

Studi Kekuatan Puncak Struktur *Crane Pedestal* Fpso Belanak Akibat Interaksi Gerakan Dinamis *Cargo* pada *Crane*

Angga S. Pambudi, Eko Budi Djatmiko, dan Wisnu Wardhana¹⁾

Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: ebdjatkiko@oe.its.ac.id

Abstrak—*Crane pedestal* merupakan sarana penunjang aktivitas operasional FPSO Belanak dimana dalam operasinya memperoleh pengaruh signifikan dari beban lingkungan (gelombang dan angin) serta operasionalnya. Konstruksi *crane pedestal* terutama pada *crane pedestal* haruslah kuat menahan beban-beban yang terjadi sampai dengan pada kondisi ekstrem, karena *scantling crane pedestal* merupakan tumpuan struktur *crane*, serta tersambung dengan *hull* FPSO. Oleh karena hal tersebut, kekuatan puncak atau *ultimate strength* dari *scantling crane pedestal* harus dapat ditentukan guna memperoleh prediksi kegagalan akhir atau *ultimate failure*. Dalam penelitian ini, kekuatan puncak *scantling crane pedestal* dikaji secara deterministik dengan perangkat lunak ANSYS, sedangkan keandalan dikaji secara probabilistik dengan simulasi *Monte Carlo*. Pemodelan beban dinamis FPSO akibat gelombang diselesaikan dengan perangkat lunak MOSES dimana titik tinjau analisa dinamis terletak pada *centre of gravity* (COG) *crane pedestal* dan *crane* mengangkat *cargo* dengan massa sebesar 50 ton serta posisi *crane boom* tegak lurus *hull* FPSO. Dari hasil analisa deterministik, nilai tegangan kombinasi ketiga beban ekstrem tersebut adalah sebesar 48.66 Mpa, pada kondisi ini struktur tidak mengalami kegagalan (Pf=0) dengan K=1, sehingga struktur dalam keadaan aman. Karena nilai tegangan maksimum < UTS, maka dilakukan perkalian interval beban hingga nilai tegangan maksimum melebihi nilai UTS. Berdasarkan data material struktur (UTS = 400 MPa), didapatkan keandalan global sebesar K=0.4454 dengan Pf=0.5546, sedangkan berdasarkan pertimbangan desain yaitu berdasarkan *basic utilization factor* $0.8 \times 400 \text{ MPa} = 320 \text{ MPa}$ didapatkan keandalan global K=0.0874 dengan Pf=0.9126, dan untuk nilai keandalan daerah kritis didapatkan sebesar K=0.1014 dengan Pf=0.8964.

Kata kunci—*Scantling Crane Pedestal, Ultimate Strength, Cargo, FPSO, Monte Carlo*.

I. PENDAHULUAN

CRANE *pedestal* merupakan salah satu struktur yang ada pada FPSO yang harus diperhitungkan keandalannya terhadap pengaruh beban. Beban yang mengenai *crane* cukup signifikan, yang secara umum dapat diklarifikasikan menjadi dua jenis, yaitu beban statis dan beban dinamis. Beban statis adalah berat dari *crane* itu sendiri, sedangkan beban dinamis yaitu beban operasional dan beban lingkungan.

Wahyudi pada tahun 2009 telah melakukan penelitian tentang analisis kelelahan *crane pedestal* pada FPSO Belanak dan menghasilkan kesimpulan bahwa beban yang berpengaruh pada analisis *fatigue crane pedestal* adalah beban gelombang, beban angin, dan beban operasi *crane* [1]. Dari kajian tersebut diperoleh bahwa beban gelombang

memiliki pengaruh yang paling besar terhadap umur kelelahan struktur *crane pedestal*. Umur kelelahan dari struktur *crane pedestal* FPSO Belanak dengan panjang model 10.8 m adalah 57.8 tahun. Dalam perancangan struktur, analisis kelelahan saja belum cukup untuk menyimpulkan integritas struktur secara menyeluruh. Hal ini dikarenakan beban-beban yang bekerja pada struktur di lepas pantai, yaitu beban gelombang, angin dan operasional yang menyeluruh menimbulkan kerusakan dalam bentuk keruntuhan atau *ultimate failure*.



Gambar 1. FPSO Belanak yang dioperasikan di blok Natuna (courtesy of Conoco-Philips)

Dengan mempertimbangkan hal di atas, maka pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis *ultimate strength* pada struktur *scantling crane pedestal*. Karena *scantling crane pedestal* merupakan tumpuan struktur *crane*, serta tersambung dengan *hull* FPSO, maka *ultimate strength* pada struktur tersebut harus diperhitungkan. Perhitungan *ultimate strength* dilakukan berdasarkan metode *ultimate strength analysis* yang di tetapkan oleh ABS (American Bureau of Shipping). Parunov [2] menjelaskan bahwa analisis *ultimate strength* menghasilkan suatu informasi mengenai sisa kekuatan pada sebuah struktur setelah mengalami kegagalan. Hasil analisis *ultimate strength*, dapat dijadikan suatu referensi dalam penentuan *safety factor* untuk menekan terjadinya kegagalan struktur.

Salah satu penyebab terjadinya *ultimate strength failure* pada suatu struktur bangunan apung umumnya adalah disebabkan oleh beban ekstrem dan/atau kurangnya daya tahan struktur terhadap degradasi material. misalnya, korosi yang terjadi secara menerus akan mengurangi dimensi *scantling*, sehingga girder penopang pada lambung kapal akan rawan mengalami *buckling* ataupun retak ketika ditimpa beban ekstrem. Beban ekstrem juga dapat menyebabkan

komponen struktur mengalami *plastic deformation* yang menyebabkan struktur tersebut tidak dapat kembali ke bentuk semula. Untuk itu, perlu suatu pertimbangan jangka panjang untuk mengantisipasi adanya degradasi material ketika mendesain sebuah struktur [3].

Dalam penentuan keandalan struktur, ketidakpastian (*uncertainty*) merupakan faktor yang sangat mempengaruhi keandalan. Di dalam suatu sistem rekayasa, sesungguhnya tidak ada parameter perancangan dan kinerja operasi yang dapat diketahui dengan pasti. Hal ini disebabkan adanya ketidakpastian atas suatu kejadian tertentu. Secara garis besar, ketidakpastian dapat dikelompokkan menjadi tiga: a) variabilitas fisik, yaitu fenomena alami yang sifatnya acak atau bervariasi, b) ketidakpastian statistik dalam perkiraan nilai suatu parameter atau pemilihan distribusi, dan c) ketidakpastian dalam pemodelan yang didasarkan pada idealisasi atau pengambilan asumsi [4].

Keandalan struktur secara umum dapat ditentukan dengan beberapa metode, salah satunya adalah Simulasi *Monte Carlo*. Pada metode tersebut, keandalan struktur dinilai berdasarkan indeks keandalan yang didapatkan dari peluang terjadinya kegagalan. Peluang kegagalan dianggap sebagai ukuran yang rasional untuk menentukan keamanan struktur terhadap nilai *ultimate failure*.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Pertama, dilakukan studi literatur dan pengumpulan data yang meliputi mencari serta mempelajari buku, diktat, jurnal, ataupun laporan tugas akhir terdahulu yang membahas pokok permasalahan yang sama atau mirip dengan tugas akhir ini. Literatur tersebut digunakan sebagai acuan ataupun referensi tugas akhir ini. Selain itu, juga dilakukan pencarian mengenai data-data FPSO Belanak sebagai obyek tugas akhir dan juga data lingkungan lokasi operasi FPSO Belanak.

Tabel 1. Data Gelombang *Return Periode* (Conoco, 2002)

Deskripsi Gelombang	H _s (m)	T _p (s)
1tahunan	2.9	9.1
10tahunan	4.1	10.3
100tahunan	5.3	11.1

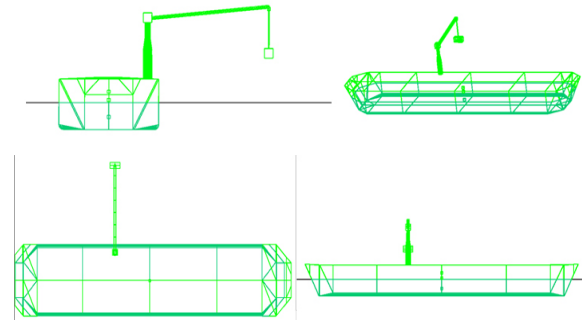
Tabel 2. Data Spesifikasi FPSO Belanak (PT. Mc.Dermott, 2002)

1	LOA	285.0	m
2	Depth	26.0	m
3	Beam	58.0	m
4	Load Line Draft	18.0	m
5	Vessel Draft Full	16.2	m
6	Vessel Draft Medium	14.6	m
7	Vessel Draft Light	13.9	m
8	Displacement	255.000	ton
9	Steel Weight	39.000	ton
10	Dead Weight	175.000	ton
11	Light Weight	79.800	ton
12	Service Life	30	years

B. Pemodelan Geometri FPSO Belanak

Selanjutnya pemodelan geometri FPSO dengan perangkat lunak desain, berupa *lines plan* dan bangunan 3D. Pemodelan

geometri FPSO dengan perangkat lunak desain kapal untuk mendapatkan koordinat-koordinat dari struktur FPSO. Kemudian mengkonversi pemodelan yang dilakukan di perangkat lunak desain kapal ke perangkat lunak untuk menghitung respon dan percepatan gerak selanjutnya dilakukan pembebanan terhadap struktur FPSO Belanak, untuk mencari gaya reaksi dari struktur FPSO secara global akibat beban gelombang yang bekerja pada FPSO Belanak.



Gambar 2. Pemodelan FPSO Belanak kondisi FPSO *light weight*, crane pedestal+cargo

C. Perhitungan Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Crane Pedestal Akibat Beban Lingkungan

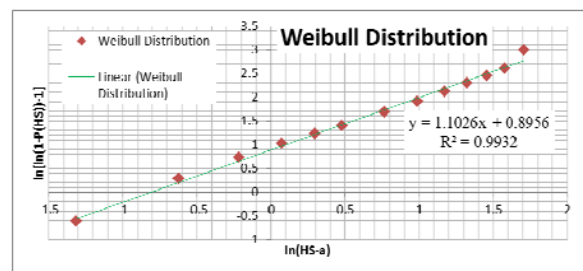
Perhitungan gelombang dilakukan untuk mendapatkan periode ulang gelombang atau *return period* untuk 1tahunan, 10tahunan, dan 100tahunan. Sebelum mencari gelombang *return period*, terlebih dahulu mencari distribusi gelombang kurun waktu panjang [*long-term wave analysis* (LTWA)].

Tabel 2. Perhitungan Nilai untuk Kurva Dist. Weibull

Wave Class	H max (m)	HS (m)	Number of Cycles	Cumulative Σ	P(HS)	ln(HS-a)	ln[ln(1-P(HS))-1]
1	0.5	0.268817204	93350538	93350538	0.416073794	-1.313723668	-0.61993266
2	1	0.537634409	71519354	164869892	0.734843558	-0.620576488	0.28324872
3	1.5	0.806451613	31774805	196644697	0.87646742	-0.21511138	0.73776214
4	2	1.075268817	13717908	210362605	0.937609671	0.072570693	1.020414682
5	2.5	1.344086022	6707238	217069843	0.967504581	0.295714244	1.231584904
6	3	1.612903226	3461658	220531501	0.982933578	0.478035801	1.40380082
7	4	2.150537634	2802540	223334041	0.995424813	0.765717873	1.684008618
8	5	2.688172043	772997	224107038	0.998870147	0.988861425	1.914812657
9	6	3.225806452	197245	224304283	0.99974929	1.171182982	2.115196208
10	7	3.76344086	45165	224349448	0.999950595	1.325333661	2.294095339
11	8	4.301075269	9160	224358608	0.999991422	1.458865054	2.456708061
12	9	4.838709677	1643	224360251	0.999998745	1.57664809	2.609233589
13	10.25	5.510752688	281	224360532	0.999999998	1.706701218	2.991820231

Tabel diatas dijadikan grafik distribusi Weibull. Lalu dicari *trendline* dari grafik distribusi Weibull tersebut sesuai dengan gambar 3 yaitu:

$$y = 1,1026x + 0,8956$$



Gambar 3. Grafik Distribusi Weibull

Persamaan *trend line* tersebut digunakan untuk mencari nilai $\ln(H-a)$ pada saat mencari periode ulang gelombang seperti yang ditunjukkan oleh tabel 3.

Tabel 3. Gelombang *Return Period*

Return Period year(s)	P(HS)	$\ln[\ln(1-P(HS))^{-1}]$	$\ln(Hs-a)$	HS (m)
1	0.999658	2.076855563	1.074414148	2.93
10	0.999966	2.330387401	1.304897637	3.69
100	0.999997	2.532466620	1.488606018	4.43

Perhitungan beban angin terlebih dahulu dicari kecepatan angin pada elevasi yang diinginkan.

Tabel 4. Kecepatan Angin pada Tiap Elevasi

velocity	Velocity on elevation (m/s)		
	Height (m)		
	26.6	33.4	41.4
	6.95	7.18	7.41

Kemudian dicari gaya angin.

Tabel 5. Besarnya Gaya Angin Untuk Tiap Elevasi

wind force	wind force on elevation (N)		
	Height (m)		
	26.6	33.4	41.4
	788.521	1056.635	835.553

Kemudian dicari momen akibat gaya angin pada struktur *pedestal*.

Tabel 6. Momen Pada Tiap Elevasi.

force moment	wind force moment on elevation (N.m)		
	Height (m)		
	9.0	15.8	23.8
	7096.69	16694.84	19886.17

Defleksi dari struktur *crane* diabaikan. Dari beban angkat *crane*, dicari gaya dan momen pada bagian sambungan *crane pedestal* dengan *hull FPSO*.

Tabel 7. Beban *Crane*

Load (T)	W (KN)
5	49.1
10	98.2
20	196.4
30	294.6
40	392.8
50	491.0

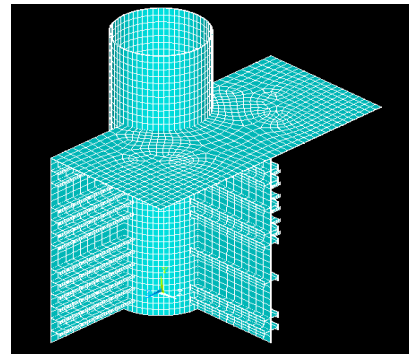
Setelah didapat gaya dari beban angkat *crane*, dicari momen yang ditimbulkan oleh beban operasi *crane*. Hasilnya adalah:

Tabel 8. Momen Akibat Beban Operasional *Crane*

Load (T)	Moment at		
	14.4m RAD	38.4m RAD	62.4m RAD
5	707.0	1885.4	3063.8
10	1414.1	3770.9	6127.7
20	2828.2	7541.8	12255.4
30	4242.2	11312.6	18383.0
40	5656.3	15083.5	24510.7
50	7070.4	18854.4	-

Validasi hasil perhitungan dengan data penelitian sebelum ini. Kemudian memodelkan secara lokal *crane pedestal* dengan perangkat lunak berbasis elemen hingga untuk meninjau respon *crane pedestal* akibat beban inersia akibat beban angin dan beban operasional dan kemudian dilakukan perhitungan analisis tegangan (*stress analysis*).

Setelah didapat *stress* dari gaya atau beban-beban yang berpengaruh dilakukan perhitungan *ultimate strength* (gambar 4). Dan kemudian dilakukan perhitungan keandalan struktur *scantling crane pedestal* terhadap beban ekstrem. Setelah didapatkan nilai keandalan, maka dilakukan pengambilan kesimpulan dari tugas akhir ini.

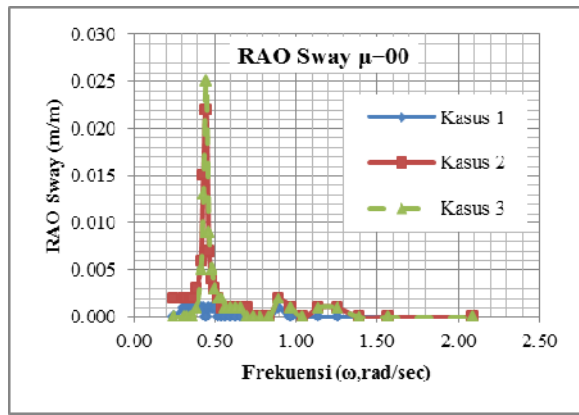


Gambar 4. Pemodelan dengan Perangkat Lunak Berbasis Elemen Hingga

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan *Motion FPSO*

Perhitungan beban gelombang dilakukan untuk mendapatkan, *single amplitude accelerations*, *wave drift force*, dan *RAO motion* dari *FPSO* untuk arah 0° , 45° , 90° , 135° dan 180° dalam gerak *surge*, *heave*, *sway*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Perhitungan dilakukan pada kondisi *Vessel Draft Full* yaitu dengan *draft* 16.2m. Periode gelombangnya adalah 31 s.d. 4detik dengan *interval* 0,5detik. Kondisi gelombang yang digunakan adalah gelombang *return period* 100tahunan.



Gambar 5. Grafik RAO Motion FPSO Belanak $\mu = 180^\circ$

B. Analisa Lokal Pada Scantling Crane Pedestal FPSO Belanak Dengan Perangkat Lunak Berbasis Elemen Hingga.

Untuk mendapatkan nilai stress dilakukan dengan menggunakan software perangkat lunak berbasis elemen hingga dengan memasukkan parameter beban antara lain:

1. Momen *bending* akibat barang yang diangkat.
2. Momen dari inerti *angular acceleration*.
3. *Self weight crane pedestal*.

Hasil analisis dengan ANSYS menunjukkan, tegangan (*stress*) yang terjadi akibat pembebanan aktual combine load; gelombang, angin, dan operasional, didapatkan nilai tegangan maksimum yang terjadi adalah **48.66 MPa**. Daerah pada stress maksimum merupakan *hotspot stress*. *Stress* yang ditampilkan dan digunakan untuk analisis adalah *Von Misses*.

C. Analisa Ultimate Strength.

Untuk mengetahui kekuatan *ultimate* struktur terhadap beban yang bekerja maka dilakukan pembebanan sampai struktur tersebut mengalami tegangan melewati nilai UTS, yaitu **400 MPa**.

Pada pembebanan aktual combine load; gelombang, angin, dan operasional, didapatkan nilai tegangan maksimum yang terjadi adalah **48.66 MPa**.

ABS [5] menyatakan nilai *basic utilization factor* untuk kondisi lingkungan ekstrem adalah 0.8. Seperti ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. *Basic utilization factor*

Load Condition	Environmental Events	Basic Utilization Factors
Loadout	Calm	0.6
Ocean Transit	10-year-return storm for the selected route condition (Owner specified)	0.8
Field Transit	1-year-return storm for the selected route condition (Owner specified)	0.8
Deck Installation	Calm	0.6
In-place Design Operating	1-year-return storm (minimum)	0.6
In-place Design Environmental	100-year-return storm at specified site	0.8
In-place Damage	1-year-return storm	0.8

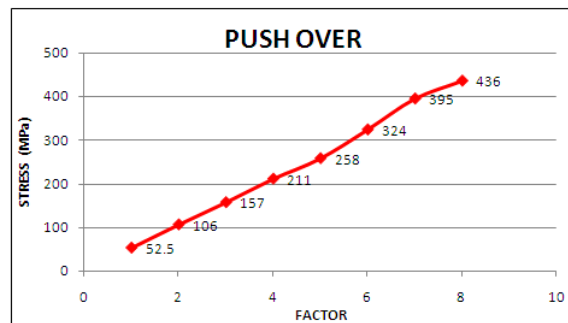
Untuk mengetahui nilai beban puncak (*ultimate load*) yang mampu diterima struktur maka beban dinaikkan bertahap hingga struktur mengalami kegagalan, yaitu melewati nilai UTS.

Pada saat beban dinaikkan **3kali** dari nilai actual combine load, tegangan maksimum yang dialami struktur adalah **146.69 MPa** atau dengan kata lain masih belum mencapai nilai UTS. Tegangan maksimum baru melewati nilai UTS pada saat pembebanan dinaikkan **9kali** dari combine load actual, nilai tegangan maksimum yang terjadi adalah **440.08 MPa**. Nilai peningkatan beban dan tegangan maksimum yang terjadi dapat kita lihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Increment Load dan Tegangan Maksimum.

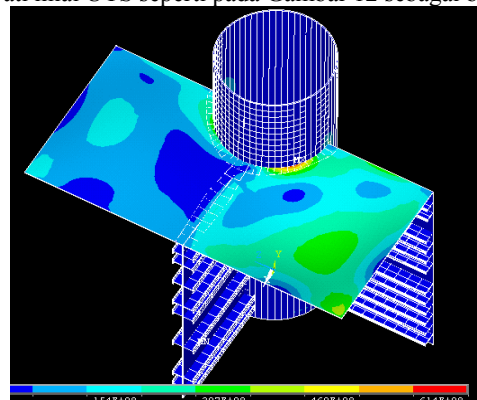
Faktor	σ_{max} (MPa)
1	48.66
2	97.80
3	146.69
4	195.59
5	244.49
6	293.39
7	342.29
8	391.19
9	440.08

Dari Tabel 10 di atas didapatkan grafik *push over* sebagai berikut:



Gambar 6. Grafik analisa *push over* dengan variasi beban.

Jadi struktur mampu menahan beban sebesar **8kali dari beban aktual yang bekerja**. Hasil pemodelan menggunakan software ANSYS pada saat tegangan maksimal yang terjadi melewati nilai UTS seperti pada Gambar 12 sebagai berikut:



Gambar 7. Hasil running perangkat lunak berbasis elemen hingga saat *ultimate load*.

D. Perhitungan Keandalan.

Perhitungan keandalan dilakukan dengan menggunakan metode Simulasi Monte Carlo, dengan moda kegagalan sesuai persamaan (18) sebagai berikut:

$$MK = \sigma_{ult} - \sigma_{act}$$

Struktur akan gagal jika nilai $MK < 0$, sebaliknya struktur dikatakan sukses apabila $MK > 0$. Nilai L (Load) yang bekerja merupakan beban lingkungan yaitu beban gelombang dan beban angin serta beban operasional. Sedangkan nilai R (Resistance) merupakan UTS dikalikan *utilization factor* yang diberikan oleh ABS [5].

Variabel-variabel yang berpengaruh terhadap keandalan struktur adalah σ_{ult} (tegangan ultimate) dan σ_{act} (tegangan actual). Kemudian dari variabel tersebut ditentukan untuk variabel acak (random) dan variabel pasti (deterministik) serta standard deviasi pada variabel random. Standard deviasi (σ) ditentukan sebesar 10%.

- Variabel acak = σ_{act}
- Variabel pasti = σ_{ult} (400 MPa dan 320 MPa)

Simulasi Monte Carlo dilakukan dengan tabulasi agar lebih mudah seperti terdapat pada Lampiran. Untuk memperoleh hasil yang akurat, maka simulasi dilakukan sebanyak **5000kali**. Untuk menentukan akurasi dari jumlah simulasi, maka dilakukan pencatatan nilai Pof pada setiap jumlah tertentu sehingga didapatkan nilai Pof yang cenderung konstan. Perhitungan keandalan dilakukan pada setiap variasi beban yang mengenai struktur. Sehingga didapatkan nilai sebagai berikut:

Tabel 11. Nilai keandalan dan peluang kegagalan.

Faktor	σ_{max} (MPa)	UTS 400 Mpa		UTS 320 Mpa	
		K	Pf	K	Pf
1	48.66	1.0	0	1.0	0
2	97.80	1.0	0	1.0	0
3	146.69	1.0	0	1.0	0
4	195.59	1.0	0	1.0	0
5	244.49	1.0	0	1.0	0
6	293.39	1.0	0	1.0	0
7	342.29	1.0	0	0.4454	0.5546
8	391.19	0.5612	0.4388	-	-
9	440.08	0.0874	0.9126	-	-

Dari tabel tersebut terlihat bahwa berdasarkan data material struktur (UTS = 400 MPa), struktur masih mampu menahan beban sebesar sampai 395 MPa atau 7x dari beban aktual yang bekerja dan pada pembebanan tersebut struktur masih dikatakan andal. Struktur mengalami kegagalan saat struktur diberi beban sebesar 436 MPa (> UTS = 400 MPa) atau sebesar 8x dari beban aktual yang bekerja untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 12. Nilai Keandalan Global (UTS = 400 Mpa)

σ_{max} (MPa)	$\Sigma data$	$\Sigma success$	$\Sigma fail$	Pf	K
48.66	5000	5000	0	0	1.0
97.80	5000	5000	0	0	1.0
146.69	5000	5000	0	0	1.0
195.59	5000	5000	0	0	1.0
244.49	5000	5000	0	0	1.0
293.39	5000	5000	0	0	1.0
342.29	5000	5000	0	0	1.0
391.19	5000	2806	2194	0.4388	0.5612
440.08	5000	437	4563	0.9126	0.0874

Bila ditinjau berdasarkan pertimbangan desain yaitu berdasarkan *basic utilization factor* $0.8 \times 400 \text{ MPa} = \mathbf{320 \text{ MPa}}$, didapatkan bahwa struktur masih mampu menahan beban sebesar sampai 258 MPa atau 4kali dari beban aktual yang bekerja dan pada pembebanan tersebut struktur masih dikatakan andal. Struktur mengalami kegagalan saat struktur diberi beban sebesar 324 MPa (> UTS = 320 MPa) atau sebesar 6kali dari beban aktual yang bekerja untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 13. Nilai Keandalan Global (UTS = 320 Mpa)

σ_{max} (MPa)	$\Sigma data$	$\Sigma success$	$\Sigma fail$	Pf	K
48.66	5000	5000	0	0	1
97.80	5000	5000	0	0	1
146.69	5000	5000	0	0	1
195.59	5000	5000	0	0	1
244.49	5000	5000	0	0	1
293.39	5000	5000	0	0	1
342.29	5000	2227	2773	0.5546	0.4454

Maka keandalan global *Scantling Crane Pedestal FPSO Belanak* terhadap beban ekstrem berdasarkan nilai UTS 400 MPa adalah sebesar **0.0874** dengan peluang kegagalan sebesar **0.9126**. Sedangkan, keandalan global *Scantling Crane Pedestal FPSO Belanak* terhadap beban ekstrem berdasarkan nilai UTS 320 MPa adalah sebesar **0.4454** dengan peluang kegagalan sebesar **0.5546**.

Setelah didapatkan nilai keandalan secara global, kemudian kita tinjau nilai keandalan pada daerah kritis dan di dapatkan nilai sebagai berikut:

Tabel 14. Nilai Keandalan daerah Kritis.

$\Sigma data$	$\Sigma success$	$\Sigma fail$	Pf	K
10	0	10	1.0000	0.0000
100	12	88	0.8800	0.1200
200	24	176	0.8800	0.1200
300	36	264	0.8800	0.1200
400	43	357	0.8925	0.1075
500	55	445	0.8900	0.1100
1000	103	897	0.8970	0.1030
2000	204	1796	0.8980	0.1020
3000	303	2697	0.8990	0.1010
4000	407	3593	0.8983	0.1018
5000	507	4493	0.8986	0.1014

Maka keandalan daerah kritis pada *Scantling Crane Pedestal FPSO Belanak* sebesar **0.1014** dengan peluang kegagalan sebesar **0.8986**.

IV. KESIMPULAN

Dari kajian keandalan *scantling crane pedestal* FPSO Belanak terhadap beban ekstrem dengan menggunakan metode, perangkat dan pemodelan sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya dapat diambil kesimpulan bahwa respon pada *crane pedestal* saat diberi beban kondisi ekstrem berupa beban gelombang, beban angin dan beban operasional adalah mengalami tegangan maksimum sebesar 48.66 MPa dengan daerah kritis terdapat pada sambungan antara *pedestal* dan *hull* FPSO. Pada kondisi ini struktur tidak mengalami kegagalan karena nilai tegangan yang terjadi \ll nilai UTS dan saat dilakukan analisa keandalan dengan simulasi *Monte Carlo*, keandalannya adalah $K=1.0$, hasil ini menunjukkan struktur akan aman bila dioperasikan pada kondisi ekstrem. Struktur *scantling crane pedestal* FPSO Belanak akan mengalami keruntuhan saat struktur tersebut diberi beban melebihi nilai *ultimate tensile strength* (UTS) dengan nilai kegagalan puncak *ultimate failure* pada *scantling crane pedestal* akibat respon ekstrem berdasarkan data material struktur (UTS = 400 MPa) adalah sebesar 444 Mpa. Sedangkan berdasarkan criteria ABS (UTS = 320 MPa) adalah sebesar 330 MPa. Berdasarkan hasil analisa dengan *software* ANSYS struktur *scantling crane pedestal* FPSO Belanak mengalami mode keruntuhan berupa deformasi plastis. Keandalan struktur *scantling crane pedestal* berdasarkan nilai UTS 400 MPa adalah sebesar **0.0874** dengan peluang kegagalan sebesar **0.9126**. Sedangkan, keandalan global *Scantling Crane Pedestal FPSO Belanak* terhadap beban ekstrem berdasarkan nilai UTS 320 MPa (kriteria ABS) adalah sebesar **0.4454** dengan peluang kegagalan sebesar **0.5546**.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. A. N. Wahyudi, "Analisis Fatigue pada *Crane Pedestal Floating Production Storage And Offloading (FPSO)* Belanak", Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya (2009).
- [2] Josko Parunov, *Hydrodynamic and Structural Analysis of FPSO Ship*, Croatia: Phrlps (2007).
- [3] Bilal M. Ayyub dan Gilberto F. M de Souza (2000). Reliability-Based Methodology for Life Prediction of Ship Structures [Online]. Available: <http://www.shipstructure.org/pdf/2000symp02.pdf>.
- [4] H. S. Ang dan W. H. Tang, *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*, New York: John Wiley (1985).
- [5] *Guide for Buckling and Ultimate Strength Assessment for Offshore Structures*, American Bureau of Shipping, New York (2004).