

PERHITUNGAN FAKTOR BEBAN GAYA LINGKUNGAN UNTUK ANALISA STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI DENGAN METODA LRFD

Ricky L. Tawekal¹

ABSTRACT

Up to this moment, structural design of offshore platforms in Indonesia is carried out by using API RP2A standard which is originally used for Gulf of Mexico environment. This will result in an over designed structure since the environment in Indonesia is less severe compare to the environment in Gulf of Mexico. Therefore, the environmental load factors that specified in API RP2A LRFD should be reviewed and determined based on local environmental condition.

In this paper, a model of 4-leg jacket structure is used to determine environmental load factor based on environmental condition at South East Sumatera Area. Structural analysis is carried out by using SACS (Structural Analysis Computer System) software.

Keywords : *load and resistance factor design, offshore structures, load factor*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu dari negara penghasil minyak dan gas alam dunia, dimana sumber minyak dan gasnya sebagian besar berada di wilayah lautan yang merupakan 70% dari luas total negara Indonesia. Untuk itu perlu dibangun infrastruktur lepas pantai untuk memfasilitasi kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi dan gas alam di lepas pantai.

Seperti dalam perancangan struktur lainnya, faktor keamanan dan ekonomi menjadi bagian yang penting dan harus dipertimbangkan dalam perancangan struktur anjungan lepas pantai. Sehingga suatu sistem struktur anjungan lepas pantai dirancang agar dapat menjamin suatu margin keamanan yang memadai dan dapat diterima terhadap kemungkinan gagal sepanjang umur layannya dengan biaya yang seminimal mungkin.

Ada beberapa kriteria yang harus dipenuhi dalam melakukan perancangan struktur anjungan lepas pantai, yaitu meliputi : kriteria operasional dan kriteria lingkungan. Kriteria operasional diantaranya meliputi penentuan jumlah sumur, peralatan, material, luas deck, dan jumlah deck yang dibutuhkan untuk kegiatan produksi (besar kecilnya reservoir akan mempengaruhi usia produksi) serta fasilitas transportasi pengangkutan hasil produksi. Sedangkan kriteria lingkungan memperhitungkan beban lingkungan seperti gelombang, angin, dan arus.

Konsep faktor keamanan klasik seperti WSD (*Working Stress Design*) menghasilkan rancangan struktur anjungan dengan kehandalan tinggi tanpa mempertimbangkan ketidakpastian dan sifat probabilitas didalam tahanan maupun efek bebannya secara eksplisit. Untuk itu perlu dilakukan upaya-upaya pengembangan desain yang mempertimbangkan sifat probabilitas dari

¹ PST Kelautan – Jurusan Teknik Sipil ITB

tahanan maupun beban yang bekerja pada struktur. Upaya pengembangan ini menghasilkan sebuah format desain LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) yang menggunakan analisis kehandalan berdasarkan pendekatan faktor kapasitas-beban. Beban dan kapasitas memiliki sifat variabel yang tidak pasti, akibatnya faktor keamanan juga menjadi suatu variabel yang mengandung ketidakpastian. American Petroleum Institute (API) mengembangkan konsep LRFD. Namun, dalam penggunaannya di Indonesia harus dikaji kembali dan dilakukan penyesuaian karena konsep LRFD yang dikembangkan API berdasarkan kondisi di Teluk Meksiko yang kondisinya berbeda dengan perairan di Indonesia pada umumnya.

Perbedaan antara metoda WSD dan LRFD terletak pada nilai faktor pembebanan yang digunakan untuk kondisi beban yang berbeda. Nilai faktor pembebanan ini merupakan nilai faktor keamanan struktur tersebut. Secara umum, persamaan untuk persyaratan untuk keamanan dapat ditulis sebagai berikut :

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \dots\dots\dots (1)$$

dimana ruas kiri persamaan diatas mewakili resistensi, atau kekuatan dari komponen atau sistem; sedangkan sisi kanan mewakili beban yang diharapkan akan ditanggung. Pada sisi kekuatan, harga nominal resistensi R_n dikalikan dengan faktor resistensi ϕ (reduksi kekuatan) untuk mendapatkan kekuatan desain. Pada sisi beban persamaan di atas, berbagai efek beban Q_i (seperti beban mati, dan beban hidup) dikalikan dengan faktor-faktor beban γ_i untuk mendapatkan jumlah $\sum \gamma_i Q_i$ dari beban-beban terfaktor. Subskrip i menunjukkan bahwa harus ada isian untuk masing-masing tipe beban Q_i yang bekerja, seperti beban mati, beban hidup dan beban lingkungan. Faktor γ_i mungkin saja berlainan untuk masing-masing tipe beban. Namun untuk metode WSD, Faktor γ_i tidak berbeda-beda untuk masing-masing tipe beban, sehingga perubahan-perubahan dalam

berbagai faktor kelebihan beban dan faktor resistensi dilakukan dengan mengubah tegangan ijin.

PEMBEBANAN PADA STRUKTUR

Beban-beban yang akan ditanggung oleh suatu struktur atau elemen struktur tidak selalu dapat diramalkan dengan tepat sebelumnya. Bahkan apabila beban-beban tersebut telah diketahui dengan baik pada salah satu lokasi tertentu, distribusi bebannya dari elemen yang satu ke elemen yang lain pada keseluruhan struktur biasanya masih membutuhkan asumsi dan pendekatan.

Beban hidup dan beban mati yang akan ditanggung oleh struktur berdasarkan API RP 2A dan ISO 19902 didefinisikan sebagai berikut :

Dead Load 1, D₁ merupakan berat sendiri struktur meliputi berat struktur di udara, berat peralatan dan objek lain yang ditempatkan secara permanen dan tidak akan berubah selama kondisi operasional, gaya hidrostatis.

Dead Load 2, D₂ merupakan beban pada anjungan akibat peralatan dan objek lain. Beban ini dapat berubah sesuai dengan kondisi operasional namun bernilai konstan untuk jangka waktu yang cukup lama. Beban mati 2 meliputi berat peralatan pengeboran dan produksi yang dapat diletakan atau dipindahkan dari anjungan, berat tempat tinggal, landasan helikopter, dan peralatan pendukung untuk hidup, peralatan menyelam dan perlengkapan lain yang dapat diletakan atau dipindahkan dari anjungan.

Live Load 1, L₁. Beban hidup satu meliputi berat makanan dan berat fluida di dalam pipa dan tanki. Harga nominal beban hidup diperoleh dari beban material terberat dan kapasitas terbesar pada saat kondisi operasional.

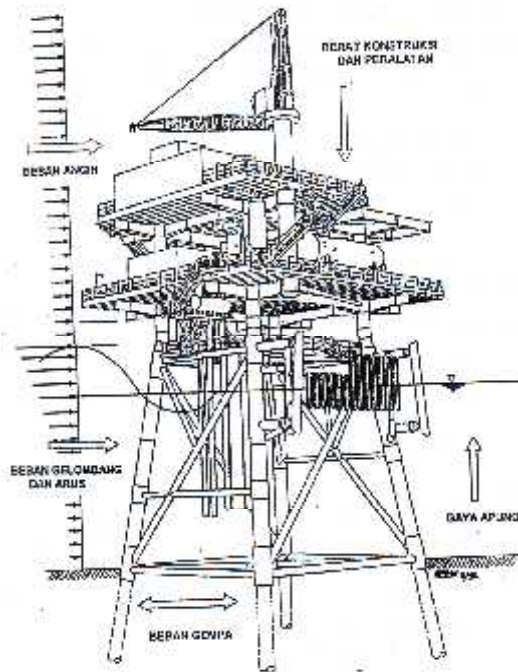
Live Load 2, L₂. Beban hidup dua merupakan beban hidup yang diterima struktur dalam periode waktu yang singkat

**Perhitungan Faktor Beban Gaya Lingkungan Untuk
Analisa Struktur Anjungan Lepas Pantai Dengan Metoda LRFD**

pada kondisi operasional seperti pengangkatan dengan menggunakan crane, operasi mesin, penambatan vessel dan pendaratan helikopter. Harga nominal beban hidup dua merupakan nilai rata – rata maksimum kapasitas dari peralatan.

W_e merupakan gaya pada struktur yang terjadi akibat beban lingkungan, yaitu kombinasi gelombang ekstrim, arus dan angin (periode ulang 100 tahun).

W_o merupakan beban lingkungan pada kondisi operasional (periode ulang 1 tahun).



Gambar 1. Beban–beban yang bekerja pada struktur anjungan lepas pantai

Format umum dari spesifikasi LRFD diberikan dengan persamaan (1). Secara umum persamaan tersebut berarti bahwa kekuatan (ϕR_n) yang disediakan dalam desain paling tidak harus sama dengan pemfaktoran beban-beban yang bekerja ($\sum \gamma_i Q_i$). Subskrip i menunjukkan bahwa harus ada isian untuk masing-masing tipe beban Q_i yang bekerja, seperti beban mati, beban hidup dan beban lingkungan. Faktor γ_i mungkin saja berlainan untuk masing-masing tipe beban.

Kombinasi beban-beban terfaktor menurut API RP2A- LRFD (1993) adalah sebagai berikut:

Kondisi Ekstrim

Setiap batang, sambungan, dan komponen pondasi harus dicek kekuatannya berdasarkan gaya dalam Q yang dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = 1.1D_1 + 1.1D_2 + 1.1L_1 + 1.35 W_e \dots\dots\dots(2)$$

Kondisi Operasional

Pada kondisi operasional gaya dalam Q dapat dihitung melalui persamaan berikut :

$$Q = 1.3D_1 + 1.3D_2 + 1.5L_1 + 1.5L_2 + 1.2 W_o \dots (3)$$

Pada saat ini di pemerintah Indonesia, melalui Ditjen MIGAS dan Badan Standarisasi Nasional, sedang mengembangkan standard perancangan struktur anjungan lepas pantai berdasarkan standard ISO 19902. Kombinasi beban-beban terfaktor menurut ISO 19902 adalah:

Kondisi Ekstrim

Setiap batang, sambungan, dan komponen pondasi harus dicek kekuatannya berdasarkan gaya dalam Q yang dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = 1.1 D1 + 1.1 D2 + 1.1 L1 + \gamma_{FE} (W_e \gamma_{FD} D_n) \dots\dots\dots(4)$$

Kondisi Operasional

Pada kondisi operasional gaya dalam Q dapat dihitung melalui persamaan berikut :

$$Q = 1.3D1 + 1.3D2 + 1.5L1 + 1.5L2 + 0.9 \gamma_{FE} (W_o + \gamma_{FD} D_n) \dots\dots\dots (5)$$

γ_{FE} adalah faktor beban untuk untuk pembebanan akibat gaya lingkungan dalam kondisi ekstrim. Sesuai dengan ISO 19902, faktor beban tersebut akan ditentukan berdasarkan kondisi lingkungan dalam suatu daerah lokasi yang ditinjau dan dimasukkan dalam *Annex C, Regional Information*.

γ_{FD} adalah faktor beban untuk pembebanan akibat gaya ekuivalen statik yang mewakili respon dinamik struktur terhadap gaya gelombang.

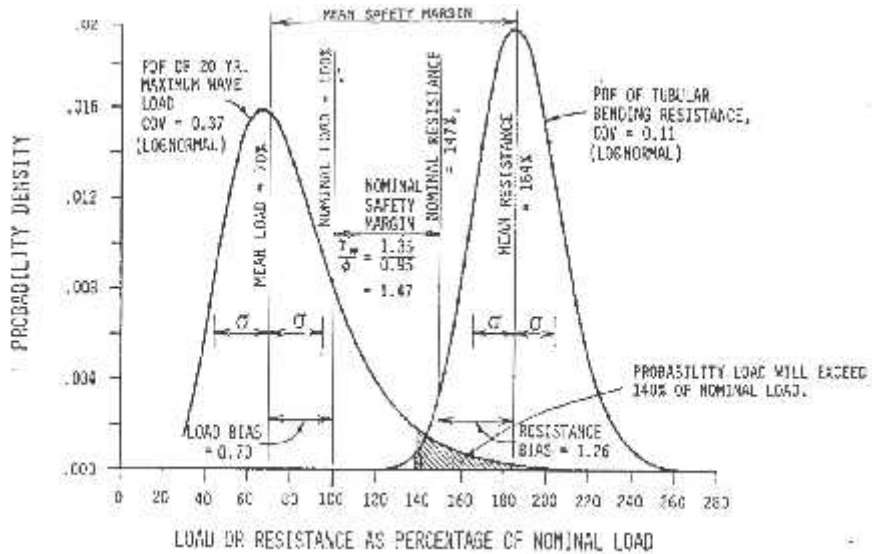
FORMULASI KEHANDALAN STRUKTUR

Keandalan adalah suatu kriteria keyakinan bahwa komponen sistem akan mampu melaksanakan fungsinya dengan aman. Angka keandalan bertujuan memberikan antisipasi karena keberadaan ketidakpastian dalam parameter desain. Konsep angka keandalan adalah membandingkan secara langsung besarnya kapasitas (R) terhadap beban (S). Dimana kedua variabel tersebut adalah besaran yang bersifat acak. Nilai dari indeks keandalan sangat bergantung pada distribusi yang diasumsikan.

Model rancangan keandalan struktur dapat mendefinisikan beban dan tahanan sebagai probabilitas variabel acak. Gambar 2 menunjukkan bahwa formulasi keandalan struktur bergantung pada tingkat *overlap* (beririsan) fungsi kerapatan probabilitas antara beban dan tahanan. Dari gambar 2 juga diketahui bahwa tidak ada daerah yang bebas resiko.

Dalam makalah ini, metoda yang digunakan adalah metoda aproksimasi probabilistik, Metoda ini dilakukan dengan pendekatan FOSM (*First Order Second moment*) yang memungkinkan peninjauan terhadap semua variabel acak dengan fungsi distribusi yang berbeda (normal, lognormal, Tipe I, Tipe II, dan seterusnya).

Perhitungan Faktor Beban Gaya Lingkungan Untuk
Analisa Struktur Anjungan Lepas Pantai Dengan Metoda LRFD



Gambar 2. Grafik fungsi kerapatan probabilitas terhadap tahanan dan beban [API]

Sebuah struktur dikatakan aman apabila hubungan berikut ini terpenuhi:

$$g(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) = \text{Tahanan} - \text{Beban} \geq 0 \dots\dots (6)$$

Sehingga fungsi keadaannya adalah:

$$g(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) = \text{Tahanan} - \text{Beban} = 0 \dots\dots (7)$$

Fungsi keadaan batas inilah yang menjadi dasar persamaan dalam mencari faktor beban (*limit state design*). Jika tahanan (R) dan beban (Q) saling bebas dan terdistribusi normal dengan rata-rata μ_R - μ_Q dan standar deviasi $\sigma_R^2 + \sigma_Q^2$, maka indeks kehandalan adalah :

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_Q}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}} \dots\dots\dots (8)$$

dimana beban (Q) terbagi lagi menjadi beberapa komponen beban yang masing-

masing memiliki karakteristik probabilitas sendiri.

Apabila komponen tahanan atau beban tidak terdistribusi secara normal, maka parameter statistik dicari dengan menggunakan distribusi normal ekuivalen. Secara teoritis distribusi normal ekuivalen tersebut diperoleh melalui transformasi Rosenblatt. Dengan distribusi normal ekuivalen tersebut, perhitungan indeks kehandalan dilakukan dengan cara yang sama seperti untuk variat normal.

Probabilitas kumulatif pada titik kegagalan X_i^* adalah :

$$\Phi\left(\frac{X_i^* - \mu_{X_i}}{\sigma_{X_i}}\right) = F_{X_i}(X_i^*) \dots\dots\dots (9)$$

dan kerapatan probabilitasnya:

$$\phi\left(\frac{X_i^* - \mu_{X_i}}{\sigma_{X_i}}\right) = f_{X_i}(X_i^*) \dots\dots\dots (10)$$

Sehingga didapat :

$$\mu^N_{Xi} = X_i^* - \sigma^N_{Xi} \Phi^{-1}[F_{Xi}(X_i^*)] \dots (11)$$

$$\sigma^N_{Xi} = \frac{\varphi\{\Phi^{-1}[F_{Xi}(X_i^*)]\}}{f_{Xi}(X_i^*)} \dots (12)$$

dan titik kegagalan adalah :

$$X_i^* = \sigma^N_{Xi} X_i + \mu^N_{Xi} = -\alpha_i \beta \sigma^N_{Xi} + \mu^N_{Xi} \quad (13)$$

dimana

$$\alpha_i = \frac{\left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \sigma^N_{Xi} \right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^2 \sigma^N_{Xi}{}^2}} \dots (14)$$

titik kegagalan dicari secara iterasi, dengan mengasumsikan titik kegagalan awal sama dengan rata-ratanya. Kemudian setelah diperoleh titik kegagalan, maka dapat dihitung faktor beban untuk masing-masing komponen beban sebagai berikut:

$$\gamma_i = \frac{X_i^*}{\mu_{n,i}} \dots (15)$$

ALGORITMA PERHITUNGAN FAKTOR BEBAN

Berdasarkan metoda yang digunakan, dapat disusun algoritma untuk memperoleh faktor desain parsial (dalam hal ini faktor beban), yaitu sebagai berikut:

- Definisikan fungsi keadaan batas (*limit state*) atau persamaan unjuk kerja

$$g(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) = 0 \text{ Hitung}$$

$$\alpha_i = \frac{\left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \sigma^N_{Xi} \right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)^2 \sigma^N_{Xi}{}^2}} \text{ Tetapkan target}$$

indeks kehandalan β .

- Sebagai nilai awal, asumsikan titik kegagalan untuk setiap variabel beban $X_i^* = \mu_{Xi}$. Untuk variabel non-normal hitung rata-rata dan standar deviasi dengan menggunakan distribusi normal ekuivalen, yaitu :

$$\mu^N_{Xi} = X_i^* - \sigma^N_{Xi} \Phi^{-1}[F_{Xi}(X_i^*)]$$

$$\sigma^N_{Xi} = \frac{\varphi\{\Phi^{-1}[F_{Xi}(X_i^*)]\}}{f_{Xi}(X_i^*)}$$

Hitung $\frac{\partial g}{\partial X_i}$ yang dievaluasi di titik kegagalan X_i^*

$$\text{Hitung } X_i^* = \mu^N_{Xi} - \alpha_i \beta \sigma^N_{Xi}$$

Masukkan ke persamaan unjuk kerja $g(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) = 0$

Didapat β , bandingkan dengan β target

Lakukan iterasi hingga β mendekati β target

$$\text{Hitung faktor beban } \gamma_i = \frac{X_i^*}{\mu_{n,i}}$$

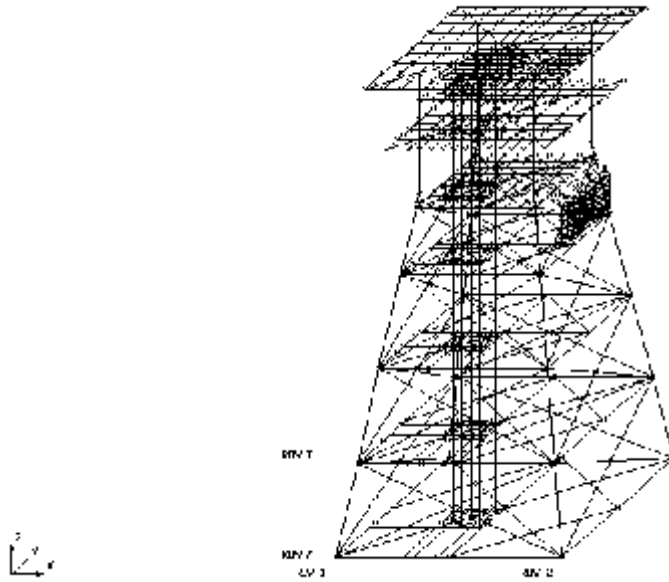
STUDI KASUS

Sebuah model struktur jacket 4-kaki anjungan lepas pantai digunakan untuk menentukan faktor beban gaya lingkungan berdasarkan kondisi perairan di Tenggara Pulau Sumatera.

Analisa struktur dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SACS. Perhitungan dilakukan dengan perlakuan struktur dan tiang pancang sebagai sistem linier tetapi sifat tanah sebagai non-linier. Model elemen hingga struktur dibuat dengan menggunakan elemen balok yang tersedia dalam perangkat lunak SACS. Model elemen hingga struktur tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

Perhitungan Faktor Beban Gaya Lingkungan Untuk
Analisa Struktur Anjungan Lepas Pantai Dengan Metoda LRFD

00 01 198



Gambar 3. Model 3 dimensi struktur jacket 4-kaki anjungan lepas pantai

Data Lingkungan

perairan dengan data lingkungan sebagai berikut :

Untuk keperluan studi kasus, diasumsikan struktur anjungan tersebut ditempatkan di

Tabel 1. Elevasi Muka Air dan Mudline

Elevasi Muka Air	Ekstrim ($T_R = 100$ thn)	Operasional ($T_R = 1$ thn)
LAT	-1.5 ft	-1.5 ft
MLW	0.0 ft	0.0 ft
MSL	+1.7 ft	+1.7 ft
MHW	+3.1 ft	+3.1 ft
HAT	+4.4 ft	+4.4 ft
Storm Tide	0.7 ft	0.4 ft
Total Tide	5.1 ft	4.8 ft
Mudline	-120 ft	-120 ft

Tabel 2. Data Gelombang Maksimum

Parameter	Ekstrim ($T_R = 100$ thn)	Operasional ($T_R = 1$ thn)
Tinggi Gelombang (H)	26.40	10.80
Periode Gelombang (T)	8.70	7.30

Tabel 3. Data Kecepatan Angin

Parameter	Ekstrim ($T_R = 100$ thn)	Operasional ($T_R = 1$ thn)
Kecepatan Angin	80 mph	48 mph

Tabel 4. Data Kecepatan Arus

Kedalaman (ft)	Ekstrim ($T_R = 100$ thn)	Operasional ($T_R = 1$ thn)
0	4.3	3.3
12	4.0	3.1
24	3.7	2.9
36	3.5	2.7
48	3.2	2.5
60	2.9	2.3
72	2.6	2.1
84	2.4	1.9
96	2.1	1.7
108	1.7	1.4
120	1.0	0.7

Pembebanan Struktur

Beban Mati dan Beban Hidup

Beban mati akibat berat sendiri struktur dihitung oleh *software SACS* sebagai fungsi dari volume elemen struktur tersebut berdasarkan berat jenis elemen struktur tersebut yang diberikan. Beban

mati lainnya yang tidak dihitung oleh SACS, diperhitungkan sebagai beban luar yang bekerja pada elemen atau titik simpul. Beban mati dan beban hidup yang akan ditanggung oleh struktur dapat dilihat pada Tabel 5 sampai dengan Tabel 9 berikut :

Tabel 5. Beban Crane

No.	Deskripsi	Berat
1	Momen crane arah sb-x positif	369 in-kips
2	Momen crane arah sb-y positif	369 in-kips
3	Hook (crane vertikal)	2 kips

Tabel 6. Beban Struktur

No.	Deskripsi	Berat	Lokasi
1	Firewall	0.1 kips/ft ²	Mezzanine & Cellar Deck
2	Main Deck Plate	15.6 psf	Main Deck
3	Cellar Deck Plate	15.6 psf	Cellar Deck
4	Cellar Deck Hand Rail	0.015 kips/ft ²	Cellar Deck
5	Mezzanine Deck Plate	15.6 psf	Mezzanine Deck
6	Mezzanine Deck Hand Rail	0.015 kips/ft ²	Mezzanine Deck
7	Well Head Hand Rail	0.015 kips/ft ²	Well Head Access Platform
8	Stair 1	1.30 kips	Mezzanine to Main Deck
9	Stair 2	2.25 kips	Cellar to Mezzanine Deck
10	Stair 3	2.50 kips	Bootlanding to Cellar Deck

Perhitungan Faktor Beban Gaya Lingkungan Untuk
Analisa Struktur Anjungan Lepas Pantai Dengan Metoda LRFD

Tabel 7. Beban Peralatan

No.	Deskripsi	Jml	Berat (kips)	Total Berat (kips)	Lokasi
1	Air Receiver	1	3.000	3.000	Cellar Deck
2	Faspac	7	10.000	70.000	Mezzanine Deck
3	Instrument Air Skid	1	3.000	3.000	Cellar Deck
4	Electrical Room	1	17.990	17.990	Cellar Deck
5	Tes Separator (V100)	1	7.000	7.000	Cellar Deck
6	Air Compressor	1	2.991	2.991	Cellar Deck
7	Well Head Panel	2	0.996	1.992	Mezzanine and Cellar
8	N2Rack	1	0.500	0.500	Cellar Deck
9	Test Header	1	5.000	5.000	Cellar Deck
BERAT TOTAL			111.47	111.47	Kips

Tabel 8. Beban Work Over Rig

No.	Deskripsi	Berat (kips)
1	Kondisi Operating	285
2	Kondisi Storm	253

Tabel 9. Beban Hidup

No.	Lokasi	Operating (psf)	Storm(psf)
1	Main Deck	100	75
2	Mezzanine Deck	150	100
3	Cellar Deck	150	100

Beban Lingkungan

Gaya akibat gelombang dan arus dihitung oleh modul SEASTATE yang ada dalam software SACS berdasarkan model hidrodinamika. Beban lingkungan diperhitungkan dari 8 (delapan) arah pada kondisi operasional dan kondisi ekstrim. Kecepatan arus ditambahkan kepada kecepatan partikel air akibat gelombang untuk menghitung gaya akibat gelombang dan arus. Gaya akibat angin diperhitungkan untuk angin 1-menit pada kondisi operasional dan kondisi ekstrim. Harga

koefisien gaya seret C_D dan koefisien penambahan massa C_M diambil sesuai dengan standard API, yaitu sebesar 0,65 dan 1,6 untuk permukaan yang halus dan sebesar 1,05 dan 1,2 untuk permukaan yang kasar. Elemen struktur yang terletak di bawah MSL dianggap sebagai struktur dengan permukaan kasar. Gaya gelombang dihitung dengan menggunakan teori gelombang Stoke 5th yang tersedia dalam *software SACS*.

Beban Dasar

Dari data beban yang ada, dikelompokkan lagi menjadi beban-beban dasar yang

bekerja pada struktur dibagi ke dalam beberapa bagian dan didefinisikan sebagai berikut :

Tabel 10. Beban-beban Dasar

LC No.	Definisi	Type
1	Self Weight	DL1
2	Equipment & Piping	DL2
3	Deck Appurtunance	DL1
4	Live Load at Main Deck	LL
5	Moment Crane X direction	DL2
6	Moment Crane Y direction	DL2
7	Hook (Crane Vertical)	DL2
8	Cellar & Mezzanine Live Load	LL
9	Work Over Rig #1 Storm	DL2
10	Work Over Rig #2 Storm	DL2
11	Work Over Rig #3 Storm	DL2
12	Work Over Rig #4 Storm	DL2
13	Work Over Rig #5 Storm	DL2
14	Work Over Rig #6 Storm	DL2
15	Work Over Rig #7 Storm	DL2
16	Work Over Rig #8 Storm	DL2
17	Work Over Rig #9 Storm	DL2
18	Work Over Rig #1 Operating	LL
19	Work Over Rig #2 Operating	LL
20	Work Over Rig #3 Operating	LL
21	Work Over Rig #4 Operating	LL
22	Work Over Rig #5 Operating	LL
23	Work Over Rig #6 Operating	LL
24	Work Over Rig #7 Operating	LL
25	Work Over Rig #8 Operating	LL
26	Work Over Rig #9 Operating	LL
27	Enviromental Load 0°	W_o, W_e
28	Enviromental Load 45°	W_o, W_e
29	Enviromental Load 90°	W_o, W_e
30	Enviromental Load 135°	W_o, W_e
31	Enviromental Load 180°	W_o, W_e
32	Enviromental Load 225°	W_o, W_e
33	Enviromental Load 270°	W_o, W_e
34	Enviromental Load 315°	W_o, W_e

Perhitungan faktor beban gaya lingkungan

Untuk perhitungan faktor beban, digunakan data statistik untuk tahanan, beban mati dan beban hidup berdasarkan rekomendasi dari API RP2A – LRFD dengan pertimbangan sifat probabilitas untuk komponen tahanan, beban mati dan beban hidup sama untuk

setiap kondisi lingkungan perairan. Sedangkan untuk komponen beban lingkungan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan perilaku statistik dari kondisi di daerah perairan yang ditinjau. Adapun parameter statistik yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 11. Parameter Statistik

	DL1	DL2	LL	Resistance	W_O	W_E
Distribusi	Normal	Normal	Gamma	Lognormal	Type I	
COV	0.06	0.1	0.14	0.13	0.206	0.121
Bias	1.0	1.0	1.0	1.05	0.903	0.941

Perhitungan angka kehandalan struktur dilakukan berdasarkan elemen struktur yang paling kritis dari setiap kelompok elemen struktur yang memiliki penampang yang sama. Dalam studi kasus ini, gaya ekuivalen statik yang mewakili respon dinamik struktur terhadap gaya gelombang diabaikan. Asumsi ini akan sesuai untuk kondisi dimana periode natural struktur lebih kecil dari 3 detik.

Angka kehandalan yang didapat adalah :

Kondisi Operating :

- Berdasarkan API RP2A WSD :
 $\beta = 7.64$
- Berdasarkan API RP2A LRFD :
 $\beta = 4.78$

Kondisi Storm :

- Berdasarkan API RP2A WSD :
 $\beta = 7.63$
- Berdasarkan API RP2A LRFD :
 $\beta = 3.85$

Dengan menetapkan faktor beban untuk gaya berat sesuai dengan API RP2A LRFD dan ISO 19902, dan berdasarkan parameter statistik masing-masing komponen beban seperti yang terlihat pada Tabel 5, diperoleh kombinasi pembebanan untuk angka

kehandalan yang sama dengan angka kehandalan yang diperoleh berdasarkan API RP2A LRFD adalah sebagai berikut:

Kondisi Operating

$$: 1.3 DL1 + 1.3 DL2 + 1.5 LL + 1.02 W_O$$

Rekomendasi API RP2A – LRFD

$$: 1.3 DL1 + 1.3 DL2 + 1.5 LL + 1.20 W_O$$

Kondisi Ekstrim

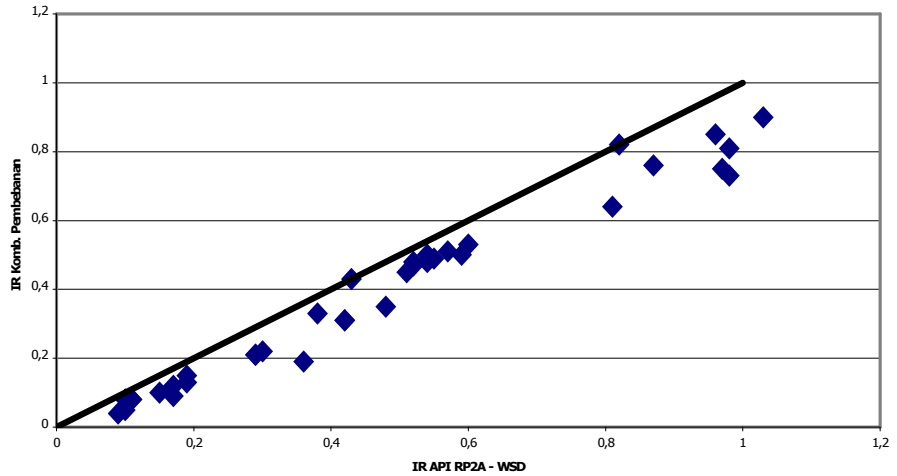
$$: 1.1 DL1 + 1.1 DL2 + 1.1 LL + 1.21 W_E$$

Rekomendasi API RP2A – LRFD

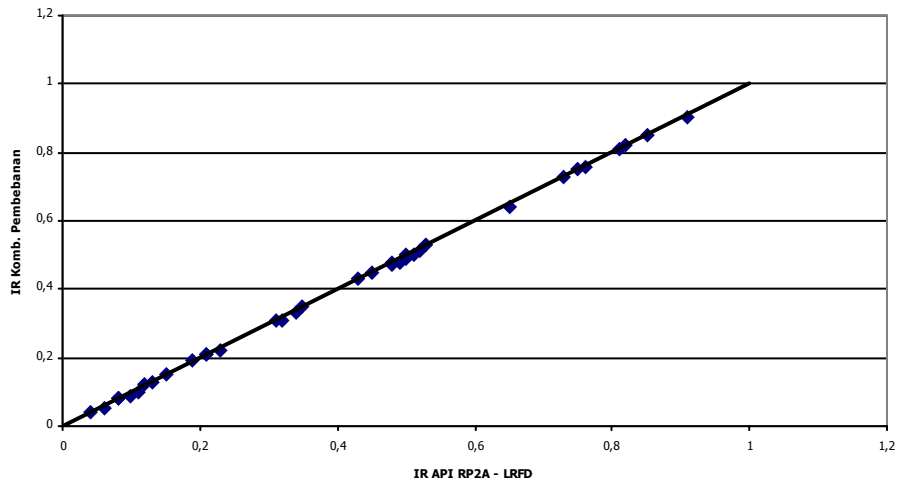
$$: 1.1 DL1 + 1.1 DL2 + 1.1 LL + 1.35 W_E$$

Sebagai perbandingan, ditampilkan secara visualisasi perbandingan *interaction ratio* yang diperoleh apabila struktur dianalisis dengan menggunakan kombinasi pembebanan dari API RP2A-WSD, API RP2A-LRFD, dan kombinasi pembebanan yang diperoleh dari perhitungan secara statistik. *Interaction ratio* yang ditampilkan diwakili oleh batang-batang yang paling kritis dari setiap kelompok batang yang memiliki penampang yang sama. Apabila perbandingan *interaction ratio* (IR) berdasarkan kombinasi pembebanan dengan format dari API RP2A kurang dari satu atau berada dibawah garis batas $y = x$, maka IR yang dihasilkan oleh kombinasi

pembebanan yang diperoleh lebih kecil dari API RP2A .
IR yang dihasilkan dari format pembebanan

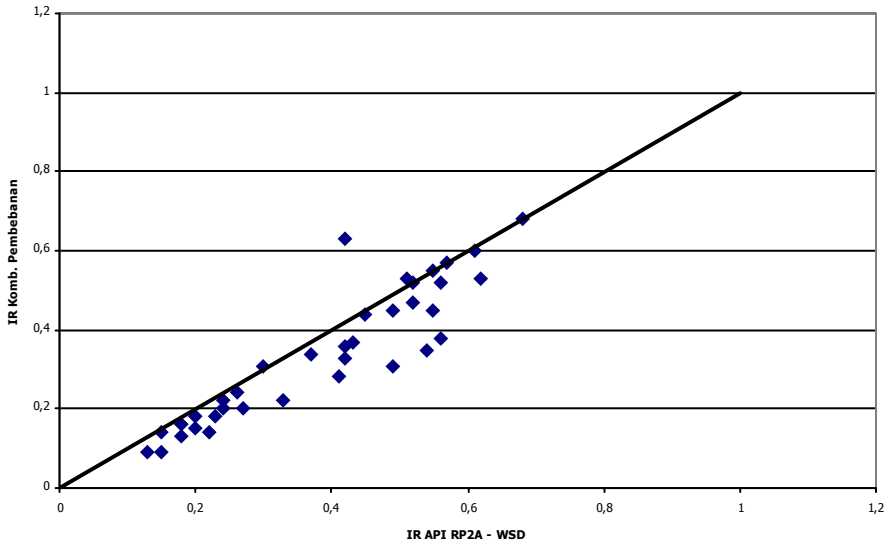


Gambar 4. Grafik perbandingan IR antara kombinasi pembebanan yang diperoleh dengan API RP2A-WSD untuk kondisi operasi

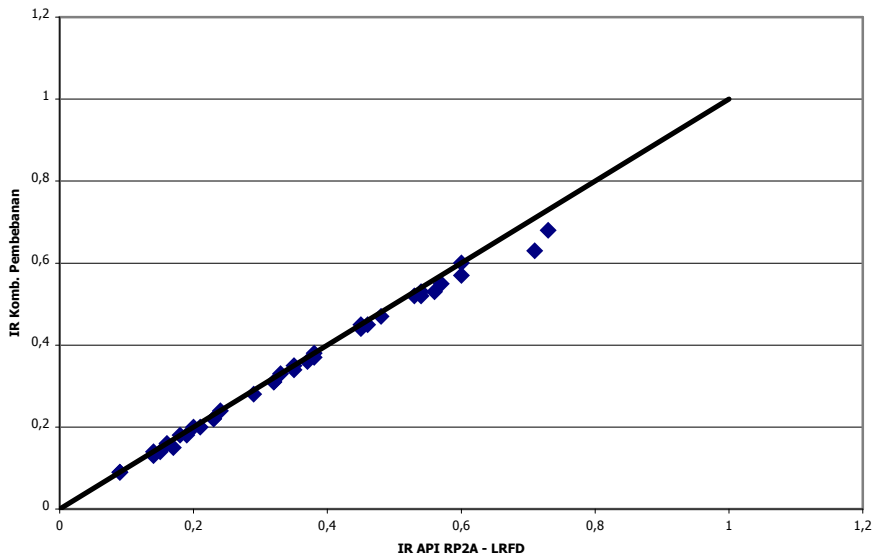


Gambar 5. Grafik perbandingan IR antara kombinasi pembebanan yang diperoleh dengan API RP2A-LRFD untuk kondisi operasi

Perhitungan Faktor Beban Gaya Lingkungan Untuk
Analisa Struktur Anjungan Lepas Pantai Dengan Metoda LRFD



Gambar 6. Grafik perbandingan IR antara kombinasi pembebanan yang diperoleh dengan API RP2A-WSD untuk kondisi storm



Gambar 7. Grafik perbandingan IR antara kombinasi pembebanan yang diperoleh dengan API RP2A-LRFD untuk kondisi storm

KESIMPULAN

Berdasarkan kondisi lingkungan yang ditinjau dan dengan target angka kehandalan yang sama dengan angka kehandalan yang diperoleh dengan format desain API RP2A – LRFD, yaitu 4,78 untuk kondisi *operating* dan 3,85 untuk kondisi *storm*, didapatkan faktor beban gaya lingkungan yang lebih kecil dari faktor beban lingkungan yang ditetapkan dalam API RP2A – LRFD. Hal ini terjadi karena kondisi perairan di daerah yang ditinjau tidak sama dengan kondisi perairan di Teluk Mexico. Karena itu, akan dihasilkan struktur dengan angka kehandalan yang berlebih apabila struktur yang akan ditempatkan di daerah yang ditinjau dirancang dengan menggunakan format API RP2A - WSD maupun API RP2A – LRFD.

Angka kehandalan yang diperoleh untuk kondisi *operating* dan untuk kondisi *storm* untuk struktur anjungan lepas pantai pada umumnya berbeda. Perancangan struktur anjungan lepas pantai bisa lebih optimum lagi apabila dilakukan berdasarkan target angka kehandalan untuk kondisi *operating* dan kondisi *storm* yang sama. Karena itu, perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai angka kehandalan minimum yang sesuai dengan kondisi di Indonesia sehingga rancangan yang didapat tidak berlebih.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute (1993), "*API Recommended Practice 2A – WSD (API RP2A – WSD), First Edition*".
- American Petroleum Institute (1997), "*API Recommended Practice 2A – LRFD (API RP2A – LRFD), Supplement 1*".
- Ang, Alfredo H-S and Wilson H. Tang (1975), "*Probability Concepts in Engineering Planning and Design Volume I*", John Willey & Sons Inc.
- Ang, Alfredo H-S and Wilson H. Tang (1975), "*Probability Concepts in*

Engineering Planning and Design Volume II Decision, Risk and Reliability", John Willey & Sons Inc.

Bea, R. (1998), "*Risk Based Oceanographic and Earthquake Load and Resistance Factor Criteria for Design and Requalification of Platforms Offshore Indonesia*", University of Berkeley, California

Ellingwood, B., McGregor, J.G., Galambos T.V., and Cornell, C.A. (1982) "*Probability Based Load Criteria : Load Factor and Load Combination*", Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 108, No. ST 5, pp. 978-9

Faber, M.H, (2003), "*Risk and Safety in Civil, Surveying and Environmental Engineering*", Swiss Federal Institute of Technology.

Hsu, Teng H. (1984), "*Applied Offshore Structural Engineering: Practical design methods, formulas, and data*", Gulf Publishing Company, Houston.

Lembaga Afiliasi Penelitian dan Industri – Institut Teknologi Bandung (2003), "*Computation of Monthly Individual Wave Distribution for Southeast Sumatera*"

Ochi, M.K. (1990), "*Applied Probability and Stochastic Processes In Engineering and Physical Sciences*", John Willey & Sons Inc.

Pradyana, G., Surahman, A., Idris, K., and Rohayati, Y., (1999), "*Standard for Offshore Structure in Indonesia*", VI-1 Strategic Research Report, Institut Teknologi Bandung

Salmon, G. S. and Johnson, J. E. (1990), "*Steel Structures: Design and Behaviour, Emphasizing Load and Resistance Factor Design, Third Edition*", HarperCollins, Publisher, Inc.

Daftar Notasi

X_i = variabel acak tahanan dan komponen-komponen beban

Perhitungan Faktor Beban Gaya Lingkungan Untuk
Analisa Struktur Anjungan Lepas Pantai Dengan Metoda LRFD

μ_R	= nilai rata-rata komponen tahanan	X_i^*	= titik kegagalan (<i>design value</i>) masing-masing komponen
μ_Q	= nilai rata-rata komponen beban	$\mu_{X_i}^N$	= nilai rata-rata distribusi normal ekivalen X_i
σ_R	= standar deviasi komponen tahanan	$\sigma_{X_i}^N$	= standar deviasi distribusi normal ekivalen X_i
σ_S	= standar deviasi komponen beban	γ_i	= faktor beban
β	= indeks kehandalan	$\mu_{n,i}$	= rata-rata masing-masing komponen beban
Φ	= CDF distribusi normal standar		
ϕ	= PDF distribusi normal standar		
F_{X_i}	= CDF asli X_i		
f_{X_i}	= PDF asli X_i		