

ANALISIS STRUKTUR *LIVING QUARTER* SAAT KONDISI TRANSPORTASI PADA *FLOATING PRODUCTION SYSTEM* DI PERAIRAN LEPAS PANTAI INDONESIA

Dewa Ketut Surya Pramana, Sugeng P. Budio, Eva Arifi

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono 167 Malang, 65145, Jawa Timur – Indonesia

ABSTRAK

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 FPS merupakan kapal tanker yang memproduksi minyak mentah dan gas alam namun tidak dapat menyimpan langsung hasil produksi tersebut, maka dari itu terdapat kapal penyimpanan lainnya saat produksi tersebut berjalan. Pada analisis struktur *living quarter* ini merupakan analisis pada struktur saat kondisi transportasi. Dalam analisis struktur *living quarter* ini menggunakan software SAP2000 V.19 yang menghasilkan *output* berupa momen, gaya geser, dan aksial yang terbesar dari 8 kondisi arah gelombang ombak yang diterima lambung kapal. Output analisis software dan analisis manual baja menunjukkan struktur baja utama *living quarter* mampu menahan beban – beban yang bekerja, baik itu beban berat sendiri struktur, beban mati dan hidup, beban angin, dan beban akibat pergerakan kapal.

Kata kunci: analisis struktur, *living quarter*, *floating production system*, kondisi transportasi.

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 producting, 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.

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 system 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 minyak mentah dan gas alam namun tidak dapat menyimpan langsung hasil produksi tersebut, maka dari itu terdapat kapal penyimpanan lainnya saat produksi tersebut berjalan.

TINJAUAN PUSTAKA

FPS

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 dan SNI, apakah memenuhi kriteria dan bisa digunakan dalam operasional pada kondisi transportasi.

Pembebanan

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 motion kapal. Beban akibat angin bekerja sebagai beban angin statis untuk penyederhanaan analisis.

Faktor Beban

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.

Kekuatan Struktur

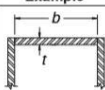

Kontrol kekuatan struktur harus sesuai dengan beban - beban yang bekerja pada struktur tersebut. Nilai yang dijadikan perhitungan merupakan nilai karakteristik beban maupun nilai nominal beban.

Pada profil, momen maksimum yang terjadi harus dipertimbangkan dengan persamaan $\phi Mn > Mu$. Pada penentuan Mn menurut AISC dan SNI bergantung pada bentuk penampang, apakah itu kompak, non-kompak, dan langsing berdasarkan pada rasio harga lebar-tebal pada tabel berikut.

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 $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$, penampang adalah non kompak

$\lambda > \lambda_r$, penampang langsing

Untuk tegangan geser persamaan yang digunakan sesuai AISC dan SNI $V_u < \phi V_n = 0.6\phi A_w F_y w$ dan $V_u < \phi V_n = 0.6\phi A_g F_y$ dengan 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 sebagai berikut

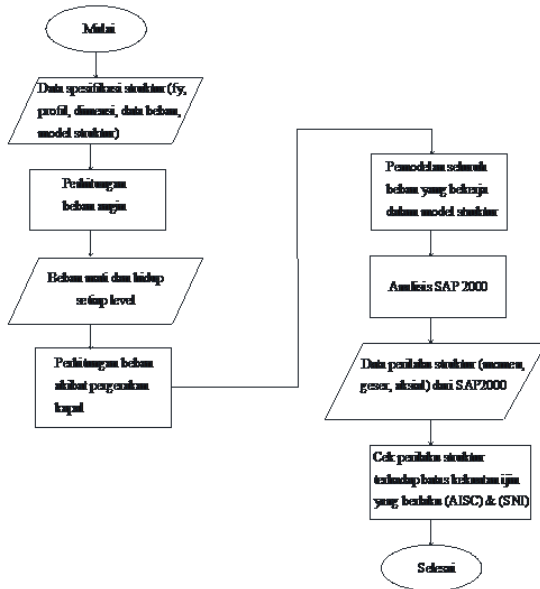
Tabel 3 Lendutan Ijin

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 symbol yang berbeda.

METODE ANALISIS

Diagram Alir



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

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 : $\pm 31.4 \text{ m}^2$

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 \times 40, CHS800 \times 20, CHS457 \times 15.8, CHS324 \times 12.7, CHS324 \times 9.8, CHS273 \times 9.2, CHS219 \times 10, PG790-1, PG790-2, PG790-3.

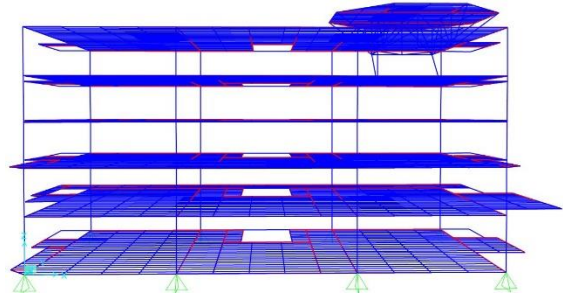
Alat dan Bahan

Software yang digunakan adalah SAP2000 V.19 , Autocad 2017, Tekla Structure, dan Ms.Office.

Model Input

Sebelum eksekusi program analisis *software* SAP2000 dibutuhkan model 3D struktur sebagai input analisis seperti pada gambar 3.

Gambar 3 Model 3D Struktur pada SAP2000



PEMBAHASAN

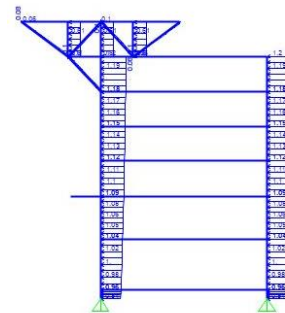
Pembebanan Beban Angin

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 4 Beban Angin diatas permukaan laut



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

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 di tiap kolom struktur pada *deck stool*. Pada perhitungan beban akibat akselerasi digunakan data yang merupakan

data dengan satuan (g) yang akan dikalikan dengan beban struktur sehingga mengakibatkan beban luar terhadap struktur.

Tabel 5 Motion Criteria

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

Tabel 6 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

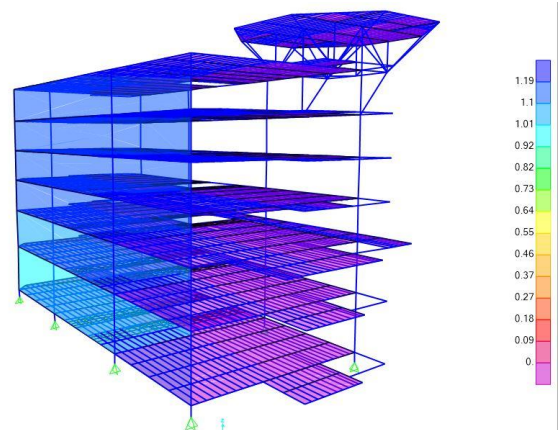
Tabel 7 Data Beban Akselerasi Struktur LQ

Environm ental 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

Model Beban

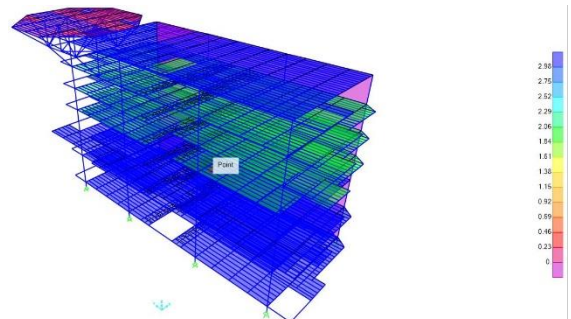
Dalam analisis struktur *living quarter*, diterapkan beberapa pemodelan beban pada struktur. Untuk beban angin pada analisis kali ini beban tersebut mengenai *wall plate* pada struktur *living quarter* dan disebarkan secara merata menjadi beban area pada masing masing elevasi.

Gambar 5 Beban Angin pada Wall Plate



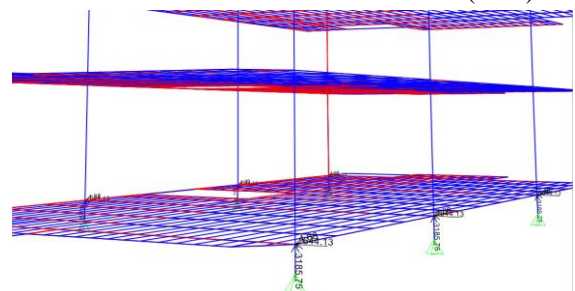
Dalam pemodelan beban mati dan hidup, digunakan asumsi beban area yang secara merata menyebarkan ke seluruh profil balok pada struktur. Dalam hal ini, berat sendiri struktur sudah terkalkulasi dengan sendirinya berdasarkan profil yang dipakai.

Gambar 6 Model Beban Mati dan Hidup



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.

Gambar 7 Model Beban Akselerasi (270°)

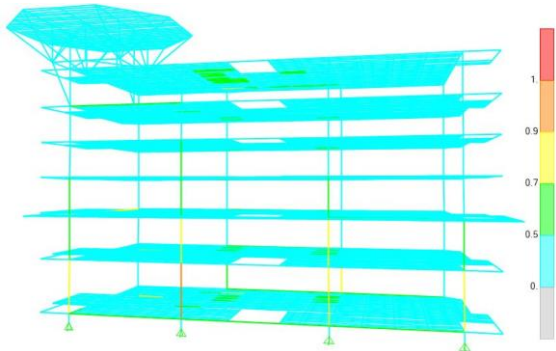


Hasil Analisis

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. Berikut adalah model 3-D hasil analisis dengan program SAP2000.

Gambar 8 Hasil Analisis Pada Kondisi Pembebanan Arah 270°



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. 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.

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

$$G_A = 10$$

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

$$k_x = 1.7$$

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

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

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

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

- 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 $\lambda \leq \lambda_p$, 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 pendek

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

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

- Perbesaran Momen

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

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

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

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

$$B2 = \frac{1}{1 - \frac{\gamma P_u}{\Sigma P_e}} = \frac{1}{1 - \frac{62}{5280}} = 1.01$$

$$M_n = B1.M_{nt} + B2.M_{lt} = 1.1687 + 1.01.322 = 2010 \text{ KNm}$$

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

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, Penampang memenuhi syarat analisis balok-kolom, sesuai dengan analisis program SAP2000.

- Cek Kuat Geser

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

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

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

$$V_u = 756.66 \text{ Kn}$$

Profil kuat menahan gaya geser *ultimate*.

- Cek Lendutan

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

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

$$ULS = 1.3$$

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

$$= 0.0278 \times (78.50)$$

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

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

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

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

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

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

$\Delta = 52 \text{ mm}$, 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

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

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

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

$$362 \text{ Kn}$$

Profil kuat menahan gaya geser maksimum.

- Aksi Kolom

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

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{Kx.Lx}{r_x} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi} \cdot 28.3 \cdot \sqrt{\frac{345}{200000}} = 0.37$$

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

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

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

- 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.

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

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 11.6 \text{ m}$$

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)

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

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

$$C_m = 0.6 - 0.4 M1/M2 = 0.6 - 0.4 \cdot 1161/1182 = 0.20$$

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

$$B1 = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma P_u}{\Sigma P_e}} = \frac{0.20}{1 - \frac{8922}{123469}} = 0.2 < 1 \quad ; \delta_b = 1$$

$$B2 = \frac{1}{1 - \frac{\gamma P_u}{\Sigma P_e}} = \frac{1}{1 - \frac{8922}{123469}} = 1.07 \quad (\text{Persamaan C1-5})$$

AISC)

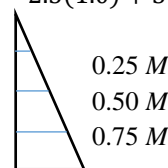
$$\text{Momen total, } M_u = B1.M_{nt} + B2.M_{lt} = 1.0(1070) + 1.07(99.8) = 1177 \text{ Kn.m}$$

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

$$\phi_b M_p = 1.0 x 3778.92 = 3778.92 \text{ Kn.m}$$

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

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



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

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

$$\frac{Pu}{\phi cPn} = \frac{9209}{14494} = 0.63 > 0.2 \quad : \quad \text{Pakai}$$

persamaan H1-1a AISC

$$\frac{Pu}{\phi cPn} + \left(\frac{Mux}{\phi bMnx} + \frac{Muy}{\phi bMny} \right) = 0.63 + \frac{8}{9} \left(\frac{1177}{3778} + 0 \right) = 0.91 < 1, \text{ Penampang memenuhi syarat kekuatan desain balok-kolom.}$$

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

- Aksi Kolom

$$G_A = 10$$

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

$$k_x = 1.7$$

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

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

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

$$N_n = Ag \cdot fcr = 26072(345/2.2) = 408.8 \text{ Ton} = 4088 \text{ Kn}$$

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

- Aksi Balok

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

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

$$\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{fy - fr}} = \frac{370}{\sqrt{345 - 115}} = 24.4$$

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

- Cek Penampang Badan

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

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

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

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

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

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{fy}} = 2.85 \text{ m}$$

$$X1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E G J A}{z}} = 902.648 \text{ kg/cm}^2$$

$$X2 = 4 \left(\frac{S_x}{G J} \right)^2 \frac{I_w}{I_y} = 1.17 \times 10^{-7}$$

$$fL = fy - fr = 275 \text{ MPa}$$

$$L_r = r_y \left[\frac{X1}{fL} \right] \sqrt{1 + \sqrt{1 + X2 fL^2}} = 34.05 \text{ m}$$

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

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

$$\phi bM_n = 2482.5 \text{ Kn.m}$$

- Perbesaran Momen

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

$$C_m = 0.6 - 0.4 M1/M2 = 0.6 - 0.4 \cdot 680/1930 = 0.46$$

$$N_{e1} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot Ag}{(k \frac{L}{r})^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 26072}{(102)^2} = 4950.8 \text{ KN}$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{\sum Nu}{\sum N_{e1}}} = \frac{0.46}{1 - \frac{60.4}{4950}} = 0.46 < 1 \quad ; \delta_b = 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum Nu}{\sum N_{e1}}} = \frac{1}{1 - \frac{60.4}{4950}} = 1.01$$

$$M_n = \delta_b \cdot M_{ntu} + \delta_s \cdot M_{ltu} = 1 \cdot 1625 + 1.01 \cdot 305.2 = 1933 \text{ KNm}$$

$$\frac{Nu}{\phi N_n} = \frac{60.9}{4088} = 0.01 < 0.2 \quad : \text{Pakai persamaan H1-1b}$$

AISC

$$\frac{Nu}{2\phi cN_n} + \left(\frac{Mux}{\phi bMnx} + \frac{Muy}{\phi bMny} \right) = \frac{0.01}{2} + \left(\frac{1933}{2482.5} + 0 \right) =$$

0.783 < 1, Penampang memenuhi syarat analisis balok-kolom, sesuai dengan analisis program SAP2000.

- Cek Kuat Geser

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

$$Vu < \phi V_n = 0.6 \phi \cdot Ag \cdot F_y$$

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

$$Vu = 730.87 \text{ Kn}$$

Penampang kuat menahan gaya geser maksimum.

- Cek Lendutan

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

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

$$ULS = 1.3$$

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

$$= 0.0278 \times (78.50)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

- Cek Kapasitas Geser

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

$$Vu < \phi V_n = 0.6 \phi \cdot Ag \cdot F_y$$

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

Penampang kuat menahan gaya geser maksimum.
- Aksi Kolom

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

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{kx \cdot Lx}{rx} \cdot \sqrt{\frac{fy}{E}} = \frac{1}{\pi} \cdot 28 \cdot \sqrt{\frac{345}{200000}} = 0.37$$

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

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

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

- 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.

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

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 11.6 \text{ m}$$

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

$$\phi c P_n = 0.85 x A_g x F_{cr}$$

$$\phi c P_n = 0.85 x 0.0490 x 331000 = 13687 \text{ Kn}$$

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

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

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{\sum N_u}{\sum N_{el}}} = \frac{0.20}{1 - \frac{8873}{123469.8}} = 0.52 < 1 ; \delta_b = 1.0$$

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

Total momen ,

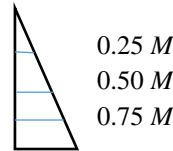
$$M_{ux} = B_1 \cdot M_{nt} + B_2 \cdot M_{lt} = 1.0(983.1) + 1.07(96.9) = 1087.5 \text{ Kn.m}$$

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

$$\phi b M_p = 3778.92 \text{ Kn.m}$$

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

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



$$\phi b M_{nx} = 1.67 x 3778.92 = 6310.79 \text{ Kn.m}$$

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

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{8873}{13687} = 0.64 > 0.2$$

: Pakai persamaan H1-1a AISC

$$\frac{N_u}{\phi c N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi b M_{ny}} \right) = 0.64 + \frac{8}{9} \left(\frac{1087.5}{3778.9} + 0 \right) = 0.89 < 1, \text{ Profil memenuhi syarat analisis}$$

balok-kolom, sesuai dengan analisis program SAP2000.

KESIMPULAN DAN SARAN

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.

3. Struktur yang di disain sudah memenuhi standart keamanan dan mamapu beroperasi dalam kondisi ekstrim lapangan di perairan lepas pantai Indonesia.

4. kesimpulan bahwa desain *Living Quarter* yang sudah ada mampu menjalankan fungsinya

dalam memproduksi minyak dan gas alam di lepas pantai Indonesia baik itu menggunakan profil EURO dan profil SNI saat beroperasi dalam kondisi transportasi atau saat kondisi kapal bergerak.

Saran

Dalam penyempurnaan analisis ini, terdapat beberapa hal yang dibutuhkan untuk meningkatkan keakuratan analisis struktur *living quarter* pada FPS.

1. Profil kolom yang mengalami rasio mendekati 0.9 sebaiknya diganti menggunakan profil yang sama pada kolom di atasnya, yaitu profil Circular Hollow Ø800x20. Untuk profil balok HE800A yang mendekati rasio 0.8 sebaiknya diganti menggunakan profil PG790-3 agar mendapatkan rasio dibawah 0.7.

2. Dalam menjalankan program SAP2000 diperlukan ketelitian yang tinggi mengingat pemodelan struktur yang kompleks dan satuan yang digunakan dalam program harus lebih teliti dan ditinjau lagi sebelum mengeksekusi program.

3. Perlunya pengetahuan lebih lanjut tentang struktur baja yang merupakan dasar dalam pembuatan penelitian ini, sehingga hasil analisis di program dapat dibandingkan dengan analisis manual struktur baja.

4. Perlunya pengetahuan program khusus bangunan lepas pantai yang dapat mempermudah analisis dan menyempurnakan hasil dari analisis.

DAFTAR PUSTAKA

American Institute of Steel Construction, “*Manual of Steel Construction, LRFD vol.1*”, 2nd ed.

American Institute of Steel Construction, “*Manual of Steel Construction, LRFD vol.2*”, 2nd ed.

American Petroleum Institute, “*Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design*”, 22nd ed.

American Petroleum Institute, “*Planning, Designing, and Constructing Floating Production Systems*”, 2nd ed.

Chakrabarti, K. Subrata, “*Handbook of Offshore Engineering, vol 1*”, Elsevier, Inc., 2005.

Chakrabarti, K. Subrata, “*Handbook of Offshore Engineering, vol 2*”, Elsevier, Inc., 2005.

El-Reedy, A. Mohamed, “*Offshore Structures: Design, Constructing and Maintenance*”, Elsevier, Inc., 2012.

Hika, Z. Teshome, “*Master Thesis: Design Analysis and Optimization of Offshore Module*”. University of Stavanger., 2012

International Organization for Standardization, “*Petroleum and Natural Gas Industries-General Requirements for Offshore Structures*” , revision of 2nd Edition ISO 19900, Geneva., 2012.

Može, Primož, “*Lecture 15A.1-10: Structural Systems-Offshore*”,
<http://www.fgg.uni-lj.si/kmk/ESDEP/master/wg15a/11000.htm>
[diakses 21 April 2016]

Salmon, C.G., Johnson, J.E., “*Steel Structures, Design and Behavior*” 2nd ed., Harper & Row Publishers, New York, 1980.

Segui, T. William. “*LRFD Steel Design*”, PWS Publishing Company, Boston., 1994.

Tvedt, Henrik., “*Master Thesis: Modular Approach to Offshore Vessel Design and Configuration*”, Norwegian University of Science and Technology (NTNU – Trondheim), 2012.