



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Kekuatan Struktur *Chain Stopper* Pada *Spread Mooring* Terhadap Kapal *Floating Storage And Offloading (FSO)* Di Perairan Lepas Pantai Natuna Indonesia

Daryl Fabya¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki¹⁾, Hartono Yudo¹⁾

¹⁾Laboratorium Konstruksi

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

e-mail : darylfabya1997@gmail.com, Ahmadfzakki@yahoo.com, hartono.yudo@yahoo.com

Abstrak

Floating Storage and Offloading (FSO) adalah fasilitas terapung untuk produksi dan penyimpanan sementara minyak dan gas bumi berbentuk kapal yang secara permanen ditambatkan di lokasi operasi. *Chain Stopper* merupakan peralatan mooring system yang digunakan untuk mengunci dan menahan mooring line tension agar rantai mooring tidak terulur sehingga kapal FSO dapat tertambat dengan stabil. Tugas akhir ini melakukan analisa kekuatan chain stopper terhadap mooring line tension maksimum untuk kondisi intact dan damage. Analisa kekuatan chain stopper menggunakan software berbasis analisa struktur. Hasil penelitian yang dilakukan terhadap chain stopper pada FSO Barakuda, dapat diambil kesimpulan bahwa tegangan maksimum struktur chain stopper saat intact condition adalah sebesar 173,35 MPa dengan pembebanan total sebesar $4,16 \times 10^6$ N dari gaya tarik mooring line terbesar pada saat intact condition, sedangkan tegangan maksimum struktur chain stopper saat damage condition adalah sebesar 245,46 MPa dengan pembebanan total sebesar $5,89 \times 10^6$ N dari gaya tarik mooring line terbesar pada saat damage condition. Dengan nilai safety factor untuk intact dan damage condition masing-masing adalah sebesar 2,048 dan 1,446 yang menunjukkan bahwa chain stopper aman untuk beroperasi.

Kata Kunci : *Chain Stopper, Spread Mooring, Floating Storage And Offloading, Stress*

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Natuna memiliki sumber daya hidrokarbon terbesar dikawasan Asia Pasifik yang mencapai 298,81 juta barel minyak, sedangkan cadangan gas bumi mencapai 222 triliun kaki kubik (TCT).

Untuk mengeksplor cadangan hidrokarbon yang tersebar dibanyak titik, maka dibutuhkan suatu struktur apung yang bersifat *mobile unit*.

Floating, Storage, and Offloading (FSO) merupakan struktur apung atau kapal yang dapat digunakan untuk kegiatan eksplorasi hidrokarbon di lepas pantai. Struktur terapung (*floating structures*) memiliki kelebihan dibandingkan dengan struktur terpancang yakni dinilai lebih ekonomis sebab tidak memerlukan struktur baru dan dapat dimanfaatkan kembali ketika masa

eksplorasi telah selesai serta berbasis teknologi *Mobile Offshore Production Unit (MOPU)*.

Selama beroperasi Kapal FSO mengalami gerakan pada kondisi tertentu yang dipengaruhi oleh beban lingkungan yakni berupa gelombang laut, arus dan angin sehingga diperlukan analisa dan perhitungan mengenai besaran pergerakan kapal FSO. Untuk menjaga kapal FSO agar tetap pada posisinya, maka dibutuhkan sistem tambat (*mooring System*) yang berguna sebagai pengikat kapal FSO.[1]

Sistem tambat (*mooring System*) adalah salah satu teknologi untuk meredam pergerakan struktur apung yang ditambat karena bersifat mampu bergerak bebas meskipun bergerah sesuai arah beban lingkungan namun tetap tertambat pada tali tambat (*mooring line*) untuk membantu proses *weathervaning* sehingga kegiatan operasi berjalan dengan aman.

Gerakan dari kapal FSO pada *mooring system* menyebabkan adanya gaya yang bekerja berupa *tension force*, *restoring force* dan *damping*. Gaya yang terjadi pada *mooring system* bergantung pada karakteristik *motion* kapal FSO.

Berdasarkan penelitian sebelumnya pada kapal didapat nilai tegangan maksimum pada *chain hooke* sebesar 125 MPa. Tegangan maksimum tersebut tidak melampaui *yield strength*-nya yaitu sebesar 758 MPa, dengan *safety factor* sebesar 6,06.[2] Dan dipenelitian lain, Tegangan maksimum yang terjadi pada *chain stopper* sebesar 328,69 saat kondisi *intact* dengan *safety factor* sebesar 1,78, sedangkan pada kondisi *damage* tegangan maksimum yang terjadi pada *chain stopper* sebesar 463,53 dengan *safety factor* sebesar 1,26. [3] Analisa juga menunjukkan pada penelitian sebelumnya nilai *maximum line tension* pada kondisi *intact* sebesar 4095,42 kN dan kondisi *damage* sebesar 5787,96 kN dengan *safety factor* pada kondisi *intact* sebesar 1,91 dan kondisi *damage* sebesar 1,35. [4]

Dalam kesempatan kali ini peneliti ingin melakukan penelitian terhadap kekuatan *chain stopper* yang digunakan pada *spread mooring system* untuk mengetahui besarnya nilai tegangan maksimum yang terjadi pada *chain stopper* yang didapat akibat beban lingkungan pada kondisi tertambat saat nilai *line tension* maksimum. Tujuannya untuk mendapatkan nilai *safety factor* berdasarkan nilai tegangan maksimum yang sesuai dengan *design criteria*.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Analisa kekuatan struktur *chain stopper* dilakukan pada kapal FSO Barakuda yang merupakan bagian dari Belida FSO *project* yang berlokasi di *South Natuna Sea – Block B*

Tabel 1. Data Kapal FSO Barakuda

PRINCIPAL PARTICULARS		
LENGTH O.A	244,60	m
LENGTH B.P	233,00	m
BREADTH (MOULD)	42,00	m
DEPTH (MOULD)	22,20	m
DRAFT(SCANTLING)	15,50	m
DRAFT (DESIGNED)	14,90	m
BLOCK COFF (CB)	~0,826	

Tabel 2. Data lingkungan 100 tahun RP *conditions*

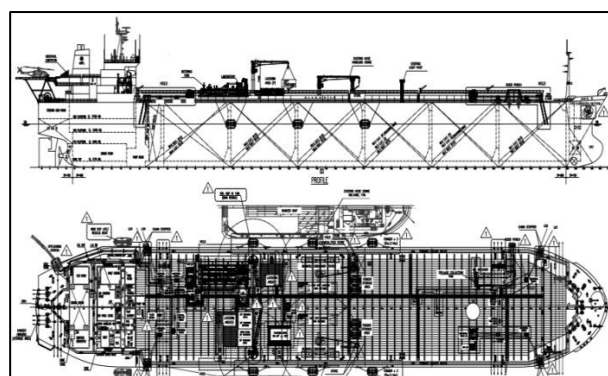
-	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Dir	-	225	180	135	90	45	0	315	270
Vw	m/s	20	20	12	11	14	14	14	14
Hs	m	4,5	5	2,3	2	2,3	2,3	3	3,3
Tp	s	10	10,3	8,7	8,6	8,7	8,7	9,2	9,3
Tz	s	7,5	7,7	6,5	6,4	6,5	6,5	6,8	6,9
Hmax	m	8,2	9,2	4,1	3,7	4,1	4,1	5,5	5,9
Tmax	s	9,2	9,5	8	7,9	8	8	8,4	8,6
Vc1	m/s	0,95	1,05	0,95	0,74	0,74	0,89	1	0,89
Vc2	m/s	0,71	0,79	0,71	0,55	0,55	0,67	0,75	0,67
Vc3	m/s	0,49	0,55	0,49	0,38	0,38	0,46	0,52	0,46

Kondisi lingkungan pada periode 100 tahun memiliki nilai Omni terbesar pada arah North East (NE). [5]

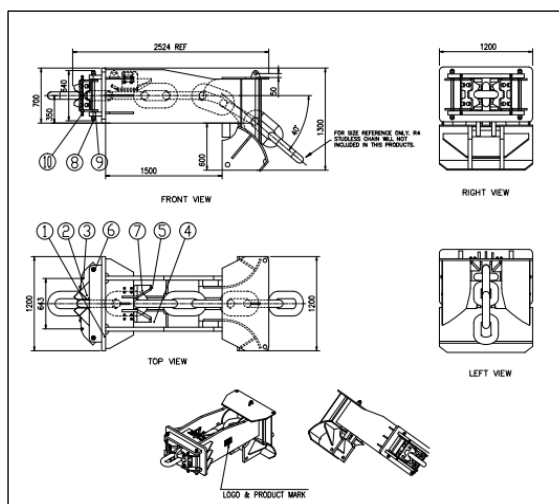
Tabel 3. Data lingkungan 10 tahun RP *conditions*

-	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Dir	-	225	180	135	90	45	0	315	270
Vw	m/s	18	18	11	10	13	13	13	13
Hs	m	4	4,4	2	1,8	2	2	2,6	2,9
Tp	s	9,7	9,9	8,6	8,5	8,6	8,6	9	9,1
Tz	s	7,2	7,4	6,4	6,3	6,4	6,4	6,7	6,8
Hmax	m	7,2	8,1	3,6	3,2	3,6	3,6	4,8	5,2
Tmax	s	8,9	9,2	7,9	7,8	7,9	7,9	8,2	8,4
Vc1	m/s	0,8	0,89	0,8	0,62	0,62	0,76	0,85	0,76
Vc2	m/s	0,62	0,69	0,62	0,48	0,48	0,59	0,66	0,59
Vc3	m/s	0,45	0,5	0,45	0,35	0,35	0,43	0,48	0,43

Kondisi lingkungan pada periode 10 tahun memiliki nilai Omni terbesar pada arah North East (NE). [5]



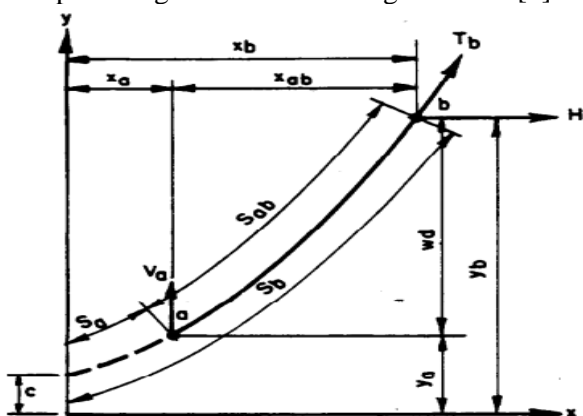
Gambar 1. *General arrangement* kapal FSO



Gambar 2. Chain Stopper Arrangement

2.2. Konfigurasi Mooring Line

Jenis konfigurasi *mooring line* yang digunakan yakni *catenary system* dengan perhitungan matematis sebagai berikut. [6]



Gambar 3. Gambar perhitungan untuk *catenary system*.

$$x_{ab} = c \ln \left[\frac{\frac{V_a}{H} + \frac{S_{ab}}{c} + \sqrt{1 + \left(\frac{V_a}{H} + \frac{S_{ab}}{c}\right)^2}}{\frac{V_a}{H} + \sqrt{1 + \left(\frac{V_a}{H}\right)^2}} \right] \quad (1)$$

$$S_a = \frac{V_a}{w} \quad (2)$$

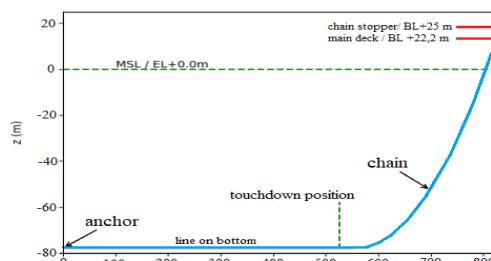
$$S_b = S_a + S_{ab} \quad (3)$$

$$y_b = \sqrt{S_b^2 + c^2} \quad (4)$$

Dimana W adalah berat rantai didalam air dalam Kilogram. S adalah panjang kurva dari titik $(0,c)$ ke titik (x,y) dalam Meter. H adalah Gaya horizontal pada titik (x,y) dalam kN. c adalah jarak dari titik origin ke y -intercept dalam Meter. V adalah gaya vertikal pada titik (x,y) dan T adalah *line tension* pada titik (x,y) dalam kN.

2.3. Catenary System

Sistem tambat *catenary* adalah sistem tambat yang paling umum di perairan dangkal. Melalui gaya gravitasi antara *floating unit* dan dasar laut, akan menunjukkan bentuk khas dari garis gantung bebas. *Catenary* menggantung secara horizontal di dasar laut. Akibatnya panjang *catenary* harus lebih besar dari kedalaman air dan titik jangkar dalam sistem tambat *catenary* dikenakan gaya horizontal. [6]

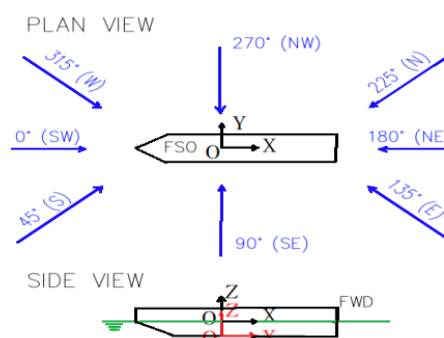


Gambar 4. Mooring Catenary System Pattern

Sistem tambat *catenary* terdiri dari satu atau beberapa jalur individual yang terhubung ke struktur terapung di *fairlead* dan dasar laut di jangkar. Bagian yang tersuspensi dari setiap garis akan membentuk *catenary*, di mana bentuknya tergantung pada berat garis di samping horizontal dan jarak vertikal antara *fairlead* dan jangkar, sehingga hanya jangkar saja dikenakan kekuatan horizontal. [7].

2.4. Coordinat system

Penelitian desain *spread mooring* digunakan delapan koordinat arah beban lingkungan pada kapal dan untuk arah *true origin* pada heading north east (NE). [5]



Gambar 5. *Environmental heading coordinate system*

2.5. Jenis Material Yang Digunakan Pada Chain Stopper

Berikut data material yang digunakan pada penelitian *chain stopper* ini.[8]

Tabel 4. Data material DH36

Properties	Value
<i>Yield Strength</i>	355 MPa
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	490 – 620 Mpa
<i>Elongation</i>	21%

2.6. Lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro di Jalan. Prof. Soedarto SH, Semarang, Jawa Tengah.

2.7. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian

Alat yang digunakan untuk membantu dalam penelitian ini adalah sebuah laptop dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Operating system: Windows 10 64-bit
2. Processor: Intel® Core™ i5-5200U CPU @ 2.20GHz
3. Memory: 4000 MB RAM
VGA: NVIDIA GEFORCE 820M

Sedangkan bahan atau dalam penelitian ini berarti *software* yang digunakan adalah:

1. AutoCAD
2. Static Structural

2.8. Pendekatan Permodelan

Tahapan langkah pembuatan model yang akan dianalisa dijelaskan secara garis besar menjadi sebagai berikut:

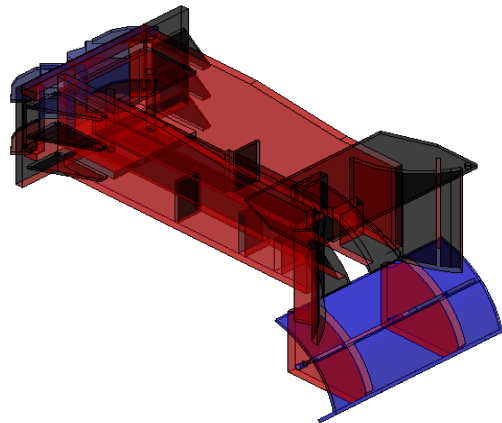
1. Pembuatan model 3 dimensi dengan menggunakan *software* berbasis CAD
2. Import model 3 dimensi ke software basis analisa struktur
3. Analisa kekuatan menggunakan *static structural analysis*
4. Output yang diperoleh yakni nilai Tegangan maksimum pada struktur *chain stopper*
5. Melakukan perhitungan *safety factor* dari hasil tegangan maksimum yang diperoleh

sesuai dengan data material yang digunakan yakni DH36

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Permodelan Chain Stopper

Dengan menggunakan *software* permodelan CAD, *Chain Stopper* dimodelkan dalam model 3 dimensi.



Gambar 6. Model 3D *chain stopper* kapal FSO

Setelah dilakukan permodelan dilakukan komparasi dengan data ukuran pada *chain stopper arrangement* untuk mengetahui model *chain stopper* apakah telah sesuai sehingga dapat dilakukan analisa pada tahap selanjutnya.

3.2. Gaya Tarik Rantai Mooring Terhadap Chain Stopper

Berdasarkan data lingkungan dari perairan lepas pantai Natuna Indonesia, telah didapatkan data gaya tarik *mooring line* terbesar yang selanjutnya akan dibebankan pada *chain stopper* untuk mengetahui tegangan maksimum dan *safety factor* struktur *chain stopper* apakah sudah memenuhi syarat keamanan untuk digunakan pada kapal FSO.

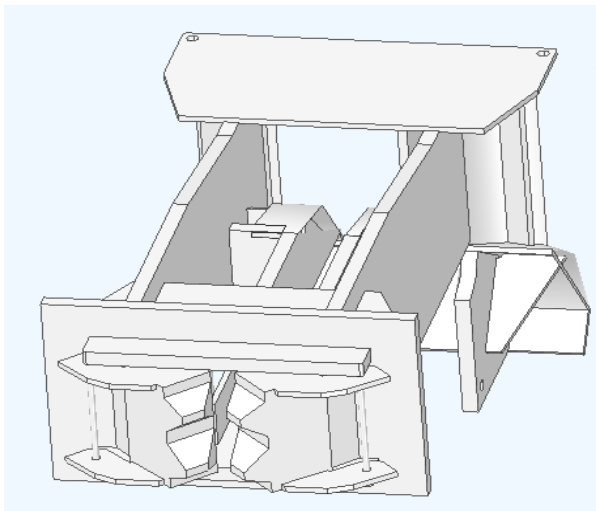
Tabel 5. Data gaya tarik *mooring line*

Environment	Draft	Intact (kN)	Damage (kN)
Storm (100 year RP)	BALL	4161,7	5892,7
Storm (100 year RP)	FULL	3933,7	5863,6
Operating (10 year RP)	BALL	3464,6	4926,4
Operating (10 year RP)	FULL	2993,5	4792,2
Offloading (10 year RP)	BALL	3472,9	5030,0
Offloading (10 year RP)	FULL	3136,8	4863,0

Pada tabel gaya tarik *mooring line* tersebut menunjukkan pada saat *storm* (100 year RP) dengan *draft* pada posisi *ballast condition* terjadi gaya tarik *mooring line* terbesar untuk *intact condition* dan *damage condition* yakni 4161,7 kN untuk *intact condition* dan 5892,7 kN untuk *damage condition*.

3.3. Konversi data

Permodelan struktur *chain stopper* dalam bentuk file DWG (CAD) telah dibuat berdasarkan dimensi dari data ukuran asli *chain stopper arrangement*. Karena hal tersebut maka diperlukan pengonversian model 3D CAD *chain stopper* yang telah ada ke file IGES sebagai input geometri untuk analisa Struktur statis

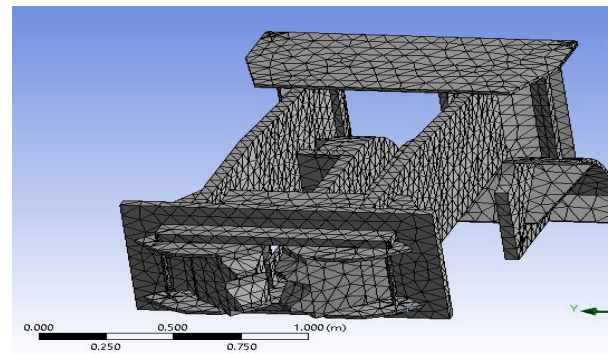


Gambar 7. Model struktur *chain stopper*

Setelah import IGES *file* model 3D *chain stopper* ke *geometry* dilakukan *input* geometri ke *static structural project* untuk selanjutnya dilakukan analisa kekuatan.

3.4. Meshing

Sebelum melakukan proses simulasi, geometri/benda terlebih dahulu dilakukan proses *meshing*. Dimana proses *meshing* ini adalah membagi geometri ini menjadi bagian-bagian kecil yang akan membentuk geometri benda. Semakin kecil ukuran *meshing* yang terbentuk maka akan semakin mendekati nilai sebenarnya, akan tetapi membuat proses penyelesaian/*solving* akan menjadi semakin lama.



Gambar 8. Hasil *running meshing* pada model *chain stopper*

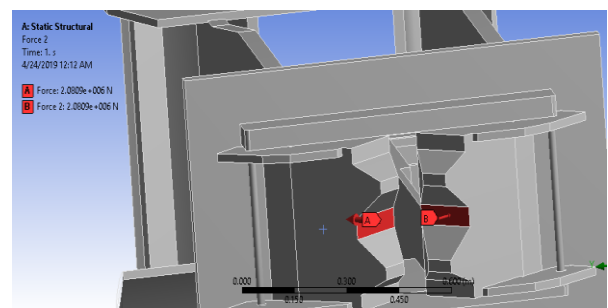
Meshing yang telah dilakukan menghasilkan jumlah *nodes* sebanyak 30897 dan *elements* sebanyak 15429.

3.5. Pembebanan Pada Struktur Chain Stopper

Selanjutnya dilakukan pemberian *fixed support* dan beban (*loading*) pada *chain stopper* dengan gaya tarik *mooring line* untuk kondisi *intact* dan *damage* (*static structural*). Dua skenario analisis dilakukan berdasarkan beban gaya tarik *mooring line* terbesar untuk kondisi *intact* dan *damage* sebagaimana berikut:

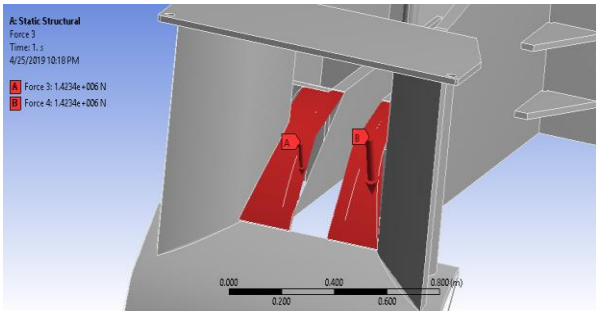
Tabel.6 Hasil pembebanan maksimum

Kondisi	Gaya Tarik Maksimum (N)
<i>Intact</i>	$4,16 \times 10^6$ N
<i>Damage</i>	$5,89 \times 10^6$ N



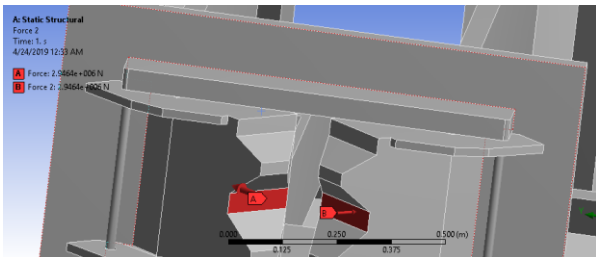
Gambar 9. Area *force* pada *stopper* saat *intact condition*

Pembebanan pada *stopper* untuk kondisi *intact* terbagi pada 2 area kontak sehingga gaya tarik *mooring line* dibagi dua menjadi $2,08 \times 10^6$ N untuk tiap *force area*.



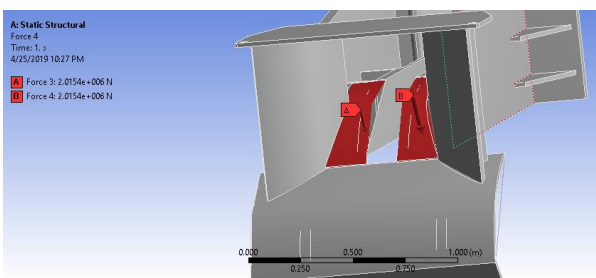
Gambar 10. Area force pada bidang tekuk rantai saat *intact condition*

Nilai pembebanan pada bidang tekuk rantai untuk kondisi *intact* didapat dengan menggunakan resultan vektor gaya yang terbagi oleh sudut tekuk dimana nilai sudut tekuk rantai adalah 140° , sehingga gaya tekan pada bidang tekuk adalah $2,85 \times 10^6$ N yang terbagi pada 2 area kontak sehingga tiap area kontak mendapatkan pembebanan sebesar $1,42 \times 10^6$ N.



Gambar 11. Area force pada *chain stopper* saat *damage condition*

Pembebanan pada *chain stopper* untuk kondisi *damage* terbagi pada 2 area kontak sehingga gaya tarik *mooring line* dibagi dua menjadi $2,95 \times 10^6$ N untuk tiap *force area*.



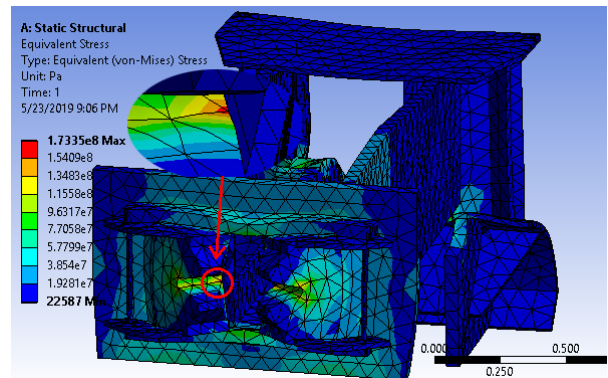
Gambar 12. Area force pada bidang tekuk rantai saat *damage condition*

Nilai pembebanan pada bidang tekuk rantai untuk kondisi *damage* didapat dengan menggunakan resultan vektor gaya yang terbagi oleh sudut tekuk dimana nilai sudut tekuk rantai adalah 140° , sehingga gaya tekan pada bidang tekuk adalah $4,03 \times 10^6$ N yang terbagi pada 2 area kontak sehingga tiap area kontak mendapatkan pembebanan sebesar $2,02 \times 10^6$ N.

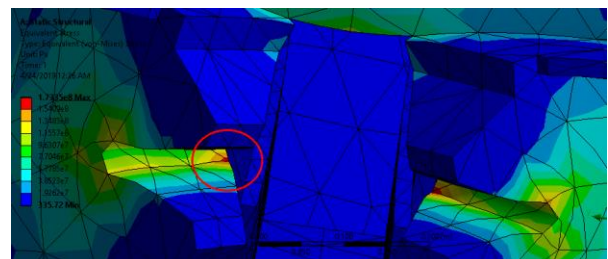
Jenis material struktur *chain stopper* yang digunakan adalah ABS DH36 dengan *yield strength* sebesar 355 MPa sehingga hasil tegangan dari dua skenario analisis harus lebih kecil dari tegangan izinnnya sebagaimana pada Tabel 4.

3.6. Hasil Analisa Kekuatan

Penentuan *fixed support* dan pemberian beban pada struktur *chain stopper* untuk dua kondisi yakni *intact* dan *damage* dilakukan *running strength analysis* untuk mendapatkan tegangan maksimum pada struktur *chain stopper*.

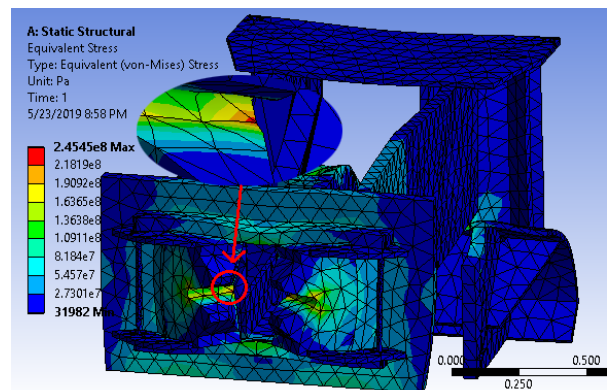


Gambar 13. Hasil *running* tegangan Von Mises (Pa) – *intact condition*

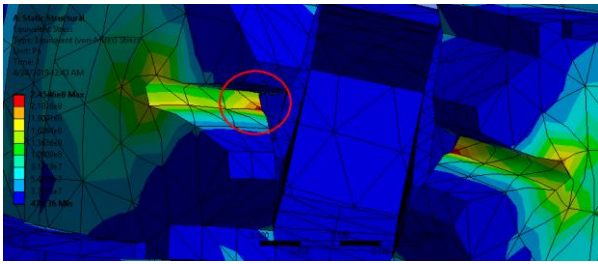


Gambar 14. Hasil *running* tegangan Von Mises (Pa) tampak detail – *intact condition*

Hasil *running* tegangan von mises pada *intact condition* saat terjadi gaya tarik *mooring line* terbesar didapat tegangan maksimum sebesar 173,35 MPa.



Gambar 15. Hasil *running* tegangan Von Mises (Pa) – *damage condition*



Gambar 16. Hasil *running* tegangan Von Mises (Pa) tampak detail – *damage condition*

Hasil *running* tegangan von mises pada *damage condition* saat terjadi gaya tarik *mooring line* terbesar didapat tegangan maksimum sebesar 245,46 MPa.

3.7. Safety Factor

Gaya yang diperlukan agar terjadi tingkat optimal bahan dalam menahan beban dari luar sampai akhirnya menjadi pecah disebut dengan beban ultimate (*ultimate load*). [9]

Sebelum mencari *safety factor*, dicari terlebih dahulu nilai tegangan sesuai kekuatan luluh (*yield strength*) dari material yang digunakan. Pada permodelan *chain stopper* pada penelitian ini menggunakan material DH36 steel dengan nilai *yield strength* sebesar 355 MPa dan *ultimate strength* sebesar 490 MPa – 620 MPa.

Tabel 7. Analisa *Safety factor* pada *chain stopper*

Parameter	Intact (MPa)	Damage (MPa)
Max Von Mises Stress	173,35	245,46
Material Yield Strength	355	355
Safety Factor	2,048	1,446

Hasil dari perhitungan *safety factor* untuk kondisi *intact* adalah 2,048 sedangkan untuk kondisi *damage* adalah 1,446. Hal ini menunjukkan bahwa struktur *chain stopper* aman untuk dioperasikan. Baik pada kondisi *intact* maupun *damage*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, penulis mengambil berapa kesimpulan diantaranya: 1) Tegangan maksimum struktur *chain stopper* pada analisa saat kondisi *intact* sebesar 173,35 MPa dengan pembebanan total sebesar $4,16 \times 10^6$ N dengan perolehan *safety factor* sebesar 2,048. 2) Tegangan maksimum struktur *chain stopper* pada analisa saat kondisi *damage* adalah sebesar 245,46 MPa dengan pembebanan total sebesar $5,89 \times 10^6$ N dengan perolehan *safety factor* sebesar 1,446.

3) Dari kedua analisa yang dilakukan pada kondisi *intact* dan *damage* di dapatkan nilai *safety factor* yang berada pada batas aman sehingga model *chain stopper* dapat digunakan pada kapal FSO Barakuda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lewis, W. E. Principles of Naval Architecture (Second Revision), Volume III - Motions in Waves and Controllability. Jersey City, NJ: Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1998.
- [2] Fauzan, Ahmad. Analisa Kekuatan Spread mooring Pada Sistem Tambat FDPSO Berbentuk Silinder Di Perairan Lepas Pantai Barat Natuna-Indonesia Menggunakan FEM. Teknik Perkapalan Vol 4, No 3 (2016)
- [3] Hidayat, Jamhari. Analisis Tegangan Lokal Maksimum Struktur Chain Stopper Pada Hexagonal Single Buoy Mooring Terhadap FSO Saat Sistem Offloading, Ocean engineering, 2017.
- [4] Afdhal, Ikbal. Optimasi Disain Spread Mooring Dengan Konfigurasi Variasi Line Terhadap Six Degrees Of Freedom (DOF) Olah Gerak Pada Kapal Floating Storage And Offloading (FSO), Teknik Perkapalan, Vol. 7 No. 1 Januari 2019
- [5] Medco E&P Natuna. Spread mooring Analysis Report Belida FSO Project. Jakarta, 2016
- [6] Naval facilities engineering commad. Fleet Moorings Basic Criteria Planning Guidelines. Virginia, 1985
- [7] B.V. Clasification of Mooring System for Permanent and Mobile Offshore Units, France: Bureau Veritas, 2015
- [8] ABS Grade DH36. "Steel plate for shipbuidling and repairing". Yusheng Iron And Steel Co.,Ltd
- [9] DNV. DNV OS E301 - Position Mooring. Norway: Det Norske Veritas. DNV, 2004.
- [10] Popov, E P. 1996. "Mekanika Teknik". Erlangga. Indonesia