

OPTIMASI STRUKTUR *JACKET* LEPAS PANTAI DENGAN ANALISIS PERMODELAN KOMPUTASI 3D NONLINIER *PUSHOVER*

Amin Sundoro¹, Syahril Taufik²

¹*amin_sundoro@yahoo.co.id* ; ²*Syahril_taufik@istn.ac.id*

¹Alumni Magister Teknik Sipil, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta

²Dosen Magister Teknik Sipil, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta

ABSTRAK

Studi ini membahas analisis keruntuhan model struktur platform jacket lepas pantai akibat beban lateral yaitu beban lingkungan dengan bantuan software komputasi USFOS. Model struktur platform yang dioptimasi adalah model A dengan 4 kaki dengan kombinasi bracing X, V, Chevron, dan diagonal model K. Selanjutnya, selangkah demi selangkah bracing dikurangi secara progresif sampai diperoleh level beban leleh pertama komponen dibawah 1 atau struktur tidak memenuhi kriteria level desain. Analisis yang digunakan adalah nonlinier pushover dari badai ekstrim. Platform model A dianalisis dari 8 arah metocean dan selanjutnya model yang lain dianalisis menggunakan arah badai dengan nilai *RSR* terkecil dari model A yaitu arah 225°. Hasil analisis menunjukkan perubahan mekanisme runtuh global, komponen yang mengalami leleh pertama dan perubahan daktilitas. Dari hasil skoring antara rasio berat model A terhadap berat model dengan nilai redundansi, diperoleh nilai terbesar adalah Platform model E *hybrid* dengan bracing 4X, 2 Chevron, dan 4 vertikal diagonal model K dengan mutu baja S315. Berat yang dapat dioptimasi oleh model E *Hybrid* dari model A adalah 101.801 kN, optimum 2,88%, dan nilai redundansi mencapai 198,20%.

Kata Kunci: Badai ekstrim, Mekanisme runtuh, nonlinier Pushover, Redundansi, Daktilitas

ABSTRACT

This study emphasizes the collapse of the offshore jacket platform structure model due to lateral loads, namely environmental loads with the help of USFOS computing software. The optimized platform structure model is the A model with 4 legs with a combination of X, V, Chevron, and K diagonal bracings. Then, step by step the bracing is progressively reduced until the first yield load level of the component is below 1 or the structure does not meet the design level criteria. The analysis used is nonlinear pushover from extreme storms. The platform model A was analyzed from 8 metocean directions and the next model was analyzed using the storm direction with the smallest RSR value from model A, namely the direction of 225°. The results of the analysis show changes in the global collapse mechanism, components that experience the first yield and changes in ductility. From the results of the scoring between the weight ratio of model A to the weight of the models with the redundancy value, the largest value obtained is the Platform E hybrid model with 4X bracing, 2 Chevrons, and 4 vertical diagonal models K with steel grade S315. The weight that can be optimized by the E Hybrid model from the A model is 101,801 kN, optimum 2,88% and redundancy factor reached 198.20%.

Keywords: Extreme storm, Collapse mechanism, Nonlinear Pushover, Redundancy, Ductility

PENDAHULUAN

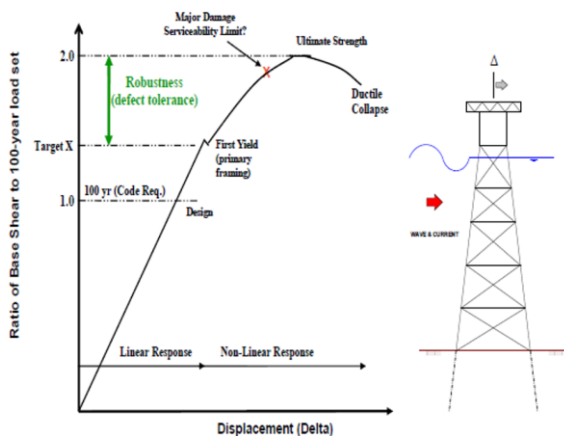
Studi terhadap kekuatan tertinggi platform jacket menggunakan perangkat analisis pushover telah dilakukan oleh Sentil et al. (2016), Wahab et al. (2016), Potty et al.

(2013) dan Stear dan Bea (1999) dengan metode analisis keruntuhan plastik penuh.

Salah satu penyebab kegagalan struktur anjungan lepas pantai adalah akibat beban ekstrim badai. Pada wilayah yang bukan

merupakan wilayah gempa seperti perairan Malaysia, beban lingkungan digunakan dalam assesment platform dan beban seismik tidak diperhitungkan dalam analisis keandalan struktur anjungan. Struktur anjungan lepas pantai baja tipe tetap merupakan struktur yang paling umum digunakan untuk eksplorasi minyak dan gas di perairan yang relatif dangkal seperti perairan Malaysia (10-100 m).

Mekanisme keruntuhan progresif didahului dengan kegagalan lokal. Ketika beban lateral yang diberikan secara monotonik meningkat gradual sampai struktur tersebut runtuh, sebelumnya didahului oleh komponen struktur yang mengalami leleh pertama. Ketika komponen tersebut gagal, maka beban akan mengalir ke komponen struktur lainnya melalui loading path. Struktur yang mendapat beban limpahan dari kegagalan lokal tersebut, akan berusaha mempertahankan struktur tetap berdiri, sampai dia mengalami kegagalan berikutnya. Begitu seterusnya sampai struktur mengalami deformasi dan selanjutnya struktur mengalami kegagalan global.



Gambar 1 Filosofi reliabilitas struktur anjungan
(Sumber: DNV GL, 2016)

Untuk itulah, diperlukan analisis permodelan mekanisme keruntuhan akibat beban pushover pada beberapa konfigurasi struktur jacket lepas pantai dan analisis konfigurasi alternatif struktur jacket lepas pantai yang efektif untuk menghindari mekanisme keruntuhan. Model 3 dimensi menggunakan program USFOS hasil konversi

dari SESAM. Modifikasi geometri dan material dilakukan dengan modifikasi text file di dalam program. Anjungan lepas pantai yang diteliti berlokasi di perairan Malaysia. Beban yang diperhitungkan adalah beban lingkungan berupa beban angin dan gelombang dalam kondisi badai, dimana kondisi seismik tidak di perhitungkan. Analisis yang digunakan adalah analisis statik nonlinier pushover. Permodelan tumpuan dimodelkan dengan pancang menggunakan *Pile Soil Interaction* (PSI).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lingkup Studi Pustaka

Kekuatan ultimit elemen struktur dan sistem merupakan ukuran dalam penilaian kekuatan, dalam arti bahwa kekuatan ultimit adalah kapasitas maksimum yang dimiliki oleh struktur. Setelah struktur melewati kapasitas ultimitnya, maka tidak ada beban tambahan yang dapat ditahan oleh struktur. Di bawah beban gabungan, tekuk dan leleh mendominasi kekuatan ultimit ketika tegangan tekan dominan, sedangkan hanya leleh yang mendominasi kekuatan ultimit ketika tegangan tarik dominan.

2.2 Pertimbangan Konseptual Desain Jacket

Bobot topside maksimum mengacu pada jumlah muatan tetap dan variabel di bawah beban operasional maksimum [18]. Parameter lingkungan yang paling penting meliputi kedalaman air, kondisi gelombang, kondisi angin, arus, kondisi tanah, akumulasi salju dan es, pertumbuhan laut, suhu udara dan air yang ekstrem, dan beban gempa.

2.3 Beban Rencana dan Tahanan Desain

Standar desain mengkompensasi ketidakpastian yang ada dalam desain struktural dengan memastikan bahwa margin keamanan antara kemungkinan beban maksimum dan ketahanan struktur cukup besar. Ketidakpastian ditangani dalam kode *Allowable Stress Design* (ASD) melalui faktor keamanan, di mana hanya satu variabel yang digunakan untuk menangani semua ketidakpastian baik dalam beban maupun

kapasitas [8]. *Load Resistance Factored Design* (LRFD) terdiri dari faktor keamanan parsial dan faktor resistensi yang mencerminkan ketidak-pastian [9]. Bentuk umum untuk metode LRFD adalah dengan Pers. 1 berikut.

$$\phi R_n \geq \phi Q_d + \phi_{t1} Q_{t1} + \phi_{t2} Q_{t2} + \dots + \phi_{tn} Q_{tn} \quad (1)$$

Dimana:

R_n = hambatan nominal (kN)

Q_d = efek beban mati nominal (kN)

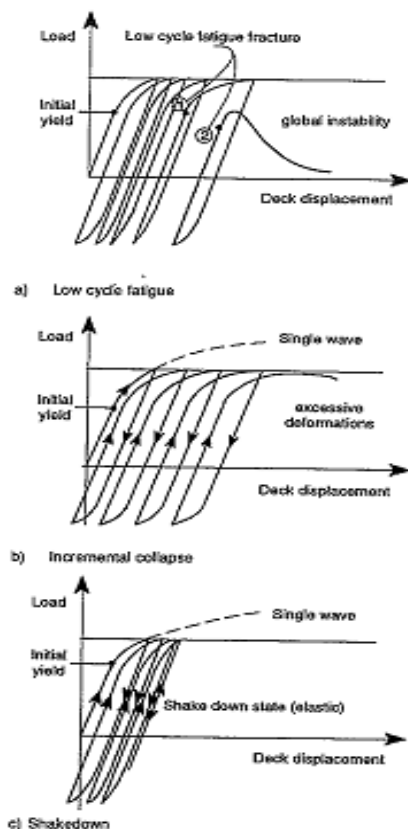
$Q_{t1} \dots Q_{tn}$ = efek beban transien nominal (kN)

ϕ_{ti} = faktor beban, terkait dengan efek beban

ϕ = faktor resistansi

2.4 Analisis Impak Beban Badai

Struktur yang bertahan melewati satu gelombang besar yang langka dari badai ekstrem tanpa kegagalan, kemungkinan besar akan bertahan dari seluruh badai. Dengan demikian, analisis pushover statis umumnya cukup untuk memastikan integritas struktur. Konsep keruntuhan dan moda survival kondisi beban siklik dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Keruntuhan dan moda survival kondisi beban siklik (Stewart, 1993).

2.5 Reserve Strength Ratio (RSR)

RSR (Reserve Strength Ratio) dihitung dengan menggunakan analisis nonlinear finite element model dari struktur sering juga disebut sebagai pushover analysis. Secara dasar analisis ini dilakukan dengan cara menetapkan beban-beban yang akan digunakan, biasanya beban vertikal (payload) adalah beban yang dianggap tetap sedangkan beban lingkungan adalah beban yang dikalikan dengan faktor tertentu (incremental load), beban lingkungan ini dinaikkan secara perlahan sampai batas kekuatan dari struktur tercapai. Beban-beban lingkungan yang digunakan pada umumnya adalah beban dalam kondisi ekstrim (Bomel, 2003).

Struktur akan mempunyai nilai *RSR* yang berbeda-beda untuk setiap kondisi arah pembebanan sehingga nilai yang diambil adalah nilai yang paling kecil. Nilai *RSR* dapat dihitung berdasarkan Pers. 2 dan 3 berikut:

$$RSR = \frac{\text{Beban padasaat struktur collapse}}{\text{Beban kondisi awal}} \quad (2)$$

$$RSR = \frac{P_{awal} + \text{Total } P \text{ increment}}{P_{awal}} \quad (3)$$

Dimana:

P_{awal} = P pada desain level (kN)

$P_{increment}$ = P pada analisis pushover (kN)

2.6 Structural Reliability Analysis

Kemampuan struktur untuk memberikan kemampuan layan dalam kondisi operasional, ekstrim, tidak disengaja, kelelahan, dll, untuk jangka waktu tertentu, pada prinsipnya disebut keandalan struktural. Kinerja struktur dapat dihitung secara matematis, sebagai probabilitas kegagalan.

Metode *SSRA* (DNV, 1999), adalah pendekatan yang disederhanakan dan cepat untuk *SRA* komprehensif. Analisis ini menggunakan nilai kovarians dan bias yang telah ditentukan sebelumnya yang diadopsi dari *SRA* untuk jenis struktur tertentu dari wilayah operasi yang sama. Dari analisis, indeks keandalan diperoleh dan kemudian dibandingkan dengan indeks keandalan target yang

ditentukan kode untuk membuat keputusan (Fadly 2011). Tabel 1 menyajikan nilai bias dan kovarians yang diadopsi.

Tabel 1 Bias dan COV untuk perhitungan reliabilitas struktur

Variable		Bias		CoV	
		B _D	1	V _D	0,1
Load	Dead, Live and Functional load	B _M	0,9	V _E	0,2
	Environmental load		1,1		0,15
Resistance	Members / Piles	B _R	1,15	V _R	0,2
	Soil Vertical Punch through / Pull out		1,15		0,2
	Lateral soil		1,15		0,2

Analisis Keandalan Struktural yang Disederhanakan (SSRA) dilakukan setelah analisis push-over untuk menentukan angka perkiraan untuk keandalan platform. Dengan melakukan SSRA, perkiraan ukuran keandalan platform dapat ditentukan melalui penentuan periode ulang beban lingkungan yang dapat ditahan struktur untuk RSR yang dihitung (terendah) yang ditentukan dari Analisis Push-Over. Mempertimbangkan resistansi, *R* dan beban tahunan maksimum, *S*, keduanya berdistribusi normal, margin keamanan *M* didefinisikan sebagai Pers. 4 berikut:

$$M = \ln R \cdot \ln S \quad (4)$$

Indeks keandalan tahunan diberikan oleh Pers. 5 berikut:

$$\beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} = \frac{\mu_{mR} - \mu_{mS}}{\sqrt{\sigma_{mR}^2 + \sigma_{mS}^2}} = \frac{\ln \left[\frac{\mu_R}{\mu_S} \sqrt{\frac{1+V_S^2}{1+V_R^2}} \right]}{\sqrt{\ln \left[(1+V_R^2)(1+V_S^2) \right]}} \quad (5)$$

Dimana: μ_R dan V_R masing-masing adalah nilai rata-rata dan COV dari resistansi. μ_S dan V_S masing-masing adalah nilai rata-rata dan COV dari beban tahunan maksimum.

Probabilitas tahunan kegagalan kemudian diberikan berdasarkan Pers. 6 berikut:

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (6)$$

Dan return period keruntuhan nosional yang terjadi adalah berdasarkan Pers. 7 berikut:

$$T_R = \frac{1}{P_f} \quad (7)$$

3. METODOLOGI

3.1 Data Lingkungan dan Data Struktur

Data lingkungan pada analisis ini diambil dari kriteria metocean untuk platform A.

- Data kedalaman laut adalah sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Data kedalaman laut

Kedalaman air dari MSL (m)	75,670
MSL (dari ACD) (m)	0,000
HAT (dari ACD) (m)	0,900
LAT (dari ACD) (m)	0,000
Storm Surge (m)	0,600
Kedalaman air desain (m)	77,170

- Marine Growth Profile
Data marine growth ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Profil Marine Growth

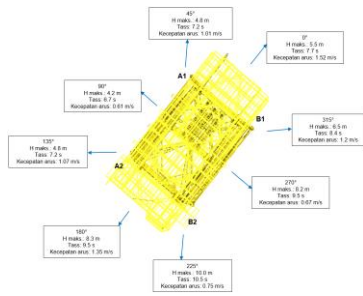
Jarak dari MSL (m)	Ketebalan (mm)	Kekasaran permukaan (mm)
0	80	20
(-) 25,33	80	20
(-) 75,67	25	6,25

- Angin
Kecepatan angin yang digunakan dalam analisis didasarkan pada periode ulang 100 tahunan untuk rata-rata 1 jam seperti yang ditabelkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Kriteria Angin

Kecepatan angin (m/s)	100 tahunan
Rata-rata 1 jam	25 m/s

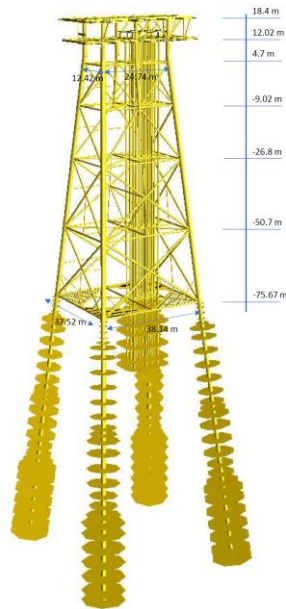
- Data Storm Surge
Arah tinggi gelombang periode ulang 100 tahunan dan periode gelombang ditunjukkan Posisi platform terhadap 8 arah gelombang diberikan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Gelombang dan arus badai 100 tahunan dan arahnya

3.2 Data Struktur dan Permodelan Struktur

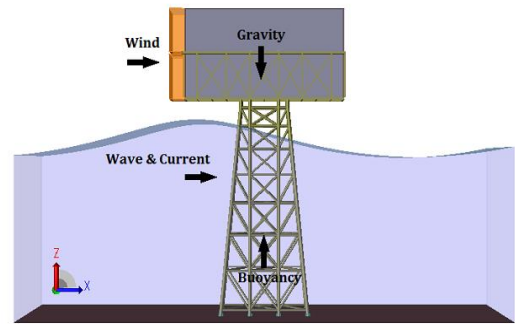
Gambar 3 berikut ini adalah gambar model platform dari program model USFOS.



Gambar 3 Permodelan Platform A

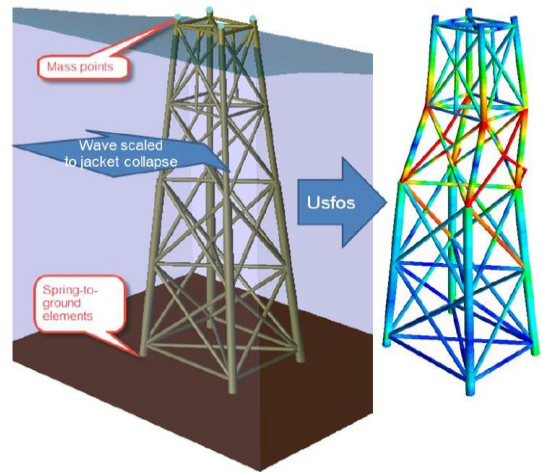
3.3 Permodelan Kondisi Lingkungan

Semua load case dalam program USFOS hasil konversi SESAM adalah berupa node load dan beam load yang ada di dalam model file. File tersebut berupa text file yang merepresentasikan beban lingkungan, beban gravitasi dan gaya apung. Gambar 4 berikut, menunjukkan visualisasi kombinasi beban dalam program modul control USFOS dari GeniE.



Gambar 4 Visualisasi kombinasi beban dalam program modul control USFOS dari GeniE

Perilaku jacket dengan sistem *bracing* yang berbeda diperiksa dengan analisis *pushover*. Selanjutnya dengan memvariasikan geometri *bracing platform*, pengoptimalan berat *platform* dilakukan. Efek interaksi tanah-struktur dipertimbangkan dalam analisis. Analisis *pushover* statis dilakukan dengan menggunakan beban gelombang masing-masing. Konsep permodelan 3D USFOS seperti pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5 Permodelan 3D USFOS

3.4 Analisis Model Struktur Jacket

Adapun permodelan USFOS pada struktur jacket lepas pantai dengan metode 'push over' dengan beberapa konfigurasi dari space frame (main structure - bracings) ditampilkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Data Modifikasi Model USFOS

Model	Leg system	Bracing	Steel Grade
A	4 legs	12X, 2 Chevron, dan 4 vertikal diagonal model K	S315 - $f_y = 315$ MPa
B	4 legs	4X, 2 Chevron, 2 V, dan 8 vertikal diagonal model K	S315 - $f_y = 315$ MPa
C	4 legs	4X, 2 Chevron, dan 8 vertikal diagonal model K	S315 - $f_y = 315$ MPa
D	4 legs	4X, 2 Chevron, 2	S315 - $f_y = 315$ MPa

A Hybrid	4 legs	12X, 2 Chevron, dan 4 vertikal diagonal model K	S315 + S265 ($f_y = 265$ MPa)
B Hybrid	4 legs	4X, 2 Chevron, 2 V, dan 8 vertikal diagonal model K	S315 + S265 ($f_y = 265$ MPa)
C Hybrid	4 legs	4X, 2 Chevron, dan 8 vertikal diagonal model K	S315 + S265 ($f_y = 265$ MPa)
D Hybrid	4 legs	4X, 2 Chevron, 2 V, dan 6 vertikal diagonal model K	S315 + S265 ($f_y = 265$ MPa)
E Hybrid	4 legs	4X, 2 Chevron, dan 4 vertikal diagonal model K	S315 + S265 ($f_y = 265$ MPa)
F Hybrid	4 legs	4X, dan 8 vertikal diagonal model K	S315 + S265 ($f_y = 265$ MPa)
G Hybrid	4 legs	4X, dan 6 vertikal diagonal model K	S315 + S265 ($f_y = 265$ MPa)
H Hybrid	4 legs	4X dan 4 vertikal diagonal model K	S315 + S265 ($f_y = 265$ MPa)

Lokasi material hybrid S265 dan S315 dan terletak pada posisi material khusus bracing vertikal, horisontal dan diagonal. Untuk mutu baja pada legs tetap dipertahankan dengan mutu baja S315.

4. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembahasan

1) Berdasarkan dari hasil analisis modelling beberapa konfigurasi bracing pada struktur jacket, maka dapat diberikan pembahasan sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Perhitungan nilai RSR – semua model

No.	Model Jacket	$E_{collapse}$ (MN)	E_{100} (MN)	$RSR = E_{collapse} / E_{100}$
1.	A	26,80	5,361	5,00
2.	B	26,26	5,361	4,90
3.	C	25,76	5,361	4,81
4.	D	28,21	5,361	5,26
5.	E	21,22	5,361	3,96
6.	F	23,58	5,361	4,40
7.	G	22,00	5,361	4,10
8.	H	19,66	5,361	3,67
9.	I	15,3	5,361	2,90
10.	A hybrid	26,45	5,361	4,93
11.	B hybrid	23,25	5,361	4,34
12.	C hybrid	23,10	5,361	4,31
13.	D hybrid	22,91	5,361	4,27
14.	E hybrid	21,39	5,361	3,99
15.	F hybrid	22,74	5,361	4,24
16.	G hybrid	22,01	5,361	4,11
17.	H hybrid	18,33	5,361	3,42

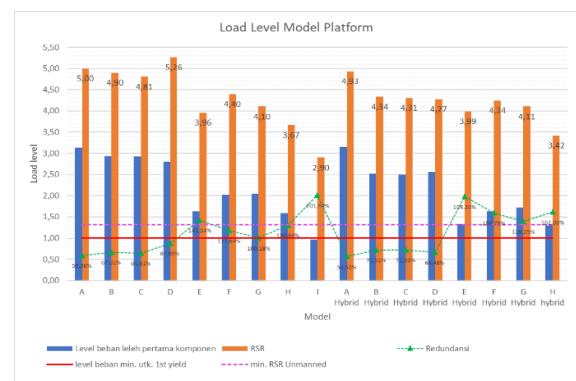
Dari hasil analisis pushover semua model platform, diperoleh nilai RSR dan mekanisme kegagalan komponen pertama dan kegagalan struktur yang ditunjukkan dalam Tabel 6 berikut ini

Tabel 6 RSR dan mekanisme kegagalan semua model platform

Model	Kegagalan komponen pertama			Kegagalan struktur			
	Level beban	Estimasi tinggi gelombang (m)	No.	Tipe komponen	RSR	Redundansi	Estimasi tinggi gelombang (m)
A	3,14	18,25	523	Jacket Leg A1	5,00	59,36%	23,33
B	2,93	17,62	3977	VDM at bay III	4,90	67,01%	23,08
C	2,92	17,57	3977	VDM at bay III	4,81	64,61%	22,84
D	2,80	17,19	3875	Jacket Leg B2	5,26	87,93%	23,96
E	1,63	12,94	3753	HDM at +4.696	3,96	142,54%	20,63
F	2,02	14,48	1483	HDM at -9.024	4,40	117,64%	21,81
G	2,05	14,59	1483	HDM at -9.024	4,10	100,18%	21,02
H	1,59	12,76	3753	HDM at +4.696	3,67	130,64%	19,82
I	0,96	9,79	3753	HDM at +4.696	2,90	201,44%	17,50
A Hybrid	3,15	18,30	523	Jacket Leg A1	4,93	56,53%	23,16
B Hybrid	2,51	16,24	3977	VDM at bay III	4,34	72,51%	21,64
C Hybrid	2,50	16,20	3977	VDM at bay III	4,31	72,36%	21,57
D Hybrid	2,57	16,42	3977	VDM at bay III	4,27	66,48%	21,48
E Hybrid	1,34	11,66	3753	HDM at +4.696	3,99	198,20%	20,72
F Hybrid	1,63	12,94	1483	HDM at -9.024	4,24	159,75%	21,39
G Hybrid	1,72	13,29	1483	HDM at -9.024	4,11	139,25%	21,03
H Hybrid	1,31	11,50	3753	HDM at +4.696	3,42	162,00%	19,10

Tabel 6 menunjukkan bahwa perubahan geometri dan mutu material model menyebabkan terjadinya penurunan nilai level beban ketika komponen mengalami leleh pertama dan ketika platform mengalami keruntuhan. Tinggi gelombang yang menyebabkan leleh pertama komponen dari arah badai 225° dihitung sesuai dengan level beban.

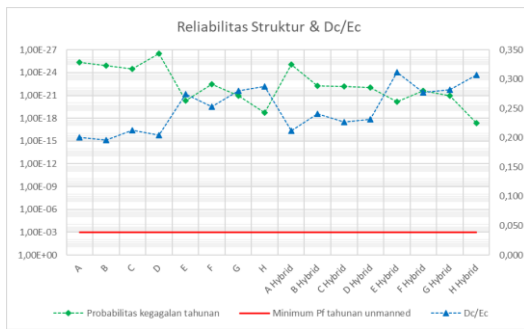
Hasil ini dapat digunakan sebagai dasar perencanaan inspeksi komponen ketika tinggi gelombang tersebut pernah ditemui selama umur operasi struktur. Gambar 6 berikut memperlihatkan perbandingan nilai load level dari berbagai konfigurasi model struktur jacket.



Gambar 6 Level beban leleh pertama setiap model platform pada arah metocean 225°.

Gambar 6 menunjukkan grafik per-bandangan bahwa model yang tidak memenuhi kriteria level desain adalah model I karena level beban leleh pertama komponen lebih kecil daripada 1. Nilai redundansi menunjukkan daktilitas struktur terhadap leleh pertama komponen. Semakin besar redundansi, maka struktur semakin daktil. Model yang mempunyai redundansi terbesar adalah platform E *hybrid* dengan nilai 196,64% dengan *RSR* 3,97 dan level beban leleh pertama komponen 1,34 sehingga memenuhi kriteria level desain.

- 2) Hasil perhitungan indeks reliabilitas dan probabilitas kegagalan tahunan semua model pada arah metocean 225° ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 7 berikut ini.

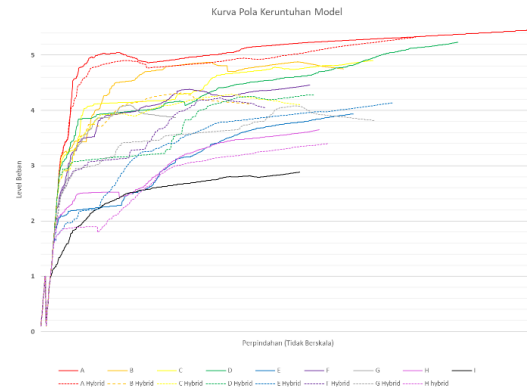


Gambar 7. Grafik probabilitas kegagalan tahunan dan rasio D_c/E_c semua model platform pada arah metocean 225°.

Grafik 7 menunjukkan bahwa semua model platform masih memenuhi kriteria minimum probabilitas kegagalan tahunan platform unmanned yaitu $> 1,00 \times 10^{-3}$. D_c adalah karakteristik efek beban mati pada level beban 1,0 sedangkan E_c adalah karakteristik efek beban dari beban lingkungan. Rasio D_c/E_c menunjukkan nilai perbandingan reaksi pancang maksimum pada arah vertikal dengan beban lingkungan saat runtuh. Semakin besar rasio, maka reaksi pancang akibat efek beban lingkungan semakin kecil.

- 3) Perilaku runtuh global platform semua model ditunjukkan dalam grafik pada Gambar 8 berikut. Kurva perilaku runtuh global platform menunjukkan hubungan

antara level beban global dan perpindahan global akibat badai dari arah 225°.



Gambar 8. Kurva perilaku runtuh setiap model platform pada arah metocean 225°.

- 4) Berat setiap platform diperoleh dari verifikasi model USFOS sehingga dapat diketahui selisih beratnya terhadap model A yang dioptimasi. Tabel 7 menunjukkan hasil perhitungan base shear ketika runtuh dan selisih berat masing-masing model terhadap model A.
- 5) Rasio berat model A terhadap berat model pada Tabel 7 menunjukkan hubungan optimasi berat model A dengan model. Semakin besar nilai rasio tersebut, maka semakin optimum geometri model platform terhadap model A. Dari Tabel 7, dibuat grafik skoring antara rasio berat model A terhadap berat model dengan nilai redundansi.

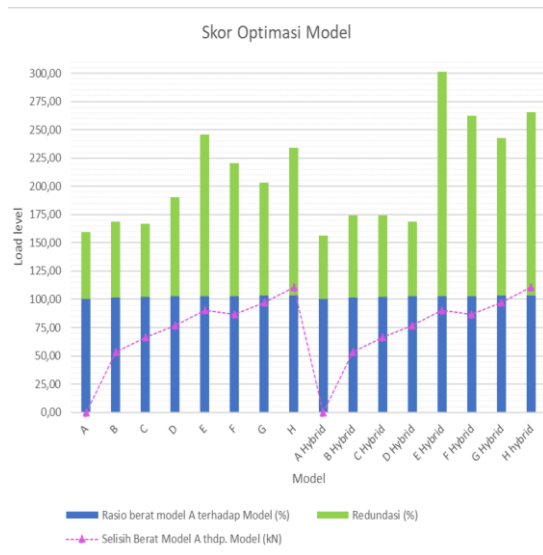
Tabel 7 Base shear ketika runtuh dan selisih berat model

Model	Total massa (kN)	Base shear (MN)	Base shear at collapse (MN)	Selisih Berat Model A thdp. Model (kN)	Rasio berat model A terhadap Model (%)
A	3143,792	5,361	26,80	0	100,00
B	3090,544	5,361	26,26	53,248	101,72
C	3077,436	5,361	25,76	66,356	102,16
D	3067,200	5,361	28,21	76,592	102,50
E	3053,434	5,361	21,22	90,358	102,96
F	3056,993	5,361	23,58	86,799	102,84
G	3046,758	5,361	22,00	97,034	103,18
H	3032,991	5,361	19,66	110,801	103,65
A Hybrid	3143,792	5,361	26,45	0	100,00
B Hybrid	3090,544	5,361	23,25	53,248	101,72
C Hybrid	3077,436	5,361	23,10	66,356	102,16
D Hybrid	3067,200	5,361	22,91	76,592	102,50
E Hybrid	3053,434	5,361	21,39	90,358	102,96
F Hybrid	3056,993	5,361	22,74	86,799	102,84
G Hybrid	3046,758	5,361	22,01	97,034	103,18
H Hybrid	3032,991	5,361	18,33	110,801	103,65

Perhitungan nilai scoring load level adalah sebagaimana pada Pers. 8 berikut:

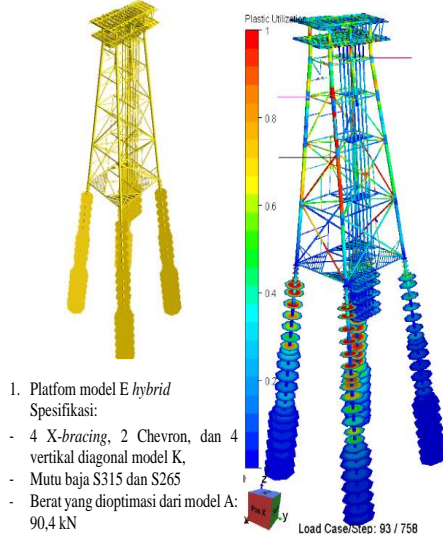
$$\text{Scoring load level} = \text{Rasio berat model A terhadap Model (\%)} + \text{Nilai Redundansi (\%)} \quad (8)$$

Skor optimasi model di plot grafik pada Gambar 9 berikut.

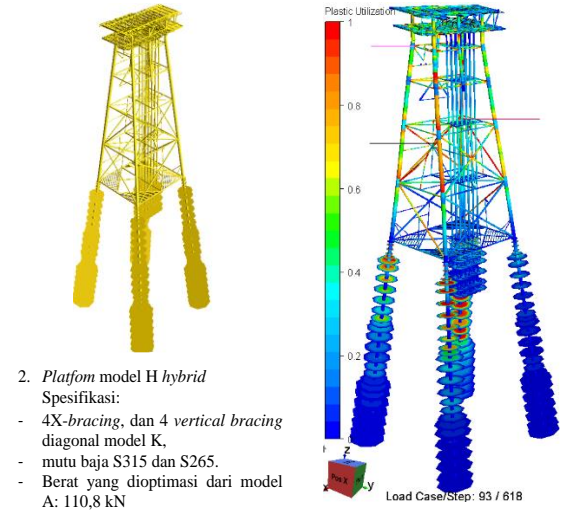


Gambar 9. Scoring optimasi model pada arah meteocean 225°.

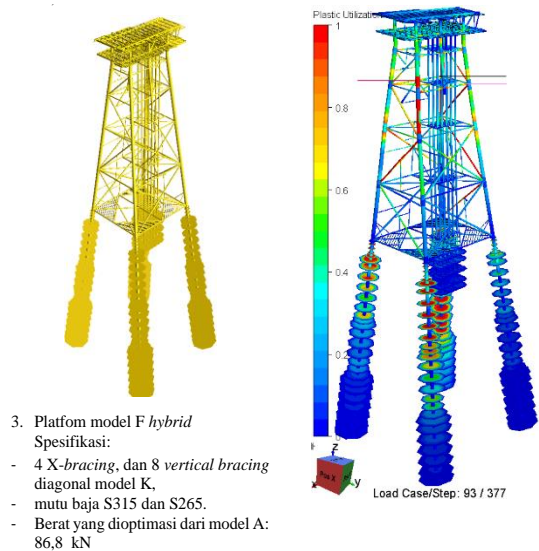
Berdasarkan nilai scoring, konfigurasi struktur jacket lepas pantai sesuai dengan urutan yang paling optimal untuk menghindari mekanisme keruntuhan adalah sebagaimana ditampilkan pada Gambar 10-13 berikut ini:



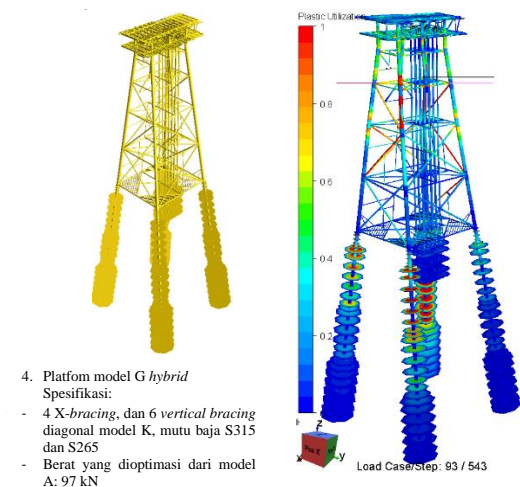
Gambar 10. Model platform optimal –E hybrid



Gambar 11. Model platform optimal –H hybrid



Gambar 12. Model platform optimal –F hybrid



Gambar 13. Model platform optimal –G hybrid

5. KESIMPULAN

Konfigurasi alternatif struktur jaket lepas pantai yang efektif dan efisien sesuai dengan urutan yang paling optimal untuk menghindari mekanisme keruntuhan:

- 1) Tinggi gelombang yang menyebabkan leleh pertama komponen dari arah badai 225° dihitung sesuai dengan level beban.
- 2) Platfom model E hybrid, dengan 4 X-bracing, 2 Chevron, dan 4 vertical bracing diagonal model K, mutu baja S315 dan S265; optimum 2,88%; redudansi 198,20%
- 3) Platfom model H hybrid dengan 4X-bracing, dan 4 vertical bracing diagonal model K, mutu baja S315 dan S265; optimum 3,52%; redudansi 162,00%.
- 4) Platfom model F hybrid dengan 4 X-bracing, dan 8 vertical bracing diagonal model K, mutu baja S315 dan S265; optimum 2,77%; redudansi 159,75%.
- 5) Platfom model G hybrid dengan 4 X-bracing, dan 6 vertical bracing diagonal model K, mutu baja S315 dan S265; optimum 3,08%; redudansi 139,25%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] NTS (2010), NORSOK N-001-Integrity of Offshore Structures, Norwegian Technology Standards Institution, Seventh Edition
- [2] ISO-19901-1 Petroleum and Natural Gas Industries – Specific Requirements for Offshore Structures –Part 1: Metocean Design and Operating Considerations, International Standard Organization
- [3] ISO-19902 Petroleum and Natural Gas Industries –Fixed Steel Offshore Structures, International Standard Organization
- [4] ISO-19900 Petroleum and Natural Gas Industries - General Requirements for Offshore Structures, International Standard Organization
- [5] API WSD (2010), Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design, American Petroleum Institute, Washington, DC, USA
- [6] DNV (2011) OS-C101, Design of Offshore Steel Structures, General (LRFD Method), Det Norske Veritas, Oslo, Norway
- [7] DNV (1988), Design Guidance for Offshore Steel Structures Exposed to Accidental Loads, Det Norske Veritas, Oslo, Norway
- [8] DNV (2010) RP-C204, Design against Accidental Loads, Det Norske Veritas, Oslo, Norway
- [9] DNV (2011), SESAM User Manual GeniE, Det Norske Veritas, Oslo, Norway
- [10] DNV (1996), Guideline for Offshore Structural Reliability Analysis: Application to Jacket Platforms, Det Norske Veritas, Oslo, Norway
- [11] DNV (1984), Jacket Handbook, Det Norske Veritas, Oslo, Norway
- [12] USFOS (1999), USFOS User's Manual, SINTEF Marintek and NTNU, Trondheim, Norway
- [13] PSA (2001), Regulations Relating to Design and Outfitting of Facilities etc. in the Petroleum Activities (The Facilities Regulations), Petroleum Safety Authority Norway
- [14] Dawson, T.H. (1983), Offshore Structural Engineering, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA
- [15] Chakrabarti, S.K. (1987), Hydrodynamics of Offshore Structures, Computational Mechanics Publications, Illinois, USA
- [16] Chakrabarti, S.K. (2005), Handbook of Offshore Engineering, Elsevier, Plainfield, New-Jersey, USA, First Edition
- [17] Bai, Y. (2003), Marine Structural Design, Elsevier Sciences Ltd, Oxford
- [18] Mohamed, A. E. (2012), Offshore Structures Design, Construction and maintenance, Elsevier, Oxford
- [19] Bulleit, W.M. (2008), Uncertainty in Structural Engineering-Practice Periodical on Structural Design and Construction, ASCE, vol. 13, pp. 24-30
- [20] Gudmestad, O. T. & Moe, G (1996), Hydrodynamic Coefficients for Calculation of Hydrodynamic Loads on Offshore Truss Structures, Marine Structures, vol 9, pp.745-785
- [21] Skallerud, B. & Amdahl, J. (2002), Nonlinear Analysis of Offshore Structures, Research Studies Press Limited, England
- [22] Jin, W-l et al. (2004), Evaluation of Damage to Offshore Platform Structures due to

- Collision of Large Barge, Engineering Structures, vol.27, pp. 1317–1326
- [23] Amdahl, J. & Johansen, A. (2001), High-Energy Ship Collision with Jacket Legs, 11th Int. Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE-2001, Stavanger, 01-IL-430
- [24] Amdahl, J. & Eberg, E. (1993), Ship Collision with Offshore Structures, Belkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 336 1
- [25] Amdahl, J. (1980), Impact Capacity of Steel Platforms and Tests on Large Deformations on Tubes Under Transverse Loading, DNV Progress Report No.10 on Impacts and Collision Offshore, Report No. 80-0036
- [26] Petroleum Safety Authority Norway <http://www.ptil.no/about-us/category89.html> (Link verified June 10th 2021)
- [27] Standards of Norway <http://www.standard.no/en/Sectors/Petroleum/About-petroleum/> (Link verified June 10th 2021)
- [28] Structural Systems: Offshore <http://www.fgg.uni-lj.si/kmk/esdep/master/wg15a/l0900.htm> (Link verified June 10th 2021)
- [29] Bai, Yong. 2003. Marine Structural Design. Publisher ELSEVIER. Amsterdam
- [30] Teknik Lengkap Geosciences (1990) Soil Investigation Report