2A (*American Petroleum Institute – Recommended Practice 2A*). API RP-2A diterbitkan dalam dua versi prinsip desain yaitu WSD (2007) dan LRFD (1993). Pada API RP-2A LRFD, faktor beban lingkungan diturunkan berdasarkan kondisi lingkungan perairan *North Sea*. Hal ini memungkinkan adanya ketidakcocokan untuk penerapan di wilayah perairan Indonesia. Oleh karena itu, perlu studi yang mengkaji penerapan faktor beban tersebut di wilayah Indonesia.

Sebagai permulaan, dilakukan kajian awal terkait penggunaan nilai faktor beban lingkungan berupa faktor beban gelombang dari API RP-2A LRFD 1993. Kajian awal ini akan dilakukan melalui analisis keandalan untuk menghitung indeks keandalan struktur (β) pada salah satu struktur yang sudah berdiri di Perairan Indonesia, yaitu Perairan Selat Makassar. Struktur anjungan yang dianalisis keandalannya merupakan *jacket* empat kaki yang dibangun untuk kegiatan produksi. Struktur ini berada pada kedalaman 145 kaki MSL. Struktur memiliki 5 elevasi *horizontal framing* seperti hasil pemodelan dengan perangkat lunak SACS yang ditunjukkan Gambar 1. Struktur memiliki dua *deck* pada elevasi (+)42' dan (+)61' serta sebuah *jacket walkway* pada elevasi (+)18'-6".



Gambar 1. Hasil pemodelan struktur jacket empat kaki dengan elevasi horizontal framing.

Suatu analisis kehandalan harus dilakukan terhadap satu kondisi kegagalan tertentu atau terhadap performansi tertentu. Terdapat beberapa kondisi performansi yang mungkin terjadi pada sebuah anjungan lepas pantai. Dilakukan analisis kehandalan terhadap kriteria performansi tegangan member dari analisis *inplace* terhadap struktur. Analisis kehandalan dilakukan melalui metode simulasi Monte Carlo dengan variabel acak beban berupa beban gelombang dan kekuatan material berupa tegangan leleh.

Sebelum melakukan analisis kehandalan, dalam tugas akhir ini dilakukan terlebih dahulu pemeriksaan dan desain optimum untuk memperoleh struktur anjungan yang efisien terhadap besaran desain sesuai API RP-2A LRFD 1993. Pemeriksaan dilakukan melalui analisis *inplace* dan seismik. Analisis *inplace* yaitu analisis statik ketika struktur berdiri di lokasi dan analisis *seismic* yaitu analisis dinamik ketika struktur terkena aktivitas kegempaan. Pemeriksaan dilakukan untuk memperoleh member kritis yang akan dijadikan fokus kajian dalam analisis kehandalan. Member kritis akan terlebih dahulu didesain secara optimum terhadap API RP-2A LRFD agar hasil indeks kehandalan tidak berlebih.

Hasil analisis kehandalan akan berupa nilai indeks kehandalan. Semakin besar suatu nilai indeks kehandalan struktur, maka akan semakin konservatif struktur tersebut terhadap fungsi performansi

yang ditentukan. Dengan kata lain, indeks kehandalan yang besar menunjukkan probabilitas kegagalan yang kecil untuk suatu fungsi performansi. Dari indeks kehandalan ini, dapat diperoleh informasi awal mengenai kesesuaian penerapan faktor beban gelombang pada salah satu struktur di Perairan Selat Makassar.

TEORI DAN METODOLOGI

Secara umum, metodologi dari penulisan laporan tugas akhir ini akan disampaikan sesuai dengan Gambar 2.

Dalam API RP-2A LRFD 1993, digunakan faktor beban dan reduksi kapasitas dalam perancangan anjungan lepas pantai. Prinsipnya adalah dengan suatu kombinasi dari beban-beban terfaktor, kapasitas tereduksi struktur harus tetap memenuhi kebutuhan perencanaan. Pada tugas akhir ini, faktor beban yang dikaji penerapannya untuk salah satu Perairan Indonesia, Perairan Selat Makassar, ialah faktor beban gelombang. Kajian awal ini dilakukan melalui analisis kehandalan pada struktur yang sudah berdiri dan didesain optimum terhadap API RP-2A LRFD 1993.

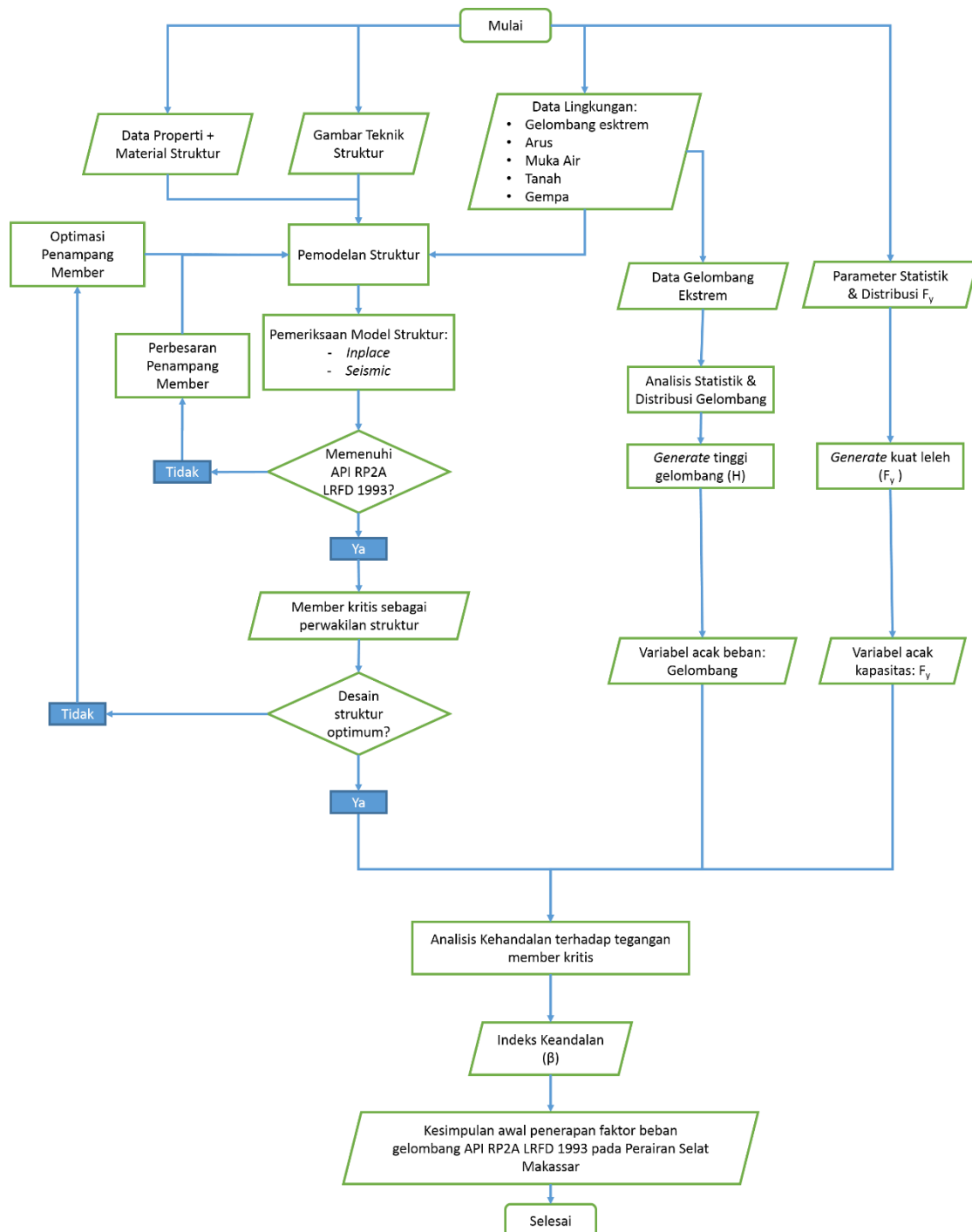
Dalam suatu perencanaan struktur, struktur harus memiliki kekuatan atau kapasitas yang lebih besar dari efek beban yang diterapkan. Menurut Halder (2000: 181), ketidakpastian dalam parameter yang berhubungan dengan beban dan kapasitas menyebabkan pemenuhan akan kebutuhan perencanaan menjadi tidak sederhana. Kehandalan atau reliabilitas dapat dikatakan sebagai probabilitas kesuksesan memenuhi suatu kriteria performansi. Dalam tugas akhir ini, kriteria performansi yang ditentukan ialah tegangan member pada analisis *inplace*.

Dapat dilihat grafik hubungan probabilitas kapasitas, $f_R(r)$, dan beban, $f_S(s)$, serta daerah kemungkinan kegagalan pada Gambar 3. Daerah kemungkinan kegagalan ditandai dengan area gelap di antara kedua kurva probabilitas.

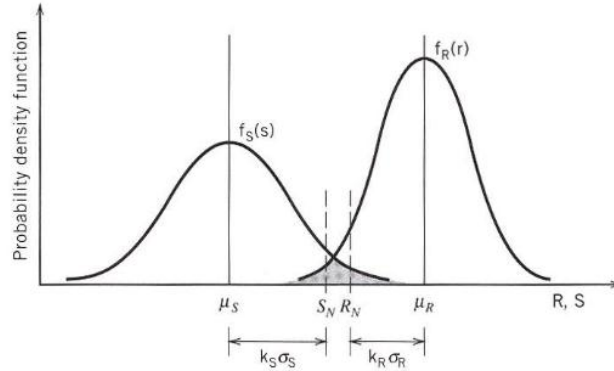
Terdapat berbagai metode dalam melakukan analisis kehandalan. Dari Gambar 3, kemungkinan kegagalan dapat diketahui dengan menghitung luasan di area kemungkinan kegagalan. Untuk suatu fungsi performansi $g(X_1, X_2, \dots, X_n)$, probabilitas kegagalan dapat dihitung dengan metode *full distributional approach* seperti Persamaan 1.

$$p_f = \int \dots \int_{g(\cdot) < 0} f_x(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n$$

(Persamaan 1)



Gambar 2. Diagram alir metodologi penulisan tugas akhir.



Gambar 3. Ilustrasi hubungan probabilitas kapasitas dan beban serta daerah kemungkinan kegagalan.

Sedangkan kemungkinan sukses, p_s , yang akan menunjukkan indeks kehandalan struktural, β , dapat ditentukan hubungannya dengan probabilitas kegagalan seperti pada Persamaan 2 dan 3.

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

(Persamaan 2)

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

(Persamaan 3)

Namun, pada kenyataannya fungsi *joint* PDF, $f_x(x_1, x_2, \dots, x_n)$, pada Persamaan 1 akan sulit ditentukan secara pasti. Oleh karena itu, dapat dilakukan metode-metode lain yang lebih sederhana untuk dilakukan. Salah satunya ialah metode simulasi Monte Carlo. Menurut Haldar (2000:251), ada enam tahapan penting dalam metode simulasi Monte Carlo. Pada tugas akhir ini, simulasi akan dilakukan sebanyak 50 simulasi dengan menggunakan perangkat lunak SACS. Kriteria performansi pada analisis kehandalan ini ialah kegagalan tegangan pada suatu member kritis terpilih pada kondisi *inplace*.

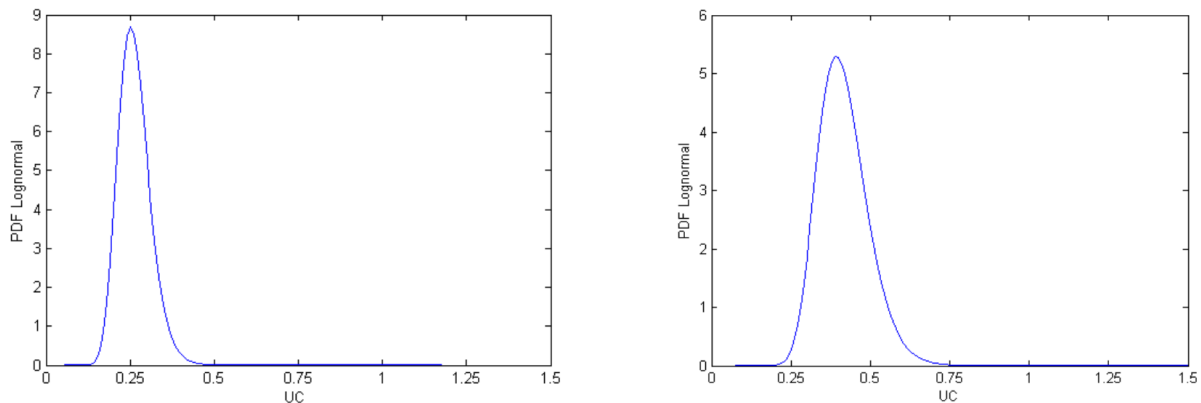
HASIL DAN ANALISIS

Dari proses pemeriksaan struktur terhadap standar API RP-2A LRFD 1993 melalui analisis *inplace* dan seismik, diperoleh member kritis perwakilan struktur yang merupakan bagian dari tiang pancang struktur. Terhadap member ini dilakukan desain optimum, baik menggunakan tinggi gelombang maksimum maupun tinggi gelombang signifikan. Didapatkan penampang dengan diameter luar 36 inch dan tebal 1 inch untuk desain dengan tinggi gelombang maksimum dan tebal 0.625 inch jika menggunakan tinggi gelombang signifikan. Member ini dijadikan fokus kajian analisis kehandalan dengan simulasi Monte Carlo.

Setelah struktur yang diwakili oleh member kritisnya sudah didesain optimum terhadap kriteria API RP-2A LRFD, simulasi analisis kehandalan dilakukan tanpa adanya penggunaan faktor beban dan faktor reduksi kapasitas. Dari 50 simulasi terhadap struktur dengan member kritis yang ukurannya berbeda, diperoleh masing-masing 50 nilai rasio *unity check* (UC) dari member kritis perwakilan struktur. Dari 50 UC dapat ditentukan parameter statistik dan probabilitas sehingga dapat dibuat PDF UC dari data tersebut. Melalui uji Kolmogorov-Smirnov, dengan tingkat kepercayaan 20%, variabel UC dapat diwakili oleh distribusi lognormal. Hasil plot PDF UC dapat dilihat seperti pada Gambar 4.

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa probabilitas kegagalan dengan definisi nilai UC di atas 1 sangat kecil ($p_f \approx 0$). Dari pendekatan distribusi lognormal diperoleh nilai indeks kehandalan $\beta = 13.05$ terhadap tinggi gelombang maksimum dan $\beta = 10.088$ terhadap tinggi gelombang signifikan. Sebagai pembandingan, menurut API RP-2A WSD, target indeks kehandalan untuk kasus tegangan pada *joint* pada standar API RP-2A LRFD ialah sebesar 2.44. Dan menurut Bai (2003:475) target β untuk kelas keamanan tinggi ialah 3.72. Dari perbandingan ini, dapat disimpulkan bahwa salah satu struktur di Perairan Selat Makassar yang telah didesain optimum terhadap API RP-2A LRFD 1993 memiliki indeks kehandalan yang besar terhadap kriteria performansi tegangan member pada analisis *inplace*. Perlu diingat bahwa proses simulasi memiliki jumlah siklus yang masih sedikit, yaitu 50 simulasi, dan probabilitas kegagalan didekati melalui parameter distribusi dan statistiknya.

Dengan asumsi variabel beban gelombang dan kapasitas tegangan leleh serta fokus kajian tegangan pada member kritis tiang pancang struktur saat analisis *inplace*, dapat disimpulkan bahwa penerapan faktor beban gelombang API RP-2A LRFD 1993 pada tugas akhir ini menghasilkan struktur yang konservatif.



Gambar 4 Hasil plot PDF UC member struktur yang didesain terhadap tinggi gelombang maksimum (kiri) dan tinggi gelombang signifikan (kanan).

Kembali lagi tujuan analisis kehandalan pada tugas akhir ini ialah untuk memperoleh informasi awal terkait penerapan faktor beban API RP-2A LRFD 1993 pada perairan Indonesia. Dari tugas akhir ini, melalui analisis kehandalan Monte Carlo dengan jumlah simulasi sebanyak 50 kali untuk kriteria performansi tegangan member pada analisis *inplace*, indeks kehandalan yang diperoleh terlampaui besar. Faktor beban yang dikaji berupa faktor beban gelombang dianggap terlalu konservatif untuk struktur eksisting di Perairan Selat Makassar. Diharapkan hasil analisis ini akan memberikan informasi awal sehingga kajian lebih lanjut dan teliti mengenai topik ini dapat dilakukan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan terhadap struktur *jacket* empat kaki Perairan Selat Makassar, dapat disimpulkan bahwa

1. Member kritis 102P-202P yang digunakan sebagai perwakilan struktur dan kajian fokus analisis kehandalan dengan kriteria performansi tegangan pada analisis *inplace* merupakan bagian tiang pancang dari struktur anjungan. Untuk desain terhadap H_{max} , kondisi member yang menentukan ialah UC pada analisis *inplace-storm* sebesar 0.9. Untuk desain terhadap H_s , kondisi member yang menentukan ialah UC pada analisis *seismic* dengan kuat gempa DLE sebesar 0.955.

2. UC member kritis struktur anjungan dari 50 simulasi dapat dimodelkan mengikuti distribusi lognormal dengan tingkat kepercayaan 20%, baik dengan desain terhadap H_{max} maupun terhadap H_s .
3. Indeks kehandalan struktur (β) melalui metode simulasi Monte Carlo. Diperoleh β sebesar 13.05 pada desain terhadap H_{max} dan 10.088 pada desain terhadap H_s untuk kriteria performansi tegangan member pada analisis *inplace* dengan banyak simulasi masing-masing 50 kali dan faktor beban yang dikaji ialah faktor beban gelombang.
4. 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 Selat Makassar.

Saran yang dapat dilakukan di masa mendatang dari pembelajaran pada karya tulis ini ialah sebagai berikut

1. Pengumpulan data struktur yang lebih lengkap, misalnya gambar teknik yang lebih detail, data berat peralatan serta perlengkapan akan menghasilkan model yang lebih mendekati struktur sebenarnya.
2. Jumlah simulasi yang semakin besar untuk metode Monte Carlo akan meningkatkan akurasi dari proses simulasi.
3. Selanjutnya dapat dikaji lebih lanjut mengenai penerapan faktor-faktor beban lingkungan lainnya dari API RP-2A LRFD untuk perairan yang sama, yaitu Perairan Selat Makassar.
4. Analisis kehandalan terhadap struktur anjungan di berbagai lokasi perairan di Indonesia dapat memberikan informasi terkait penyesuaian penerapan faktor beban lingkungan API RP-2A LRFD di Perairan Indonesia secara umum.

DAFTAR PUSTAKA

- Bai, Yong. 2003. *Marine Structural Design*. Oxford: Elsevier.
- Haldar. Achintya, Sankaran Mahadevan. 2000. *Probability, Reliability, and Statistical Methods in Engineering*. New York: John Wiley & Sons, Inc.