

STUDI PERBANDINGAN METODA WSD DAN LRFD DALAM ANALISA STRUKTUR ANJUNGAN LEPAS PANTAI

Ricky L. Tawekal¹

ABSTRACT

Up to this moment, most of structural design of offshore platforms are carried out by using traditional Allowable Stress Design (or Working Stress Design) specification adopted in American Petroleum Institute (API RP2A – WSD) Codes. In this method, loads and stresses are calculated based on linier elastic material and then compare them to the allowable loads and stresses. Recently, Load and Resistance Factor Design specification adopted in API RP2A – LRFD have been developed from the API RP2A – WSD using reliability based calibration. General industry practices recognise that older, existing offshore structures may not meet current design standards. However, many of these platforms that are in acceptable condition can be shown to be structurally adequate using a risk based assesment criteria that considers platform use, location, and the consequences of failure. In this paper, a comparison study on WSD and LRFD methods in structural analysis of offshore platform is carried out by using a monopod offshore platform model. Structural analysis and unity check are performed by using SACS version 5.1 software.

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

PENDAHULUAN

Ada beberapa kriteria yang harus dipenuhi dalam melakukan perencanaan struktur anjungan lepas pantai, 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.

Praktek disain dewasa ini memanfaatkan pengetahuan tentang mekanika material, analisis struktur, dan secara khusus, stabilitas struktur, bersama-sama dengan aturan-aturan disain demi menjamin keamanan. Yang paling luas digunakan adalah peraturan disain yang diterbitkan

oleh American Institute of Steel Construction (AISC), dalam Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Building dan Spesifikasi for Structural Steel Building – Allowable Stress Design and Plastic Design.

Menurut standard API RP 2A, metoda pembebanan struktur bisa berdasarkan *Metoda Working Stress Design (WSD)* atau *Load and Resistance Factor Design (LRFD)*. Perbedaan kedua metode ini terletak pada nilai koefisien terfaktor yang digunakan untuk kondisi beban yang berbeda. Nilai koefisien terfaktor 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.

¹ PST Kelautan – Jurusan Teknik Sipil ITB

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 kelebihan 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 berbedabeda untuk masing-masing tipe beban, sehingga perubahan-perubahan dalam berbagai faktor kelebihan beban dan faktor resistensi dilakukan dengan mengubah tegangan ijin.

BEBAN STRUKTUR

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

Dead Load 1, D_1 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 hidrostatik.

Dead Load 2, D_2 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, L_1 . 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, L_2 . Beban hidup dua merupakan beban hidup yang diterima struktur dalam periode waktu yang singkat 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 (perida ulang 1 tahun).

METODA WSD

Metoda tradisional dari spesifikasi AISC adalah *Allowable Stress Design* (disain tegangan yang diijinkan) yang disebut pula *Working Stress Design* (disain tegangan kerja). Fokus metoda WSD terletak pada kondisi beban layanan yang harus memenuhi persyaratan keamanan bagi struktur tersebut.

Untuk metoda WSD, persamaan (1) dapat ditulis kembali sebagai berikut :

$$\frac{\phi R_n}{\gamma} \geq \sum Q_i \dots\dots\dots(2)$$

Dalam filosofi WSD, semua beban diasumsikan sebagai memiliki variabilitas rata-rata yang sama. Keseluruhan variabilitas beban-beban dan kekuatan-kekuatan yang ditempatkan pada ruas kekuatan dalam persamaan tersebut. Untuk analisa suatu struktur balok, ruas kiri mewakili kekuatan nominal balok M_n yang dibagi oleh suatu faktor keamanan FS sedangkan ruas kanan mewakili momen lentur beban layanan M yang bekerja

sebagai total dari semua beban. Dengan demikian, persamaan (2) dapat dituliskan menjadi :

$$\frac{M_n}{FS} \geq M \dots\dots\dots(3)$$

METODA LRFD

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.

Spesifikasi LRFD didasarkan atas hal-hal berikut ini :

1. Suatu model atas dasar probabilitas
2. Evaluasi atas dasar pertimbangan dan pengalaman di masa lalu, disertai studi-studi lembaga desain atas struktur-struktur yang representatif

Kombinasi beban-beban terfaktor menurut API RP2A- LRFD 93 adalah sebagai berikut :

Beban Gravitasi Terfaktor

Setiap member, sambungan dan komponen pondasi harus dicek kekuatannya berdasarkan gaya dalam (Q) yang disebabkan oleh faktor berikut :

$$Q = 1.3D_1 + 1.3D_2 + 1.5L_1 + 1.5L_2 \dots\dots\dots(4)$$

Beban gelombang, angin, dan arus

Kondisi Ekstrim

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

$$Q = 1.1D_1 + 1.1D_2 + 1.1L_1 + 1.35 W_e \dots\dots\dots(5)$$

Apabila gaya dalam akibat beban gravitasi melawan gaya yang disebabkan oleh angin, gelombang, dan arus maka persamaan di atas dapat dituliskan kembali sebagai berikut:

$$Q = 0.9D_1 + 0.9D_2 + 0.8L_1 + 1.35 W_e \dots\dots\dots(6)$$

Kondisi Operasional

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

$$Q = 1.3D_1 + 1.3D_2 + 1.5L_1 + 1.5L_2 + 1.2 W_o \dots\dots\dots(7)$$

STUDI KASUS

Sebuah model struktur tetap anjungan lepas pantai tipe monopod akan digunakan untuk perbandingan metoda WSD dan LRFD.. Anjungan lepas pantai tipe monopod ini memiliki kaki (*caisson*) berdiameter 56 inchi dengan tiga buah sumur (*conductor*) berdiameter 16 inchi. Anjungan terdiri dari *cellar deck* dan *main deck* dengan elevasi sebagai berikut :

Elevasi <i>cellar deck</i>	= +37.5 ft
Elevasi <i>main deck</i>	= +53.5 ft
Elevasi permukaan dasar laut	= -65.0 ft

Gambar struktur anjungan dapat dilihat pada Gambar 1.

Anjungan ini berfungsi sebagai terminal untuk mengambil minyak, bukan sebagai anjungan proses maupun anjungan produksi. Peralatan akan ditempatkan pada *cellar deck* dan berfungsi untuk pengoperasian konduktor, minyak akan dipisahkan dari air lalu dialirkan ke barge proses melalui riser.

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 2 – Gambar 5. Properti elemen struktur dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Properti Elemen Struktur
TUBULAR MEMBER PROPERTIES

WALL GRP	OUTSIDE THICK	AXIAL DIAMETER	***** AREA	MOMENTS OF INERTIA X-X	***** Y-Y	MOMENTS OF INERTIA Z-Z	***** STRESS	YIELD AREA
IN	IN	IN**2	IN**4	IN**4	IN**4	IN**4	KSI	IN**2
BL1	0.432	6.63	8.4049	80.981	40.491	40.491	36.0	4.20
BL3	0.500	10.75	16.101	423.90	211.95	211.95	36.0	8.05
BL4	0.237	4.50	3.1740	14.465	7.2326	7.2326	36.0	1.59
BL5	0.688	12.75	26.071	951.36	475.68	475.68	36.0	13.04
CL	0.844	16.00	40.186	2314.9	1157.4	1157.4	36.0	20.09
LG	2.000	56.00	339.29	247680	123840	123840	36.0	169.65
PL1	1.031	20.00	61.440	5543.2	2771.6	2771.6	36.0	30.72
PL2	0.688	12.75	26.071	951.36	475.68	475.68	36.0	13.04

WIDE FLANGE/WIDE FLANGE COMPACT, MEMBER PROPERTIES

** FLANGE ** GRP	WEB THICK	FILET WIDTH	AXIAL RAD.	***** DEPTH	MOMENTS OF INERTIA AREA	***** X-X	***** Y-Y	***** Z-Z	YIELD STRESS
IN	IN	IN	IN	IN	IN**2	IN**4	IN**4	IN**4	KSI
WF1	0.67	10.23	0.395	0.400	16.33	19.70	2.390	954.0	119.0
WF2	0.51	5.81	0.300	0.300	10.47	8.840	0.620	170.0	16.70
WF3	0.99	10.43	0.585	0.400	16.97	29.40	7.730	490.	186.0
WF4	0.57	7.49	0.355	0.400	17.99	14.70	1.240	800.0	40.10
WF5	1.57	13.01	0.870	0.512	25.71	60.70	38.60	820.	578.0

CHANNEL MEMBER REPORT

WEB GRP	FLANGE HEIGHT	AXIAL WIDTH	***** THICK	MOMENTS OF INERTIA Y-BAR	***** AREA	***** X-X	***** Y-Y	***** Z-Z	YIELD STRESS
IN	IN	IN	IN	IN	IN**2	IN**4	IN**4	IN**4	KSI
C1	10.00	3.03	0.673	0.436	0.6	8.820	1.230	103.0	3.940

Data Lingkungan

Untuk keperluan studi kasus, diasumsikan struktur anjungan tersebut ditempatkan di perairan dengan data lingkungan sebagai berikut :

1. Lowest Astronomical Tide (LAT): -3.2 ft
2. Mean Lowest Water Level (MLW): -1.7ft
3. Mean Sea Level (MSL) : 0.0 ft
4. Mean Highest Water Level (MHW): +1.4ft
5. Highest Astronomical Tide (HAT): +2.7ft
6. Storm Tide : +0.7 ft
7. Tinggi Gel (H) : 29 ft
8. Periode Gel. (T) : 9.2 detik

9. Kecepatan angin : 80 mph

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 berikut :

Tabel 1. Beban Mati

No.	Beban Mati	Berat
1.	Berat sendiri	421.988 kips
2.	Momen Crane arah sumbu x positif	369.6 in-kips
3.	Momen crane arah sumbu y positif	369.6 in-kips
4.	Hook (crane vertikal)	4.4 kips
Perlengkapan		
5.	Anode	0.7 kips
	Grating	7.5 lbs/ft ²
	Chequered plate 3/8 "	15.3 lbs/ft ²
	Firewall	0.1 kips/ft
	Handrail	0.015 kips/ft
Peralatan		
6.	Transformer (TR – 07)	5.5 kips
	Transformer (TR – 08)	5.492 kips
	N2Bottle	0.45 kips
	Well head panel	0.659 kips
	Hose reel	0.662 kips
	Test Separator Skid	18.065 kips
	Instrument Air Skid	6.6 kips
	Water Injector Header	4.4 kips
	Water Injection Receiver	1.1 kips
	Launcher	2.2 kips
	7.	WOR Operating

Tabel 2. Beban Hidup

No.	Beban Hidup	Berat
1.	Beban hidup di cellar deck dan main deck	100 psf
2.	Beban hidup di area wellhead	75 psf

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 untuk menganalisa kekuatan struktur yang paling kritis 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*.

Kombinasi Beban

Kondisi pembebanan dibedakan menjadi dua, yaitu kondisi beban dasar dan kondisi beban kombinasi. Beban dasar dapat dilihat pada Tabel 3. Selain momen crane +x dan momen crane +y, **M_x**, **M_y**, dan **M_z** adalah momen terhadap sumbu-x, sumbu-y, dan sumbu-z akibat beban dasar (masukan) F_x, F_y, atau F_z, yang besarnya dihitung oleh SACS. Kombinasi beban-beban dasar Tabel-4.

Studi Perbandingan Metoda WSD dan LRFD dalam Analisa Struktur Anjungan Lepas Pantai

Tabel 3. Beban dasar

LC No.	Keterangan	Fx (kips)	Fy (kips)	Fz (kips)	Mx (ft-kips)	My (ft-kips)	Mz (ft-kips)
1	Berat sendiri	0.0	0.0	-405.519	-86.931	-87.543	0.0
2	Beban hidup	0.0	0.0	-112.468	-440.599	-107.666	0.0
3	Momen crane X+	0.0	0.0	0.0	30.8	0.0	0.0
4	Momen crane Y+	0.0	0.0	0.0	0.0	30.80	0.0
5	Hook (crane vertikal)	0.0	0.0	-4.4	52.80	39.60	0.0
6	Perlengkapan	0.0	0.0	-23.885	-130.191	-80.005	0.0
7	Peralatan	0.0	0.0	-50.866	-404.628	-164.789	0.0
8	Work Over Rig	0.0	0.0	-285	0.0	427.500	0.0
9	Beban gelombang, angin, dan arus pada arah 0 ⁰	43.195	0.08	1.608	-16.016	3147.516	54.608
10	Beban gelombang, angin, dan arus pada arah 45 ⁰	30.615	29.554	1.513	-2076.296	2228.949	35.417
11	Beban gelombang, angin, dan arus pada arah 90 ⁰	0.06	42.778	1.319	-3001.026	3.855	-5.586
12	Beban gelombang, angin, dan arus pada arah 135 ⁰	-30.529	29.443	1.490	-2069.040	-2223.425	-43.311
13	Beban gelombang, angin, dan arus pada arah 180 ⁰	-43.195	-0.005	1.608	-10.463	-3147.516	-54.609
14	Beban gelombang, angin, dan arus pada arah 225 ⁰	-29.955	-28.771	1.538	2025.765	-2210.457	-34.260
15	Beban gelombang, angin, dan arus pada arah 270 ⁰	-0.057	-41.133	1.511	2913.908	-3.656	5.615
16	Beban gelombang, angin, dan arus pada arah 315 ⁰	29.902	-28.649	1.995	1997.730	2190.468	40.371

Tabel 4. Kombinasi beban-beban dasar

LC No	LRFD	WSD
17	1.3 BD 1 + 1.5 BD 2 + 1.3 BD 5 + 1.3 BD 6 + 1.3 BD 7	1.0 BD 1 + 1.0 BD 2 + 1.0 BD 5 + 1.0 BD 6 + 1.0 BD 7
18	1.3 BD 1 + 1.5 BD 2 + 1.3 BD 4 + 1.3 BD 5 + 1.3 BD 6 + 1.3 BD 7 + 1.3 BD 8 + 1.2 BD 9	1.0 BD 1 + 1.0 BD 2 + 1.0 BD 4 + 1.0 BD 5 + 1.0 BD 6 + 1.0 BD 7 + 1.0 BD 8 + 1.0 BD 9
19	1.3 BD 1 + 1.5 BD 2 - 0.91 BD 3 + 0.91 BD 4 + 1.3 BD 5 + 1.3 BD 6 + 1.3 BD 7 + 1.3 BD 8 + 1.2 BD10	1.0 BD 1 + 1.0 BD 2 - 0.7 BD 3 + 0.7 BD 4 + 1.0 BD 5 + 1.0 BD 6 + 1.0 BD 7 + 1.0 BD 8 + 1.0 BD10
20	1.3 BD 1 + 1.5 BD 2 - 1.3 BD 3 + 1.3 BD 5 + 1.3 BD 6 + 1.3 BD 7 + 1.3 BD 8 + 1.2 BD 11	1.0 BD 1 + 1.0 BD 2 - 1.0 BD 3 + 1.0 BD 5 + 1.0 BD 6 + 1.0 BD 7 + 1.0 BD 8 + 1.0 BD 11
21	1.3 BD 1 + 1.5 BD 2 - 0.91 BD 3 - 0.91 BD 4 + 1.3 BD 5 + 1.3 BD 6 + 1.3 BD 7 + 1.3 BD 8 + 1.2 BD13	1.0 BD 1 + 1.0 BD 2 - 0.7 BD 3 - 0.7 BD 4 + 1.0 BD 5 + 1.0 BD 6 + 1.0 BD 7 + 1.0 BD 8 + 1.0 BD13
22	1.3 BD 1 + 1.5 BD 2 - 1.3 BD 4 + 1.3 BD 5 + 1.3 BD 6 + 1.3 BD 7 + 1.3 BD 8 + 1.2 BD14	1.0 BD 1 + 1.0 BD 2 - 1.0 BD 4 + 1.0 BD 5 + 1.0 BD 6 + 1.0 BD 7 + 1.0 BD 8 + 1.0 BD14
23	1.3 BD 1 + 1.5 BD 2 + 0.91 BD 3 - 0.91 BD 4 + 1.3 BD 5 + 1.3 BD 6 + 1.3 BD 7 + 1.3 BD 8 + 1.2 BD14	1.0 BD 1 + 1.0 BD 2 + 0.7 BD 3 - 0.7 BD 4 + 1.0 BD 5 + 1.0 BD 6 + 1.0 BD 7 + 1.0 BD 8 + 1.0 BD14
24	1.3 BD 1 + 1.5 BD 2 + 0.91 BD 3 + 1.3 BD 5 + 1.3 BD 6 + 1.3 BD 7 + 1.3 BD 8 + 1.2 BD15	1.0 BD 1 + 1.0 BD 2 + 0.7 BD 3 + 1.0 BD 5 + 1.0 BD 6 + 1.0 BD 7 + 1.0 BD 8 + 1.0 BD15
25	1.3 BD 1 + 1.5 BD 2 + 0.91 BD 3 + 0.91 BD 4 + 1.3 BD 5 + 1.3 BD 6 + 1.3 BD 7 + 1.3 BD 8 + 1.2 BD16	1.0 BD 1 + 1.0 BD 2 + 0.7 BD 3 + 0.7 BD 4 + 1.0 BD 5 + 1.0 BD 6 + 1.0 BD 7 + 1.0 BD 8 + 1.0 BD16

Unity Checks

Unity check secara umum bisa diterangkan sebagai perhitungan perbandingan gaya dan tegangan yang terjadi terhadap gaya dan tegangan yang diijinkan. Nilai unity check yang lebih besar atau sama dengan satu bisa diartikan bahwa gaya dan tegangan yang terjadi lebih besar atau sama dengan gaya dan tegangan yang diijinkan. Perbandingan dari beberapa kriteria perhitungan unity check dalam metoda WSD dan LRFD dapat dilihat di bawah ini :

Berdasarkan API RP 2A-WSD, desain kekuatan member struktur harus memenuhi persyaratan berikut :

1. Tarik aksial

$$F_t = 0.6F_y$$

dimana :

F_t = tegangan tarik ijin

F_y = tegangan leleh

2. Kolom buckling

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r) - (Kl/r)^3}{8C_c}} \text{ untuk } Kl/r < C_c$$

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \text{ untuk } Kl/r \geq C_c$$

$$C_c = \left[\frac{2\pi^2 E}{F_y}\right]^{1/2}$$

dimana :

F_a = tekan aksial ijin

E = modulus elastisitas, ksi (MPa)

K = faktor panjang efektif

l = panjang, in (m)

r = radius girasi, in (m)

C_c = rasio kerampingan

jika D/t > 60, dalam perhitungan rasio kerampingan maka F_y = F_{xe} atau F_{xc}.

3. Bending

$$F_b = 0.75F_y \text{ untuk } \frac{D}{t} \leq \frac{1500}{F_y}$$

$$\left(\frac{D}{t} \leq \frac{10340}{F_y}, SI \text{ units}\right)$$

$$F_b = \left[0.84 - 1.74 \frac{F_y D}{Et}\right] F_y \text{ untuk } \frac{1500}{F_y} < \frac{D}{t} \leq \frac{3000}{F_y}$$

$$\left(\frac{10340}{F_y} < \frac{D}{t} \leq \frac{20680}{F_y}, SI \text{ units}\right)$$

$$F_b = \left[0.72 - 0.58 \frac{F_y D}{Et}\right] F_y \text{ untuk } \frac{3000}{F_y} < \frac{D}{t} \leq 300$$

$$\left(\frac{20680}{F_y} < \frac{D}{t} \leq 300 SI \text{ units}\right)$$

Berdasarkan API RP 2A-LRFD, desain kekuatan member struktur harus memenuhi persyaratan berikut :

1. Tarik Aksial

$$f_t \leq \phi_t F_y$$

dimana :

F_y = kuat leleh nominal

F_t = tegangan tarik aksial akibat beban terfaktor

φ_t = faktor tahanan untuk kuat tarik aksial = 0.85

2. Kolom buckling

$$F_{cn} = (1.0 - 0.25\lambda^2) F_y \text{ untuk } \lambda < \sqrt{2}$$

$$F_{cn} = \frac{1}{\lambda^2} F_y \text{ untuk } \lambda \geq \sqrt{2}$$

$$\lambda = \frac{KL}{\pi r} \left[\frac{F_y}{E}\right]^{0.5}$$

dimana :

λ = parameter kelangsingan kolom

E = Modulus elastisitas

K = faktor panjang efektif

L = panjang

$$r = \text{radius girasi} = \sqrt{\frac{I}{Ag}}$$

3. Bending

$$f_b \leq \phi_b F_{bn}$$

Studi Perbandingan Metoda WSD dan LRFD dalam Analisa Struktur Anjungan Lepas Pantai

dimana :

$f_b = M/S$, tegangan lentur beban layan akibat beban terfaktor, $M < M_p$. Jika $M > M_p$, f_b ekuivalen dengan tegangan tekuk lateral elastis.

S = modulus penampang elastis

M = momen lentur

M_p = momen plastis

M_y = momen leleh elastis

ϕ_b = faktor tahanan untuk kuat tekuk lateral = 0.85

F_{bn} = kekuatan bending nominal

$$F_{bn} = \left(\frac{Z}{S}\right) F_y$$

Untuk

$$\frac{D}{t} \leq \frac{10340}{F_y} \quad (F_y \text{ dalam MPa})$$

$$\frac{D}{t} \leq \frac{1500}{F_y} \quad (F_y \text{ dalam ksi})$$

$$F_{bn} = \left[1.13 - 2.58\left(\frac{F_y D}{Et}\right)\right] \left(\frac{Z}{S}\right) F_y$$

Untuk

$$\frac{10340}{F_y} < \frac{D}{t} \leq \frac{20680}{F_y} \quad (F_y \text{ dalam MPa})$$

$$\frac{1500}{F_y} < \frac{D}{t} \leq \frac{3000}{F_y} \quad (F_y \text{ dalam ksi})$$

$$F_{bn} = \left[0.94 - 0.76\left(\frac{F_y D}{Et}\right)\right] \left(\frac{Z}{S}\right) F_y$$

Untuk

$$\frac{20680}{F_y} < \frac{D}{t} \leq 300 \quad (F_y \text{ dalam MPa})$$

$$\frac{3000}{F_y} < \frac{D}{t} \leq 300 \quad (F_y \text{ dalam ksi})$$

z = modulus plastis penampang

Perhitungan gaya dan tegangan yang terjadi pada setiap elemen struktur diperiksa terhadap persyaratan gaya dan tegangan pada API RP2A – WSD dan API RP2A - LRFD. Hasil dari perhitungan dapat dilihat dalam Tabel 5.

Tabel 5. *Unity Check*

Label grup	Batang kritis	Nomor Pembebanan	Maksimum Unity Check	
			LRFD	WSD
BL 1	6308-6325	19	0.17	0.23
BL 3	6256-6236	22 (LRFD) 18 (WSD)	0.20	0.28
BL 4	6259-6263	18	0.05	0.06
BL 5	6325-301L	18	0.09	0.13
C1	1075-6167	17	0.48	0.63
CL	6032-1000	19 (LRFD) 18 (WSD)	0.33	0.46
LG	301L-101L	20	0.38	0.53
PL1	501L-1004 (LRFD) 510L-1000 (WSD)	20 (LRFD) 19 (WSD)	0.27	0.32
PL2	6072-6061 (LRFD) 6059-6061 (WSD)	20 (LRFD) 22 (WSD)	0.10	0.13
WF1	6089-1004	18	0.72	0.78
WF2	6141-6142 (LRFD) 6154-1072 (WSD)	21 (LRFD) 24 (WSD)	0.39	0.54
WF3	1004-6142	21	0.33	0.36
WF4	1142-1147 (LRFD) 1143-1146 (WSD)	19 (LRFD) 22 (WSD)	0.08	0.14
WF5	1206-1191 (LRFD) 1150-1206 (WSD)	19 (LRFD) 20 (WSD)	0.28	0.32

KESIMPULAN

Dari studi perbandingan metoda WSD dan LRFD untuk analisa struktur tetap anjungan lepas pantai tipe monopod dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode LRFD memberikan nilai unity check yang lebih kecil daripada pada metoda WSD. Karena itu, penggunaan metode LRFD dalam perancangan struktur anjungan lepas pantai akan memberikan penggunaan bahan yang lebih ekonomis.

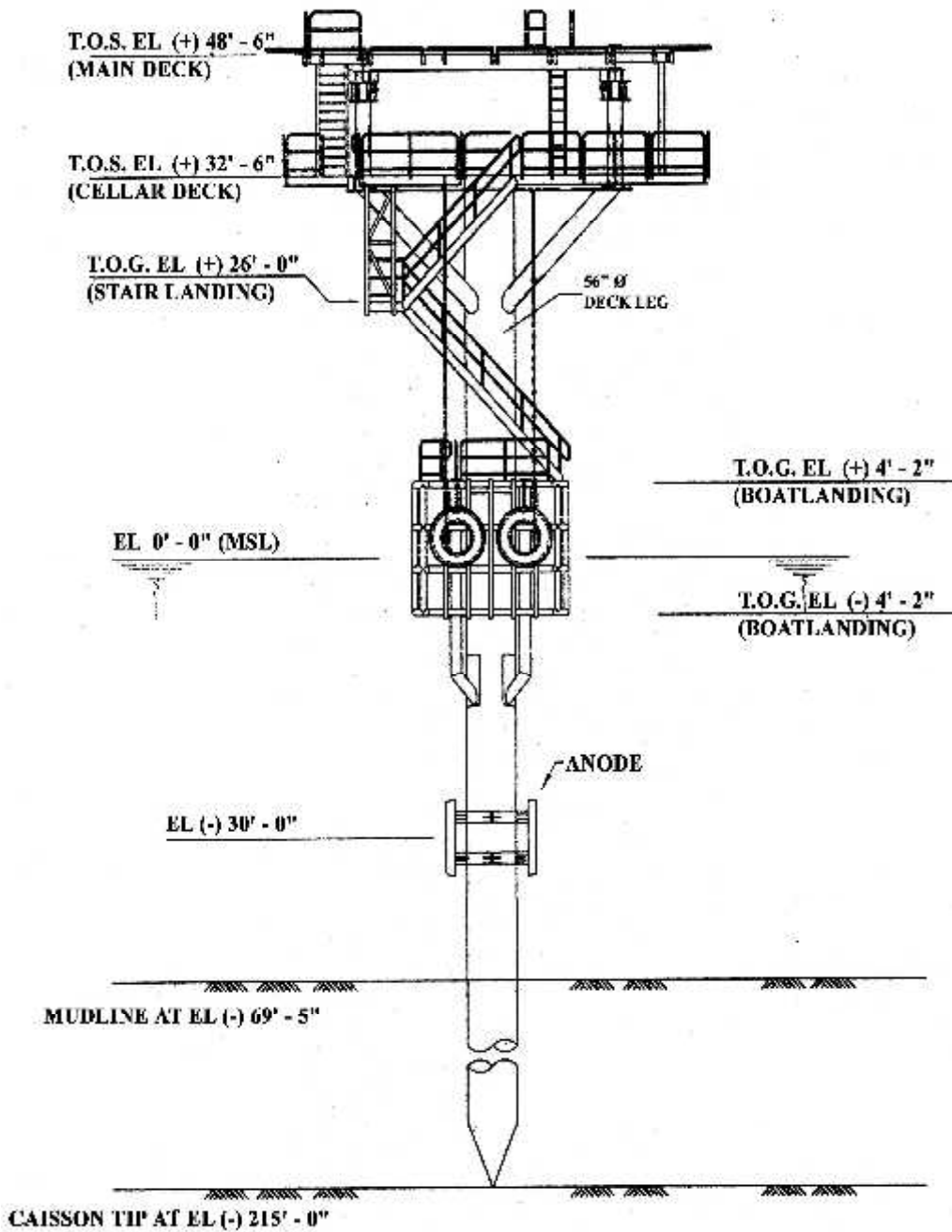
Beban lingkungan (angin, arus, dan gelombang) yang terjadi pada struktur tipe monopod relatif lebih kecil dibandingkan dengan yang terjadi pada struktur tipe jacket 4-kaki atau lebih. Sehingga, perlu studi lebih lanjut mengenai perbandingan metoda WSD dan LRFD untuk struktur jenis tersebut. Perbandingan beban lingkungan terhadap beban gravitasi yang terjadi pada struktur jenis jacket 4-kaki atau lebih akan menjadi lebih besar sehingga pengaruh *load factor* beban lingkungan akan sangat penting terhadap besaran *Unity Check* yang didapat. Karena itu, perlu juga dilakukan Penelitian mengenai besar *load factor* beban

lingkungan yang sesuai dengan kondisi lingkungan di Indonesia.

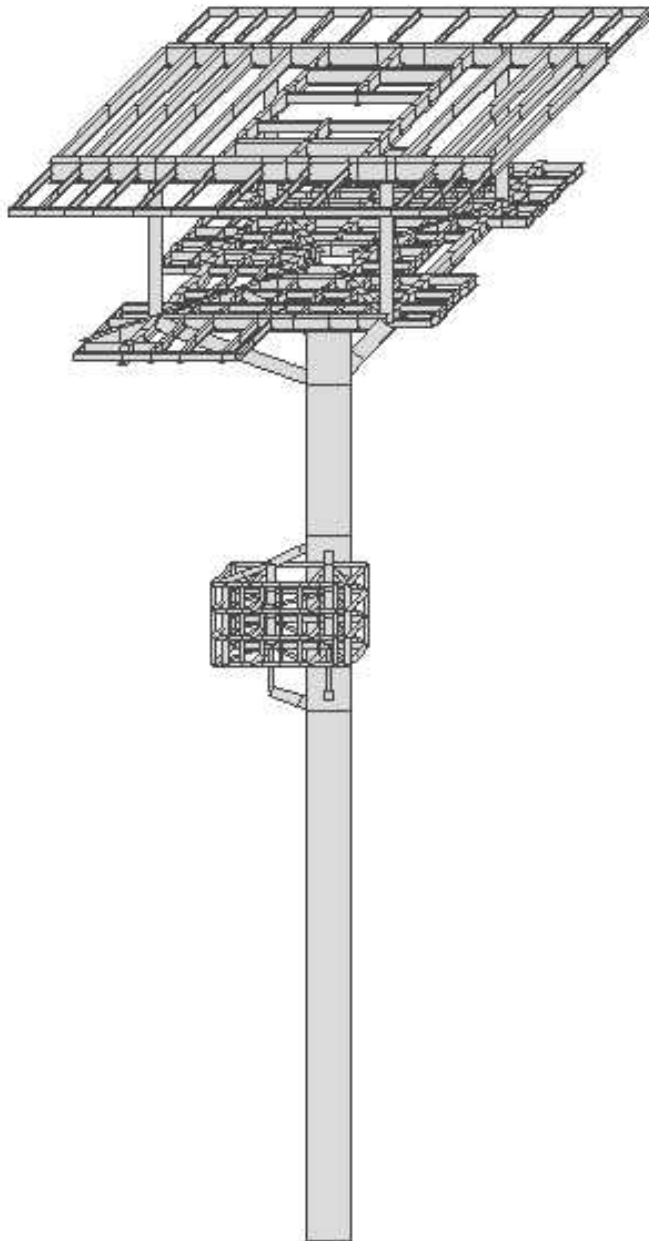
Penggunaan metoda LRFD juga akan sangat bermanfaat untuk analisa struktur anjungan lepas pantai yang sudah lewat batas umur perencanaan (*design life*) tetapi akan terus digunakan. (*Platform re-qualification*).

DAFTAR PUSTAKA

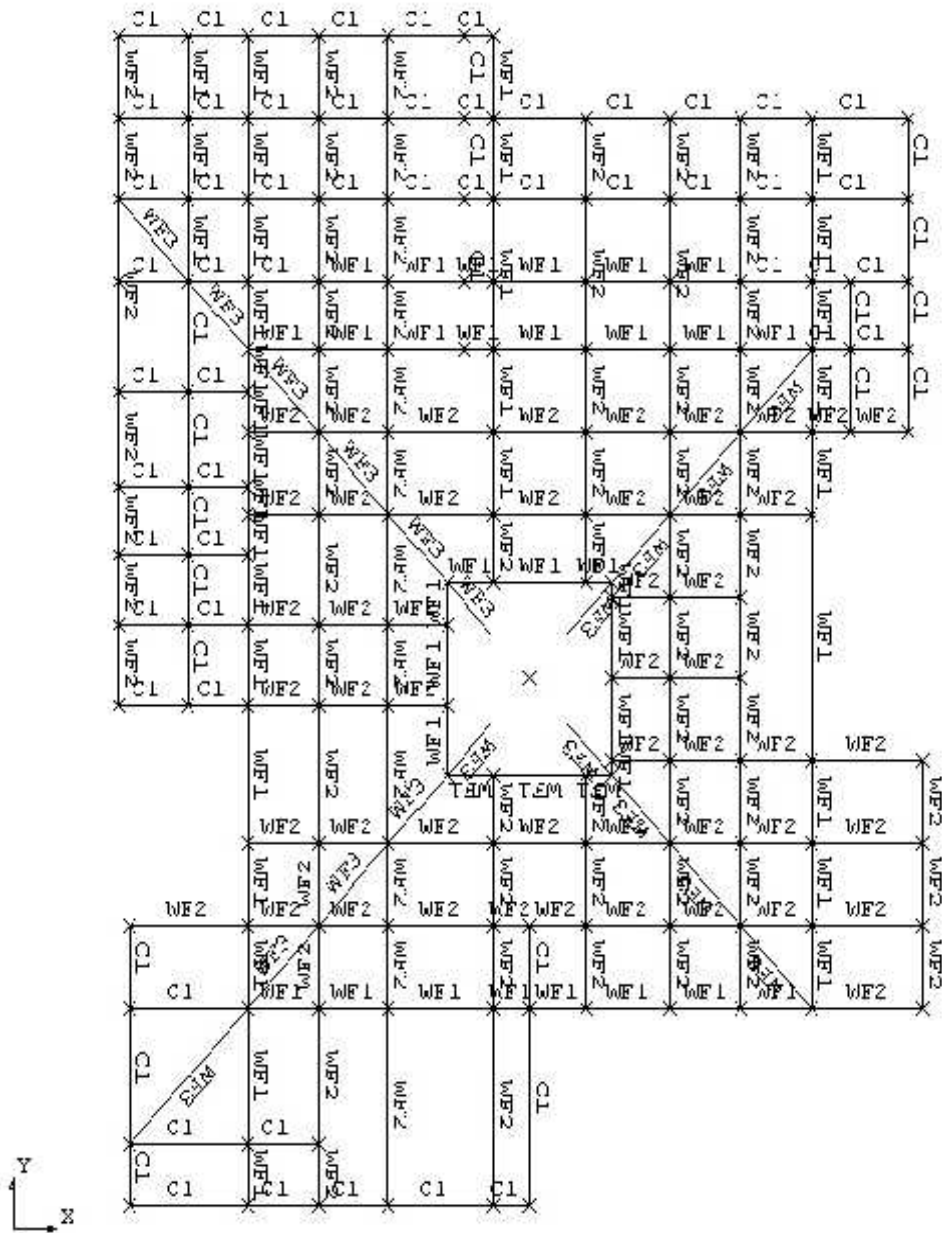
- American Petroleum Institute (1993), "*API Recommended Practice 2A – WSD* (API RP2A – WSD), First Edition".
- American Petroleum Institute (1997), "*API Recommended Practice 2A – LRFD* (API RP2A – LRFD), Supplement 1".
- Hsu, Teng H. (1984), "*Applied Offshore Structural Engineering: Practical design methods, formulas, and data*", Gulf Publishing Company, Houston.
- Salmon, G. S. and Johnson, J. E. (1990), "*Steel Structures: Design and Behaviour, Emphasizing Load and Resistance Factor Design, Third Edition*", HarperCollins, Publisher, Inc.



Gambar 1. Struktur Anjungan Lepas Pantai Tipe Monopod

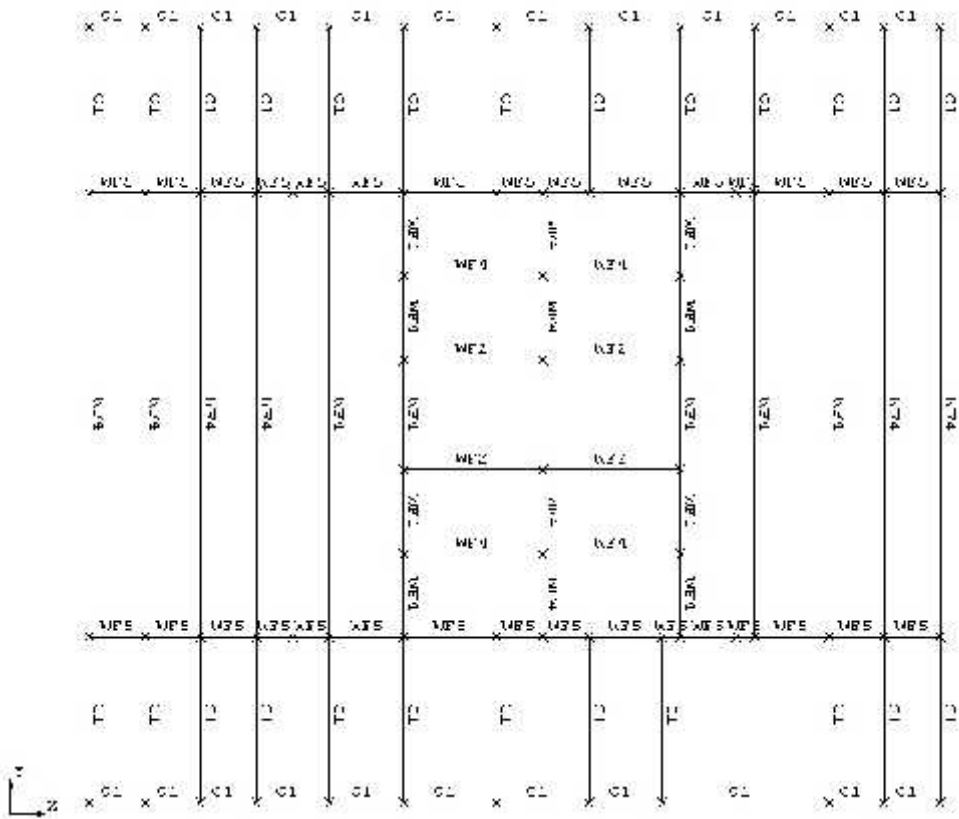


Gambar 2. Model Elemen Hingga Struktur Anjungan Lepas Pantai (*2-D Lines*)

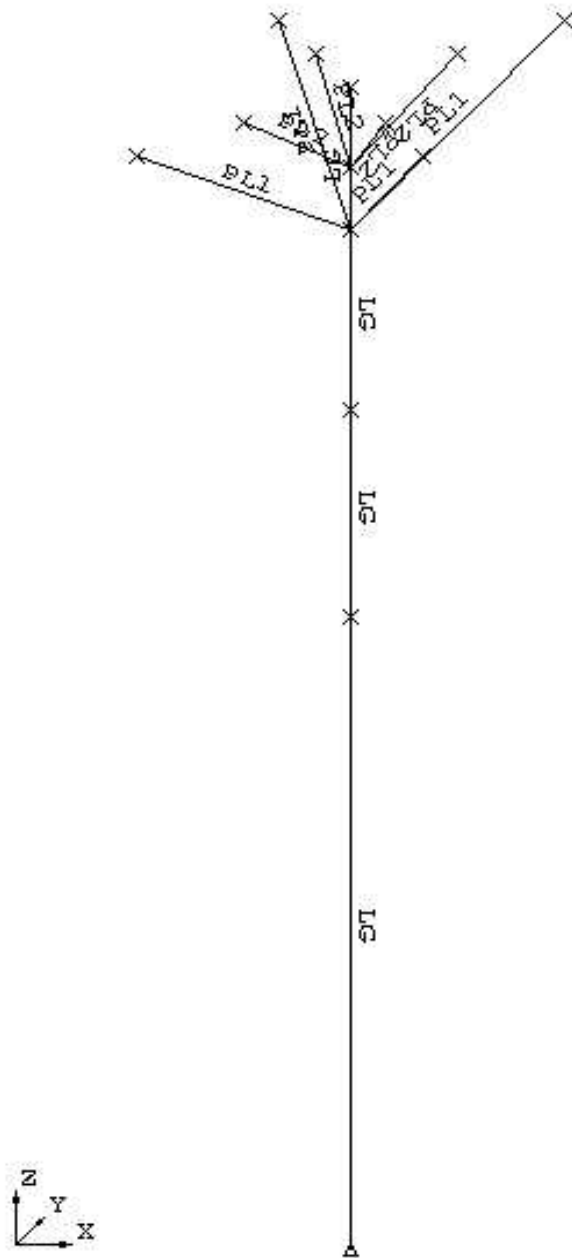


Gambar 3. Model Elemen Hingga Struktur Anjungan Lepas Pantai
(Cellar Deck at elevation +32.5)

Gambar 4. Model Elemen Hingg



Struktur Anjungan Lepas Pantai
(Main Deck at elevation +48.5)



Gambar 5. Model Elemen Hingga Struktur Anjungan Lepas Pantai
(*Caisson and Deck Leg*)