

STUDI ANALISIS STRUKTUR *LIVING QUARTER* PADA *FLOATING PRODUCTION SYSTEM* DI PERAIRAN LEPAS PANTAI INDONESIA

Dewa Ketut Surya Pramana¹, Siti Nurlina², Indra Waluyohadi², M. Taufik Hidayat²

¹ Mahasiswa / Program Studi Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik / Universitas Brawijaya

² Dosen / Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik / Universitas Brawijaya

ABSTRACT

Offshore Unit is one of vital infrastructure in gas and oil production. There are many kind of offshore structure which use in gas and oil industry, one of it is a Floating Production System. Floating Production System is system where a modified tanker ship uses by the company of gas and oil to process hydrocarbon, nature gas, and oil. Technically FPS is a tanker ship that produce gas and oil nut can not storage directly while producing, that's why there must be another storage ship while the tanker ship producing. In this living quarter structure analysis constitute on structure analysis in transportation condition. In this living quarter structure analysis utilize SAP2000 V.19 software which obtain biggest moment, shear, and axial from 8 different wave direction that accepted by the ship's hull. Output software analysis and manual analysis shown that main steel structure of living quarter capable hold the loads that applied, which is structure load, dead and live load, wind load, and acceleration load.

Keywords : *structure analysis, living quarter, floating production system, transport condition*

1. PENDAHULUAN

Offshore Unit merupakan salah satu infrastruktur vital dalam memproduksi minyak mentah dan gas alam tersebut. Berbagai macam struktur offshore yang digunakan dikalangan industri perminyakan dan gas, salah satunya adalah *Floating Production System*. *Floating Production System* adalah suatu sistem dari sebuah kapal terapung yang digunakan oleh industri minyak dan gas lepas pantai untuk produksi dan pengolahan hidrokarbon, gas alam, dan minyak mentah. Secara teknis *Floating Production System* merupakan kapal tanker yang memproduksi minya mentah dan gas alam namun tidak dapat menyimpan langsung hasil produksi tersebut, maka dari itu terdapat kapal penyimpanan lainnya saat produksi tersebut berjalan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Living Quarter pada *Floating Production System* merupakan struktur baja yang berada pada topside kapal didisain dengan konfigurasi *frame*. Pada *Floating Production System* ini

terdiri dari tujuh lantai, yaitu dari lantai 1 hingga *helideck*. Desain *Living Quarter* yang ada pada desain awal akan dianalisa lagi menggunakan dua standar, yaitu standar AISC [1][2][3][4] dan SNI [5], apakah memenuhi kriteria dan bisa digunakan dalam operasional pada kondisi transportasi.

Pembebanan pada struktur dipengaruhi oleh beberapa pembebanan:

- Beban mati yang berasal dari berat struktur sendiri, dan beban dari benda mati dalam struktur itu sendiri.
- Beban hidup yang merupakan beban para pekerja beroperasi pada *living quarter*.
- Beban akibat lingkungan merupakan beban yang bekerja oleh angin, gelombang, dan gerakan kapal.
- Beban akibat angin bekerja sebagai beban angin statis untuk penyederhanaan analisis.

Faktor beban yang digunakan adalah faktor beban ULS-a yang mengacu pada

API RP2FPS dengan beban mati sebesar 1.3, beban hidup 1.3, beban lingkungan 0.7.

Kontrol kekuatan struktur harus sesuai dengan beban - beban yang bekerja pada struktur tersebut. Nilai yang dijadikan perhitungan merupakan nilai karakteristik beban maupun nilai nominal beban.

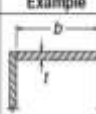

Pada profil, momen maksimum yang terjadi harus dipertimbangkan dengan persamaan $\phi Mn > Mu$.

Pada penentuan momen nominal menurut AISC dan SNI bergantung pada bentuk penampang, apakah itu kompak, non-kompak, dan langsing berdasarkan pada rasio harga lebar-tebal pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Rasio Nilai Lebar-Tebal

Element	λ	λ_p	λ_r
Sayap	$\frac{b_f}{2t_f}$	$\frac{65}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{141}{\sqrt{F_y - 10}}$
Badan	$\frac{h}{t_w}$	$\frac{640}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{970}{\sqrt{F_y}}$

Tabel 2. Rasio Nilai Diameter-Tebal

Case	Description of Element	Width Thickness Ratio	Limiting Width-Thickness Ratios		Example
			λ_p (compact)	λ_r (noncompact)	
14	Uniform compression in all other stiffened elements	b/t	NA	$1.49 \sqrt{E/F_y}$	
15	Circular hollow sections in uniform compression in flexure	D/t	NA	$0.11E/F_y$	
		D/t	$0.07E/F_y$	$0.31E/F_y$	

Dimana jika :

nilai $\lambda < \lambda_p$, penampang adalah kompak
 nilai $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$, penampang adalah non kompak
 nilai $\lambda > \lambda_r$, penampang langsing

Untuk tegangan geser persamaan yang digunakan sesuai AISC dan SNI:

$$Vu < \phi Vn = 0.6 \phi A_w F_y w \text{ dan}$$

$$Vu < \phi Vn = 0.6 \phi A_g F_y$$

A_w adalah luas penampang badan pada profil WF dan $F_y w$ adalah tegangan leleh penampang badan dan A_g adalah luas penampang profil untuk profil *circular hollow*.

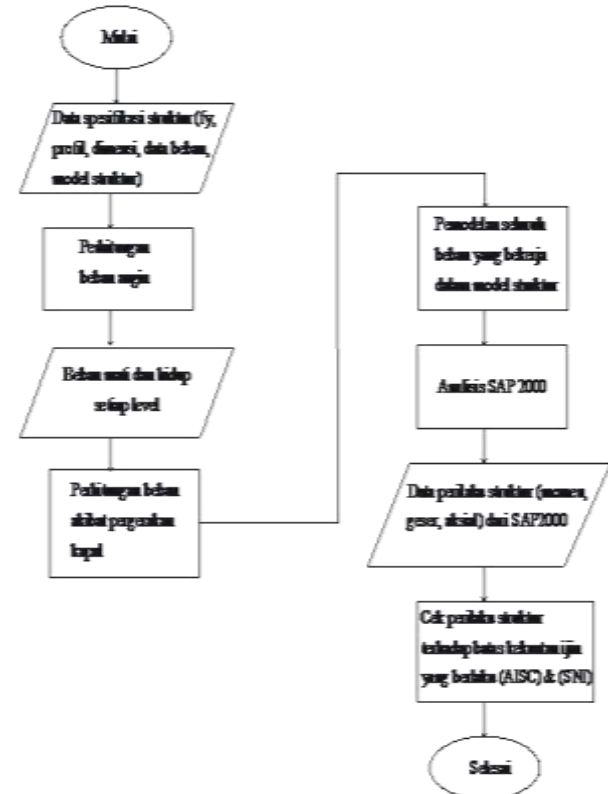
Kontrol lendutan ijin dapat digunakan dengan rumus yang dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Lendutan Ijin

Support Condition	Allowable Deflection	
	Live Load	Dead + Live Load
Ends supported	L/360	L/240
Cantilever	L/240	L/180

Pada analisis berdasarkan SNI sama seperti analisis dalam perencanaan AISC, hanya saja pelambangan simbol yang berbeda.

3. METODE ANALISIS



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.1 Data Bangunan

Bangunan : Modul *Living Quarter* pada FPS (*Floating Production System*)

Lokasi Bangunan : FPS (*Floating Production System*) di perairan lepas pantai Indonesia.

Jenis Struktur : Struktur baja *frame*.

Luas Bangunan : $\pm 819 \text{ m}^2$

Tinggi Bangunan : $\pm 31.4 \text{ m}$

Panjang *Living Quarter* (as ke as) : 42 m

Lebar *Living Quarter* (as ke as) : 19.5 m

Tumpuan : Sendi

Sambungan : Las

Untuk profil yang dipakai adalah HE800A,

HE650A, HE500A, IPE500, IPE400, IPE300,

IPE240, CHS800 \varnothing x40, CHS800 \varnothing x20,

CHS457Øx15.8, CHS324Øx12.7,
CHS324Øx9.8, CHS273Øx9.2, CHS219Øx10,
PG790-1, PG790-2, PG790-3.

4. PEMBAHASAN

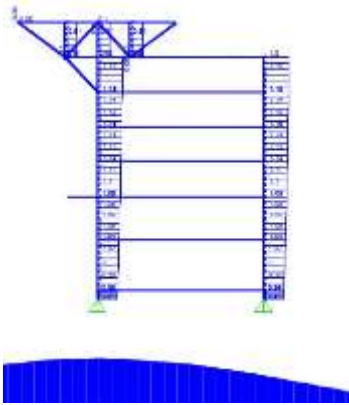
4.1 Pembebanan Beban Angin

Program SAP 2000 mempermudah dalam pemodelan beban angin (wind load) yang terjadi pada struktur yang berada diatas permukaan air laut, dengan memasukkan data-data yang diperlukan.

Adapun data yang menjadi acuan adalah sebagai berikut :

Wind Speed : 34.7 m/s , 100 year (Storm)

Referensi Elevasi : 10.00 m



Gambar 2. Beban Angin diatas permukaan laut

Setelah didapat nilai beban angina yang bekerja pada tiap elevasi struktur, lalu disebarkan menjadi beban area yang mewakili pelat tembok pada modul.

4.2 Pembebanan Akibat Pergerakan Kapal (Acceleration Load)

Perhitungan beban akibat pergerakan kapal (*acceleration load*), beban sendiri struktur dihitung dan dikalikan dengan angka akselerasi kapal. Beban akibat pergerakan kapal ini diasumsikan sebagai beban aksial yang bekerja ditiap kolom struktur pada *deck stool*. Pada perhitungan beban akibat akselerasi digunakan pada yang merupakan data dengan satuan (g) yang akan dikalikan dengan beban struktur sehingga mengakibatkan beban luar terhadap struktur. Data yang berkaitan dengan beban akibat pergerakan kapal dapat dilihat pada **Tabel 4**, **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

Tabel 4. Motion Criteria

Motion	Amplitude	Period
Roll	20 deg	10 sec
Pitch	12.5 deg	10 sec
Heave	0.2 g	

Tabel 5. Data Akselerasi

Arah	surge(g)	sway(g)	heave(g)
0	0.03	-	0.03
45	0.02	0.02	0.04
90	-	0.11	0.13
135	0.02	0.02	0.04
180	0.01	-	0.02
225	0.02	0.02	0.04
270	-	0.11	0.13
315	0.02	0.02	0.04

Tabel 6. Data Beban Akselerasi Struktur LQ

Enivronmental Load Direction	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)
0 deg	-5153.7	-39.4	25486.9
45 deg	-5275.2	-8610.4	24134.4
90 deg	-169.8	-23971	37217.1
135 deg	5297.4	-8739.7	41384.0
180 deg	5004.1	-26.3	38261.6
225 deg	5281.4	8741.8	41422.6
270 deg	143.6	23929.5	38171.5
315 deg	-5291.2	8636.7	24170.8

4.3 Model Beban

Dalam analisis struktur *living quarter*, diterapkan beberapa pemodelan beban pada struktur. Untuk beban angin pada analisis kali ini beban tersebut mengenai *wall plate* pada struktur *living quarter* dan disebarkan secara merata menjadi beban area pada masing masing elevasi.

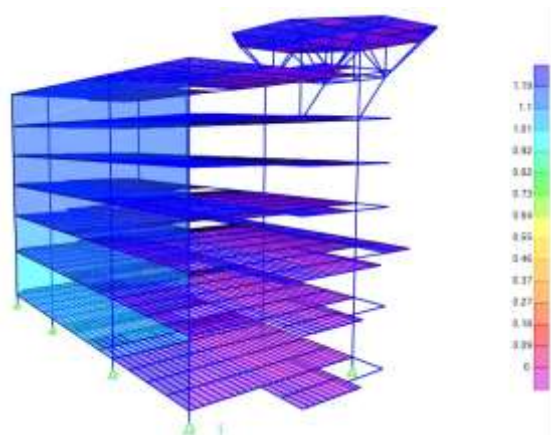
Dalam pemodelan beban mati dan hidup, digunakan asumsi beban area yang secara merata menyebar ke seluruh profil balok pada struktur. Dalam hal ini, berat sendiri struktur sudah terkalkulasi dengan sendirinya berdasarkan profil yang dipakai.

Dalam pemodelan beban akibat pergerakan kapal (*acceleration load*) didefinisikan sebagai beban terpusat yang bekerja di atas profil box yang menumpu struktur bangunan atau *deck stool*.

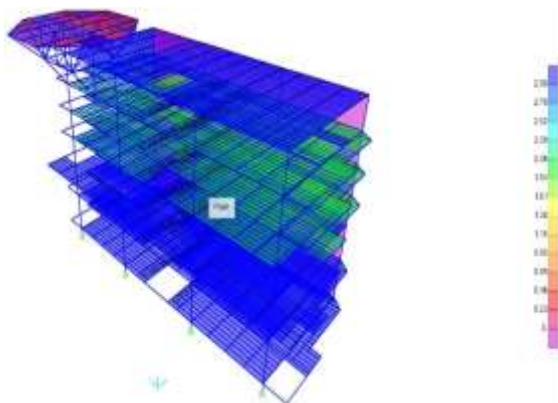
Diasumsikan bahwa *deck stool* bergerak sesuai dengan pergerakan kapal sehingga menimbulkan gaya aksial di atasnya.

Langkah pertama untuk mengetahui kekuatan dari struktur adalah dengan analisis manual maupun dengan hasil analisis oleh program SAP2000. Profil yang dianalisis adalah profil yang memiliki rasio ultimate dan kapasitas yang mendekati angka 1. **Gambar 3**, **Gambar 4** dan **Gambar 5** merupakan pemodelan 3D dari kapal.

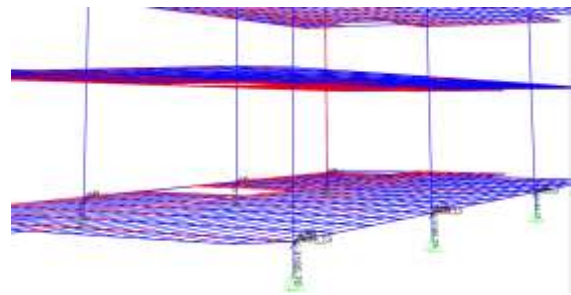
Hasil analisis dapat dilihat pada **Gambar 6**. Elemen struktur yang berwarna merah merupakan profil struktur dalam kondisi gagal atau *overstress*, warna jingga merupakan kondisi profil struktur sudah kritis tapi masih layak digunakan, warna kuning adalah kondisi mendekati kondisi kritis, warna hijau adalah kondisi layak atau aman, sedangkan warna biru berarti profil struktur sangat aman.



Gambar 3. Beban Angin pada *Wall Plate*

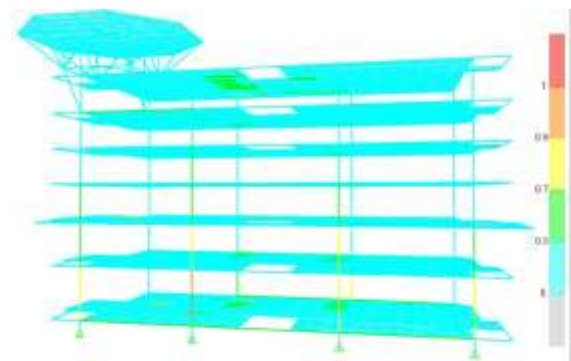


Gambar 4. Model Beban Mati dan Hidup



Gambar 5. Model Beban Akselerasi (270°)

Pada analisis yang sudah dilakukan didapatkan profil yang mengalami momen terbesar dan rasio mendekati 1 adalah profil kolom CHS800Øx20, sedangkan untuk profil balok yang mendekati rasio 0.8 adalah HE800A. Dari hasil *steel design /check of structure* pada program SAP2000 dilihat profil yang memiliki rasio ultimate dan kapasitas mendekati 1 dari 8 kondisi arah pembebanan untuk digunakan dalam analisis manual menggunakan SNI dan AISC.



Gambar 6. Hasil Analisis Pada Kondisi Pembebanan Arah 270°

4.4 Analisis Dengan AISC

Setelah didapatkan data struktur momen, geser dan aksial maksimum pada profil melalui program SAP2000 didapatkan profil CHS800Øx20 dan HE800A memiliki rasio terbesar dibandingkan dengan profil lainnya yang terjadi pada kondisi arah pembebanan 270 derajat dimana didapatkan momen *ultimate* sebesar 2010 kNm, geser *ultimare* 756,6 kN, dan aksial *ultimate* sebesar -62,5 kN untuk profil balok HE800A. Sedangkan pada profil kolom CHS800Øx20 didapat momen *ultimate* sebesar 1097 kNm, geser *ultimate* 362 kN, dan aksial *ultimate* -9209 kN.

Analisis profil HE800A (345 MPa) dengan AISC dibandingkan dengan hasil program SAP2000 sehingga perhitungan dilakukan sebagai berikut.

- Aksi Kolom

$$G_A = 10$$

$$G_B = \frac{\sum(\frac{I}{L})_{kolom}}{\sum(\frac{I}{L})_{balok}} = \frac{2(\frac{12620}{420})}{\sum(\frac{372957}{1950})} = 0.3$$

$$k_x = 1.7$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{KxL}{rx} = \frac{1.8(19.5)}{0.324} = 102$$

$KL/r = 102$, $F_{cr} = 160$ Mpa (Perbandingan Kurva F_{cr} Mutu Baja ASTM-A992)

$$P_n = A_g \cdot f_{cr} = 27810 \cdot 160 = 444.9 \text{ Ton} = 4449 \text{ Kn}$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{62.5}{0.85 \times 4491} = 0.01 < 0.2$$

- Aksi Balok

$$\lambda = \frac{b}{2Tf} = \frac{300}{2(26)} = 5.76$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{F_y}} = \frac{170}{\sqrt{345}} = 9.15$$

$$\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{F_y - F_r}} = \frac{370}{\sqrt{345 - 115}} = 24.4$$

Karena $\lambda < \lambda_p$, penampang adalah kompak.

- Cek Penampang Badan

$$\lambda = \frac{h}{T_w} = \frac{800}{14} = 57.14$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{F_y}} = \frac{1680}{\sqrt{345}} = 90.45$$

$$\lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{F_y}} = \frac{2550}{\sqrt{345}} = 137.29$$

Karena $\lambda < \lambda_p$, penampang adalah kompak, lalu ditentukan katagori bentangnya.

$$L = 0.75 \text{ m}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)} = 2.85 \text{ m}$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E G J A}{2}} = 902.648 \text{ kg/cm}^2$$

$$X_2 = 4 \left(\frac{S_x}{G J}\right)^2 \frac{I_w}{I_y} = 1.17 \times 10^{-7}$$

$$f_L = f_y - f_r = 275 \text{ MPa}$$

$$L_r = r_y \left[\frac{X_1}{f_L} \right] \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 f_L^2}} = 34.05 \text{ m}$$

Karena $L < L_p < L_r$ maka termasuk katagori bentang pendek

$$\phi b M_p = Z_x \cdot F_y = (0.9) \cdot 8421135 \cdot 0.345 = 2614.7 \text{ KN}$$

$$\phi b M_n = 2614.7 \text{ KN}$$

- Perbesaran Momen

$$\frac{KL}{r} = \frac{KxL}{rx} = \frac{1.8(19.5)}{0.324} = 102$$

$$C_m = 0.6 - 0.4 M_1/M_2 = 0.6 - 0.4 \cdot 1918/2010 = 0.21$$

$$P_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_g}{(k \frac{L}{r})^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 27810}{(102)^2} = 5280 \text{ KN}$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{\sum P_u}{\sum P_e}} = \frac{0.21}{1 - \frac{62}{5280}} = 0.21 < 1 \quad ; \delta_b = 1$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{\sum P_e}} = \frac{1}{1 - \frac{62}{5280}} = 1.01$$

$$M_n = B_1 \cdot M_{nt} + B_2 \cdot M_{lt} = 1 \cdot 1687 + 1.01 \cdot 322 = 2010 \text{ KNm}$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{62}{4491} = 0.01 < 0.2 \quad : \text{Pakai persamaan H1-1b AISC}$$

$$\frac{P_u}{2\phi c P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi b M_{ny}} \right) = \frac{0.01}{2} + \left(\frac{2010}{2614} + 0 \right) = 0.775 < 1, \text{ Penampang memenuhi syarat analisis balok-kolom, sesuai dengan analisis program SAP2000.}$$

- Cek Kuat Geser

$$A_w \text{ (Luas Penampang Badan)} = 27810 \text{ mm}^2$$

$$V_u < \phi V_n = 0.6\phi \cdot A_w \cdot F_y$$

$$\phi V_n = 0.6(0.9)(27810)(0.345) = 5181 \text{ Kn} > V_u = 756.66 \text{ Kn}$$

Profil kuat menahan gaya geser *ultimate*.

- Cek Lendutan

$$W_{baja} = 78.5 \text{ Kn/m}^3$$

$$A_{profil} = 0.0278 \text{ m}^2$$

$$U_{LS} = 1.3$$

$$W_{dead} = A \times W_{baja}$$

$$= 0.0278 \times (78.50)$$

$$= 2.18 \text{ Kn/m} \times 1.3$$

$$= 2.836 \text{ Kn/m} = 2,836 \text{ N/mm}$$

$$W_{live} = 2.01 \text{ Kn/m} = 2010 \text{ N/mm}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}, I = 126400000 \text{ mm}^4$$

$$\Delta = 52 \text{ mm pada jarak 10 m dari ujung profil}$$

$$\text{Lendutan ijin, } \Delta_{ijin} = \frac{L}{240} = \frac{13125}{240} = 54.667 \text{ mm} > \Delta = 52 \text{ mm, lendutan yang terjadi memenuhi syarat.}$$

Analisis profil CHS800Øx20 (345 MPa) dengan AISC dibandingkan dengan hasil program SAP2000 sehingga perhitungan dilakukan sebagai berikut.

- Cek Kapasitas Geser
 A_g (Luas Profil) = 49008 mm²
 $V_u < \phi V_n = 0.6\phi \cdot A_g \cdot F_y$
 $\phi V_n = 0.6(0.9)(49008)(0.345) = 9130 \text{ Kn} >$
 $V_u = 362 \text{ Kn}$
 Profil kuat menahan gaya geser maksimum.

- Aksi Kolom

$$\frac{KL}{r} = \frac{KxL}{rx} = \frac{1.3(6)}{0.275} = 28.3$$

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{kx \cdot lx}{rx} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} \cdot 28.3 \cdot \sqrt{\frac{345}{200000}} = 0.37$$

$$\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \cdot \lambda_c} = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \cdot 0.37} = 1.05$$

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = 49008.85 (345/1.05) = 16102 \text{ Kn}$$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{8638}{0.85 \times 15986} = 0.63 > 0.2$$

- Aksi Balok

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{800}{20} = 40$$

$$\lambda_p = \frac{0.7 E}{F_y} = \frac{140000}{345} = 405$$

$$\lambda_r = \frac{0.31 E}{F_y} = \frac{140000}{345} = 149$$

Karena $\lambda \leq \lambda_p$, penampang adalah kompak, lalu ditentukan katagori bentangnya.

$$L = 6 \text{ m}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)} = 11.6 \text{ m}$$

Karena $L < L_p$ maka termasuk katagori bentang pendek

$$M_n = M_p$$

$$\phi_b M_p = Z_x \cdot F_y = 0.9 (0.345)(12170667) = 3778.92 \text{ Kn.m}$$

- Perbesaran Momen

$KL/r = 28$, $F_{cr} = 340 \text{ Mpa}$ (Perbandingan Kurva F_{cr} Mutu Baja ASTM-A992)

$$\phi_c P_n = 0.85 x A_g x F_{cr}$$

$$\phi_c P_n = 0.85 x 0.0490 x 340000 = 14994 \text{ Kn}$$

$$C_m = 0.6 - 0.4 M_1/M_2 = 0.6 - 0.4 \cdot 1161/1182 = 0.20$$

$$P_e = \frac{\pi^2 E A_g}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000000 x 0.049}{(28)^2} = 123469 \text{ Kn}$$

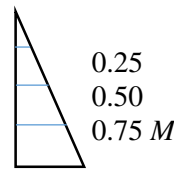
$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{P_e}} = \frac{0.20}{1 - \frac{8922}{123469}} = 0.2 < 1 ; \quad \delta_b = 1$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{P_u}{P_e}} = \frac{1}{1 - \frac{8922}{123469}} = 1.07 \text{ (Persamaan C1-5 AISC)}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen total, } \mu_u &= B_1 \cdot M_{nt} + B_2 \cdot M_{lt} = \\ &= 1.0(1070) + 1.07(99.8) = 1177 \text{ Kn.m} \\ \phi M_n &= 0.9(0.345)(12170667) = 3778.92 \text{ Kn.m} \\ \phi_b M_p &= 1.0 x 3778.92 = 3778.92 \text{ Kn.m} \end{aligned}$$

Untuk distribusi linear dengan nilai $M = 0$ pada salah satu ujungnya maka asumsi perhitungan C_b sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{12.5 \cdot M_{max}}{2.5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_a + 4 \cdot M_b + 3 \cdot M_c} \\ &= \frac{12.5(1.0)}{2.5(1.0) + 3(0.25) + 4(0.5) + 3(0.75)} \\ &= 1.67 \end{aligned}$$



$\phi_b M_n x = 1.67 x 3778.92 = 6310.79 \text{ Kn.m}$
 $\phi_b M_p x$ pada distribusi linear dengan $M=0$ memiliki nilai lebih besar dari $\phi_b M_n x$, diambil $\phi_b M_n x$ dengan nilai 3778.92 Kn.m .

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{9209}{14494} = 0.63 > 0.2 \quad : \quad \text{persamaan H1-1a AISC}$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_n x} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_n y} \right) = 0.63 + \frac{8}{9} \left(\frac{1177}{3778} + 0 \right) = 0.91 < 1, \text{ Penampang memenuhi syarat kekuatan desain balok-kolom.}$$

Analisis profil HE800A (345 MPa) dengan SNI dibandingkan dengan hasil program SAP2000 sehingga perhitungan dilakukan sebagai berikut.

- Aksi Kolom

$$G_A = 10$$

$$G_B = \frac{\sum \left(\frac{I}{L}\right)_{kolom}}{\sum \left(\frac{I}{L}\right)_{balok}} = \frac{2 \left(\frac{12620}{420}\right)}{\sum \left(\frac{372957}{1950}\right)} = 0.3$$

$$k_x = 1.7$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{KxL}{rx} = \frac{1.8(19.5)}{0.324} = 102$$

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{kx \cdot lx}{rx} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} \cdot 102 \cdot \sqrt{\frac{345}{200000}} = 1.35$$

$$\omega = 1.25 \lambda_c^2 = 2.2$$

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = 26072(345/2.2) = 408.8 \text{ Ton} = 4088 \text{ Kn}$$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{60.42}{0.85 \times 4088} = 0.017 < 0.2$$

- Aksi Balok

$$\lambda = \frac{B}{2Tf} = \frac{300}{2(26)} = 5.76$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{F_y}} = \frac{170}{\sqrt{345}} = 9.15$$

$$\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{F_y - F_r}} = \frac{370}{\sqrt{345 - 115}} = 24.4$$

Karena $\lambda \leq \lambda_p$, penampang adalah kompak.

- Cek Penampang Badan

$$\lambda = \frac{h}{T_w} = \frac{800}{14} = 57.14$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{F_y}} = \frac{1680}{\sqrt{345}} = 90.45$$

$$\lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{F_y}} = \frac{2550}{\sqrt{345}} = 137.29$$

Karena $\lambda \leq \lambda_p$, penampang adalah kompak, lalu ditentukan katagori bentangnya.

$$L = 0.75 \text{ m}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)} = 2.85 \text{ m}$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E G J A}{2}} = 902.648 \text{ kg/cm}^2$$

$$X_2 = 4 \left(\frac{S_x}{G J}\right)^2 \frac{I_w}{I_y} = 1.17 \times 10^{-7}$$

$$f_L = f_y - f_r = 275 \text{ MPa}$$

$$L_r = r_y \left[\frac{X_1}{f_L} \right] \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 f L^2}} = 34.05 \text{ m}$$

Karena $L < L_p < L_r$ maka termasuk katagori bentang menengah

$$\phi b M_p = Z_x \cdot F_y = (0.9) 7995464 \cdot 0.345 = 2482.5 \text{ KN}$$

$$\phi b M_n = 2482.5 \text{ Kn.m}$$

- Perbesaran Momen

$$\frac{K L}{r} = \frac{K x L}{r x} = \frac{1.8(19.5)}{0.324} = 102$$

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2} = 0.6 - 0.4 \cdot \frac{680}{1930} = 0.46$$

$$N e l = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_g}{\left(k \frac{L}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 26072}{(102)^2} = 4950.8 \text{ KN}$$

$$\delta b = \frac{C_m}{1 - \frac{\sum N u}{\sum N e l}} = \frac{0.46}{1 - \frac{60.4}{4950}} = 0.46 < 1 ; \delta b = 1$$

$$\delta s = \frac{1}{1 - \frac{\sum N u}{\sum N e l}} = \frac{1}{1 - \frac{60.4}{4950}} = 1.01$$

$$M_n = \delta b \cdot M_{ntu} + \delta s \cdot M_{ltu} = 1 \cdot 1625 + 1.01 \cdot 305.2 = 1933 \text{ KNm}$$

$$\frac{N u}{\phi N_n} = \frac{60.9}{4088} = 0.01 < 0.2 \quad : \quad \text{persamaan}$$

H1-1b AISC

$$\frac{N u}{2 \phi c N_n} + \left(\frac{M_{u x}}{\phi b M_{n x}} + \frac{M_{u y}}{\phi b M_{n y}} \right) = \frac{0.01}{2} + \left(\frac{1933}{2482.5} + 0 \right) = 0.783 < 1, \text{ Penampang memenuhi syarat analisis balok-kolom, sesuai dengan analisis program SAP2000.}$$

- Cek Kuat Geser

$$A_w (\text{Luas Penampang Badan}) = 26072 \text{ mm}^2$$

$$V_u < \phi V_n = 0.6 \phi \cdot A_g \cdot F_y$$

$$\phi V_n = 0.6(0.9)(26072)(0.345) = 4857 \text{ Kn} > V_u = 730.87 \text{ Kn}$$

Penampang kuat menahan gaya geser maksimum.

- Cek Lendutan

$$W_{baja} = 7850 \text{ Kg/m}^3 = 78.5 \text{ Kn/m}^3$$

$$A_{profil} = 0.0278 \text{ m}^2$$

$$U L S = 1.3$$

$$W_{dead} = A \times W_{baja}$$

$$= 0.0278 \times (78.5)$$

$$= 2.18 \text{ Kn/m} \times 1.3$$

$$= 2.836 \text{ Kn/m} = 2,836 \text{ N/mm}$$

$$W_{live} = 2.01 \text{ Kn/m} = 2010 \text{ N/mm}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}, I = 126400000 \text{ mm}^4$$

$$\Delta = 52.3 \text{ mm pada jarak 10 m dari ujung profil}$$

$$\text{Lendutan ijin, } \Delta_{ijin} = \frac{L}{240} = \frac{13125}{240} = 54.667$$

mm > $\Delta = 52.3 \text{ mm}$, lendutan yang terjadi memenuhi syarat.

Analisis profil CHS800 \varnothing x20 (345 MPa) dengan SNI dibandingkan dengan hasil program SAP2000 sehingga perhitungan dilakukan sebagai berikut.

- Cek Kapasitas Geser

$$A_g (\text{Luas Profil}) = 49008 \text{ mm}^2$$

$$V_u < \phi V_n = 0.6 \phi \cdot A_g \cdot F_y$$

$$\phi V_n = 0.6(0.9)(49008)(0.345) = 9130 \text{ Kn} > V_u = 354 \text{ Kn}$$

Penampang kuat menahan gaya geser maksimum.

- Aksi Kolom

$$\frac{K L}{r} = \frac{K x L}{r x} = \frac{1.3(6)}{0.275} = 28.3$$

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{k x \cdot L_x}{r x} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} \cdot 28 \cdot \sqrt{\frac{345}{200000}} = 0.37$$

$$\omega = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \cdot \lambda_c} = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \cdot 0.37} = 1.05$$

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = 49008 \cdot 85 (345/1.05) = 16102 \text{ Kn}$$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{8638}{0.85 \times 15986} = 0.63 > 0.2$$

- Aksi Balok

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{800}{20} = 40$$

$$\lambda_p = \frac{0.7 E}{F_y} = \frac{140000}{345} = 405$$

$$\lambda_r = \frac{0.31 E}{F_y} = \frac{140000}{345} = 149$$

Karena $\lambda \leq \lambda_p$, penampang adalah kompak, lalu ditentukan katagori bentangnya.

$$L = 6 \text{ m}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\left(\frac{E}{f_y}\right)} = 11.6 \text{ m}$$

Karena $L < L_p$ maka termasuk katagori bentang pendek

$$M_n = M_p$$

$$\phi_b M_p = Z_x \cdot F_y = 0.9 (0.345)(12170667) = 3778.92 \text{ Kn.m}$$

- Perbesaran Momen

$$\phi_c P_n = 0.85 A_g F_c r$$

$$\phi_c P_n = 0.85 \times 0.0490 \times 331000 = 13687 \text{ Kn}$$

$$C_m = 0.6 - 0.4 M_1/M_2 = 0.6 - 0.4 \cdot 1056/1069 = 0.20$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_g}{(k \cdot \frac{L}{r})^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 49008}{(28)^2} = 123469 \text{ KN}$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{\sum N_u}{\sum N_{el}}} = \frac{0.20}{1 - \frac{8873}{123469}} = 0.52 < 1 \quad ; \quad \delta_b =$$

$$1.0$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum N_u}{\sum N_{el}}} = \frac{1}{1 - \frac{8873}{123469}} = 1.07$$

Total momen ,

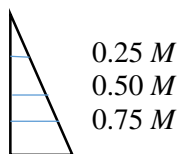
$$M_{ux} = B_1 \cdot M_{nt} + B_2 \cdot M_{lt} = 1.0(983.1) + 1.07(96.9) = 1087.5 \text{ Kn.m}$$

$$\phi M_n = 0.9 (0.345)(12170667) = 3778.92 \text{ Kn.m}$$

$$\phi_b M_p = 3778.92 \text{ Kn.m}$$

Untuk distribusi linear dengan nilai $M = 0$ pada salah satu ujungnya maka asumsi perhitungan C_b sebagai berikut :

$$C_b = \frac{12.5 M_{max}}{2.5 M_{max} + 3 M_a + 4 M_b + 3 M_c} = \frac{12.5(1.0)}{2.5(1.0) + 3(0.25) + 4(0.5) + 3(0.75)} = 1.67$$



$$\phi_b M_{nx} = 1.67 \times 3778.92 = 6310.79 \text{ Kn.m}$$

$\phi_b M_{px}$ pada distribusi linear dengan $M=0$ memiliki nilai lebih besar dari $\phi_b M_{nx}$ maka diambil nilai $\phi_b M_{nx}$ dengan nilai 3778.92 Kn.m.

$$\frac{N_u}{\phi_c P_n} = \frac{8873}{13687} = 0.64 > 0.2$$

: Pakai persamaan H1-1a AISC

$$\frac{N_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) = 0.64 + \frac{8}{9} \left(\frac{1087.5}{3778.9} + 0 \right) = 0.89 < 1, \text{ Profil memenuhi syarat analisis balok-kolom, sesuai dengan analisis program SAP2000.}$$

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada struktur living quarter pada floating production system di perairan Indonesia pada saat kondisi transportasi didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisis, perilaku struktur balok yang terjadi pada beberapa profil seperti profil balok HE800A dan profil kolom $\varnothing 800 \times 20$ kuat menahan beban – beban yang bekerja pada kondisi transportasi dan sama halnya dengan menggunakan profil dan standart SNI pada kondisi dan pembebanan yang sama dengan standar AISC dan profil EURO.
2. Struktur *living quarter* mampu menahan beban – beban yang bekerja di lapangan dalam kondisi ekstrin, hal tersebut telah dijelaskan pada analisis secara manual dengan pedoman baja AISC dan SNI dimana beberapa kondisi seperti momen, gaya geser dan gaya aksial terbesar yang terjadi pada penampang HE800A dan Circular Hollow $\varnothing 800 \times 20$ mampu ditahan oleh kedua profil tersebut. Selain itu, dalam analisis balok-kolom kedua profil tersebut terbukti kuat menahan beban yang terjadi dengan angka rasio 0.779 pada profil HE800A dan 0.919 pada Circular Hollow $\varnothing 800 \times 20$ dimana kedua rasio tersebut mendekati kondisi kritis tetapi tidak melebihi angka 1 yang merupakan kriteria ijin.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Institute of Steel Construction, “Manual of Steel Construction, LRFD vol.1”, 2nd ed.
- [2] American Institute of Steel Construction, “Manual of Steel Construction, LRFD vol.2”, 2nd ed.
- [3] American Petroleum Institute, “Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design”, 22nd ed.
- [4] American Petroleum Institute, “Planning, Designing, and Constructing Floating Production Systems”, 2nd ed.
- [5] Standar Nasional Indonesia-03-1729-2002.