

ANALISA TEGANGAN *CHAIN LINE SINGLE POINT MOORING TYPE CATENARY ANCHOR LEG MOORING* PADA AFRAMAX TANKER

Yusuf Nurhuda^{1*}, Adi Wirawan Husodo², Sumardiono³

Program studi D4 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1,2}

Program studi D4 Teknik Desain dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: yusufnurhuda13@gmail.com¹; aw.husodo@gmail.com²; dion.ppons@gmail.com³

Abstract - One of the constraints that occur in the mooring system of SPM is the breaking of chain line caused by its inability to accept work load. In this problem, it is necessary to analyze the tension line of SPM catenary anchor leg mooring (CALM) type on Aframax tanker. The purpose of this research is to know the movement response of structure and the maximum tension chain line. The largest response amplitude operator (RAO) obtained when SPM moored on Aframax Tanker in the conditions of translational movement heave by 0.986 (m/m) on heading of 0° and 135°. The largest response of the structure obtained when SPM moored on Aframax Tanker in the conditions of translational movement heave by 17.44 m²/(rad/s) on heading of 180°. The greatest tension chain line is 2424873 N with the results of chain line tension still meets the safety factor in accordance with the standard API RP 2SK 2nd edition. The analysis results of chain line power structure is 155.42 MPa, if the dimension of chain line is reduced by 0,2 mm/year in a space of 13 year time then the stress obtained is 169,67 Mpa, and with estimation of 30 year time the value of stress obtained is 238,82 Mpa.

Keywords : Aframax Tanker, Chain Line, RAO, SPM, Stress, Tension

NOMENCLATURE

S R	spektrum respons (m ² -sec)
S(ω)	spektrum gelombang (m ² -sec)
RAO	transfer function
ω	frekuensi gelombang (rad/sec)
$\zeta_0(\omega)$	amplitudo response gerakan struktur (m)
$\zeta_0(\omega)$	amplitudo gelombang (m)
F	gaya tegak terhadap penampang (N)
V	gaya arah sejajar terhadap penampang (N)

1. PENDAHULUAN

PT. TRANS-PACIFIC PETROCHEMICAL INDOTAMA atau PT.TPPI merupakan perusahaan kilang minyak yang memproduksi *petroleum* dan *petrochemical*. PT.TPPI memiliki fasilitas penunjang operasional yaitu dermaga. Namun penggunaan dari fasilitas dermaga tersebut masih dikatakan terbatas, dikarenakan dermaga tersebut hanya digunakan pada proses *loading unloading* kapal tanker secara langsung dengan kapasitas hanya sampai dengan 40.000 DWT saja. Untuk kapal tanker dengan kapasitas lebih dari 40.000 DWT PT.TPPI menggunakan fasilitas struktur terapung seperti *Single Point Mooring* (SPM) dengan jenis *catenary anchor leg mooring* (CALM) lebih dari 40.000 DWT PT.TPPI menggunakan fasilitas struktur terapung seperti *Single Point Mooring* (SPM) dengan jenis *catenary anchor leg mooring* (CALM).

SPM merupakan suatu struktur terapung yang berfungsi sebagai penambatan dan

interkoneksi untuk pembongkaran muatan kapal tanker. Dalam proses pembongkaran muatan (*unloading*) pada kapal tanker terdapat beberapa kendala, salah satu kendala yang dapat terjadi pada *mooring system* adalah terjadi putusanya *mooring line* pada SPM pada saat proses *unloading* sedang berlangsung. Hal ini dapat membahayakan keselamatan para awak kapal dan kapal dapat tertabrak dengan *floating structure* lainnya. Ini merupakan suatu alasan perlunya dilakukan suatu analisa untuk mengetahui kekuatan *mooring system*. Sehingga, operabilitas dan keselamatan pada sistem dapat tetap terjaga serta dapat mengetahui kekuatan tegangan *chain line* akibat adanya laju korosi sehingga terjadinya pengurangan dimensi pada struktur *chain line*.

Pada penelitian ini membahas tentang mengapa perlu adanya suatu analisa tegangan *chain line* pada SPM yang diakibatkan oleh adanya pengurangan dimensi pada struktur *chain line* akibat laju korosi. SPM yang akan dijadikan objek analisa adalah SPM dengan jenis *catenary anchor leg mooring* (CALM) pada area produksi *Offsite and Marine* di PT.TPPI. Fokus dari penelitian ini adalah bagaimana melakukan analisa respon gerakan pada SPM dan analisa tegangan maksimum yang dialami oleh struktur *chain line* serta mengetahui pengaruh pengurangan dimensi yang diakibatkan oleh adanya laju korosi terhadap kekuatan struktur *chain line* secara keseluruhan.

2. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini yaitu tahap identifikasi masalah, pengumpulan data, studi literatur dan pengolahan data, analisa dan terakhir tahap kesimpulan. Tahap studi literatur pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

2.1 Analisa Gerakan Struktur

Analisa gerakan struktur dilakukan berdasarkan hasil dari perhitungan RAO (*Respon Amplitude Operator*) saat terapung bebas dan terambatkan. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Menurut Chakrabarti (1987), RAO dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_0(\omega)}{\zeta_0(\omega)} (m/m) \quad (1)$$

2.2 Analisa Respon Struktur

Setelah mendapat nilai RAO dilanjutkan dengan analisa respon pada struktur, yang dapat diketahui melalui perkalian antara RAO kuadrat dengan spektrum gelombang. Spektrum gelombang berfungsi untuk mengetahui karakteristik dan besarnya energi gelombang pada lingkungan tersebut. Spektrum respon dapat didefinisikan sebagai energi struktur akibat gelombang. Menurut Djatmiko (2012), Jika diformulasikan didapat persamaan :

$$S R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2)$$

Analisa gerakan struktur pada gelombang acak dihitung berdasarkan spektrum gelombang yang sesuai dengan kondisi lingkungan dimana struktur SPM tersebut beroperasi. SPM beroperasi di daerah perairan laut Jawa khususnya perairan laut tuban yang merupakan daerah perairan tertutup, sehingga perlu menggunakan spektrum JONSWAP yang dikarenakan formulasi dari spektrum JONSWAP memiliki bentuk yang lebih kompleks. Spektrum gelombang yang digunakan perairan laut Tuban mengikuti persamaan pada spektrum JONSWAP.

2.3 Analisa Tegangan Maksimum pada Chain Line

Analisis tegangan maksimum pada *chain line* dilakukan untuk mendapatkan nilai gaya tarik (*tension force*) maksimum pada *chain line*. Hasil gaya tarik maksimum tersebut digunakan sebagai input beban untuk analisa kekuatan struktur *chain line*. Beban yang dimasukkan dalam analisis ini adalah beban gelombang, beban angin, dan beban arus 100 tahunan dengan arah pembebanan 0°, 45°, 60°, 90°, 120°, 135°, 180°. Analisa tegangan maksimum pada *chain line* dilakukan dengan simulasi *time domain analysis* pada kondisi *full load*. Untuk menghasilkan tegangan maksimum pada *chain line* diperlukan simulasi selama 3 jam

(10800 s) sesuai anjuran DNV E301 (2004). Setelah didapatkan *tension* maksimum, perlu dilakukan cek *safety factor*. Hasil analisa *tension* pada *chain line* masih memenuhi batas keamanan sesuai *standart API RP 2SK 2nd edition*, apabila.

$$\frac{\text{Minimum Breaking Load}}{\text{Maximum tension}} > 1,67 \quad (3)$$

2.4 Analisa Kekuatan Struktur Serta Pengurangan Dimensi pada Chain Line

Menurut Pradhana (2015), tegangan aksial atau tegangan normal adalah tegangan yang bekerja tegak lurus penampang struktur. Tegangan aksial dapat dihasilkan dari gaya tarik ataupun gaya tekan. Sedangkan tegangan geser adalah intensitas gaya pada suatu titik yang sejajar terhadap penampang. Persamaan dari tegangan aksial dan tegangan geser adalah sebagai berikut :

- Persamaan Tegangan Aksial $\tau = \frac{F}{A}$ (4)

- Persamaan Tegangan Geser $\tau = \frac{V}{A}$ (5)

Menurut Karim dan Yusuf (2012), untuk menghitung laju korosi terdapat dua metode yang dapat digunakan antara lain metode kehilangan berat atau *weight gain loss* (WGL) dan metode elektrokimia. Pada tahap analisa kekuatan struktur serta pengurangan dimensi pada *chain line* yaitu dengan melakukan pengurangan dimensi struktur *chain line* akibat adanya laju korosi dengan mengurangi ketebalan pada struktur dengan menggunakan metode *weigh gain loss* yaitu dengan menggunakan persamaan.

$$R = \frac{K \times \Delta W}{A \times T \times D} \quad (6)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemodelan dan Validasi model

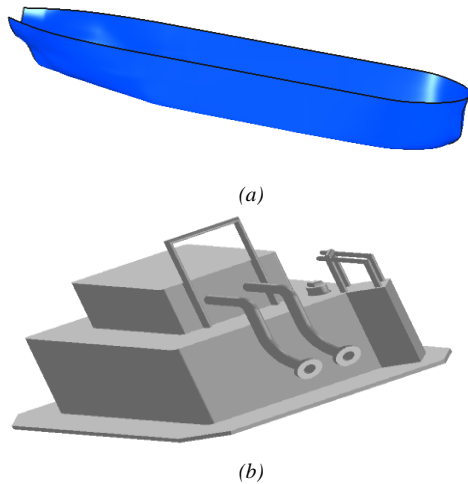
Pemodelan *Aframax Tanker* dengan menggunakan *software* Maxsurf dan pemodelan SPM dengan menggunakan *software* Solidworks dilakukan untuk mendapatkan model dan data hidrostatik yang akan digunakan sebagai perbandingan hasil pemodelan dan validasi model yang telah dibuat. Pemodelan dan data hidrostatik kemudian digunakan sebagai input untuk mendapatkan nilai RAO *Aframax Tanker free floating*, SPM *free floating* serta saat SPM tertambat dengan *Aframax Tanker*. Pada Gambar 1 merupakan pemodelan *Aframax Tanker* dan pemodelan SPM tampak isometri.

Validasi model *Aframax Tanker* dan SPM perlu dilakukan dikarenakan bertujuan untuk menampilkan suatu pemodelan struktur yang sesuai pada keadaan yang sebenarnya, sehingga model *Aframax Tanker* dan struktur SPM dapat digunakan sebagai objek analisa. Dari validasi *Aframax Tanker* yang telah dilakukan pada saat kondisi *full load* menunjukkan hasil *hydrostatics properties* yang hampir sesuai dengan aslinya,

dengan nilai *displacement* pada pemodel *Aframax Tanker* sebesar 139212 ton sedangkan *displacement* yang diketahui dari data *principal dimension Aframax Tanker* yaitu sebesar 139711 ton, jika dihitung selisih terdapat perbedaan sebesar 0,3%. Berat struktur pada model SPM sebesar 249,502 ton sedangkan berat struktur yang diketahui dari data *general arrangement SPM* yaitu sebesar 250 ton, jika dihitung selisih terdapat perbedaan sebesar 0,19 %. Koreksi yang diizinkan untuk selisih model dengan struktur aslinya hanya sebesar 0,5%.

Analisis gerakan struktur dilakukan pada saat kondisi *free floating* dan tertambat. Hasil dari analisis RAO didapatkan berupa RAO *Aframax Tanker free floating*, RAO SPM *free floating* dan RAO SPM pada saat tertambat dengan *Aframax Tanker* yang disajikan pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 3 dan grafik RAO terbesar terjadi pada saat gerakan translasional *heave* yang dapat dilihat pada Gambar 2 sampai Gambar 4.

Analisa pada respon struktur dengan menggunakan perhitungan spektrum gelombang yang digunakan untuk perairan laut Tuban dapat dilihat pada Tabel 4, dengan mengikuti persamaan dari spektra JONSWAP dengan nilai gamma 3,4 (Chakrabarti, 1987). Dari RAO dan spektrum gelombang didapatkan spektra respon pada struktur terbesar ketika gerakan *heave* pada kondisi sebesar $17,44 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$ yang dapat dilihat pada Gambar 5. hasil simulasi untuk mengetahui nilai dari spektrum respon SPM tertambat dengan *Aframax Tanker* dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 1. (a) Pemodelan Aframax Tanker tampak isometri
 (b) Pemodelan SPM tampak isometri

3.2 Hasil Analisa gerakan struktur dan Analisa

Tabel 1. Lingkungan Lokasi SPM

Parameter	Keterangan	Unit	100 Tahunan
Gelombang	Tinggi	m	3,1
	Periode	sec	6,9
Angin	Kecepatan	m/s	21,2
Arus	Kecepatan	m/s	0,95

Tabel 2. RAO Aframax Tanker free floating

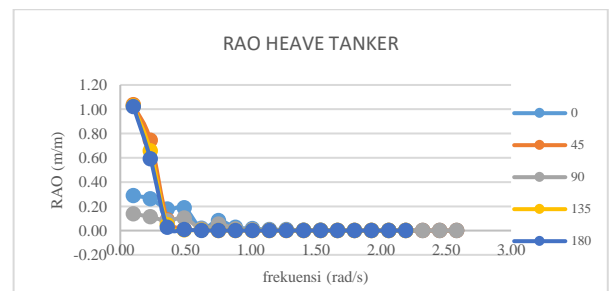
Heading	Surge m/m	Sway m/m	Heave m/m	Roll deg/m	Pitch deg/m	Yaw deg/m
0°	0,29	0,001	0,29	0,001	0,11	0,006
45°	0,23	0,026	1,04	0,010	0,11	0,028
90°	0,14	0,028	0,14	0,014	0,06	0,026
135°	0,22	0,026	1,04	0,010	0,04	0,023
180°	0,29	0,001	1,02	0,001	0,04	0,002
RAO maks	0,29	0,28	1,04	0,014	0,11	0,028

Tabel 3. RAO SPM free floating

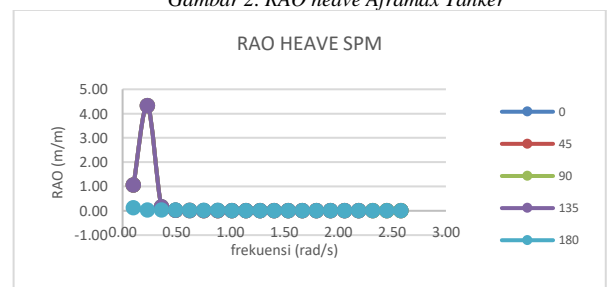
Heading	Surge m/m	Sway m/m	Heave m/m	Roll deg/m	Pitch deg/m	Yaw deg/m
0°	0,71	0,06	1,05	0,45	1,01	0,09
45°	0,26	0,49	4,30	0,79	0,78	0,01
90°	0,18	0,71	4,32	1,02	0,38	0,08
135°	0,26	0,52	4,32	0,68	0,67	0,12
180°	0,68	0,67	0,12	0,45	1,01	0,09
RAO maks	0,71	0,71	4,32	1,02	1,01	0,12

Tabel 4. RAO SPM tertambat dengan Aframax Tanker

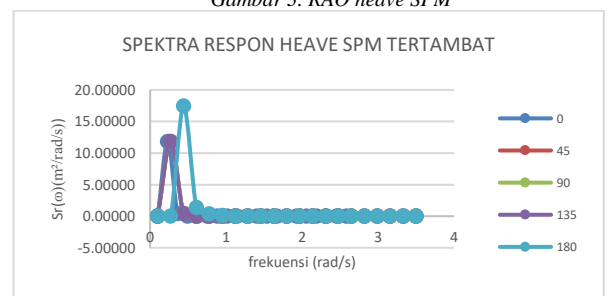
Heading	Surge m/m	Sway m/m	Heave m/m	Roll deg/m	Pitch deg/m	Yaw deg/m
0°	0,46	0,00	0,98	0,00	0,25	0,00
45°	0,10	0,01	0,25	0,62	0,07	0,05
90°	0,03	0,05	0,25	0,67	0,06	0,00
135°	0,10	0,00	0,98	0,41	0,07	0,00
180°	0,05	0,03	0,44	0,02	0,13	0,00
RAO maks	0,46	0,05	0,98	0,67	0,25	0,05



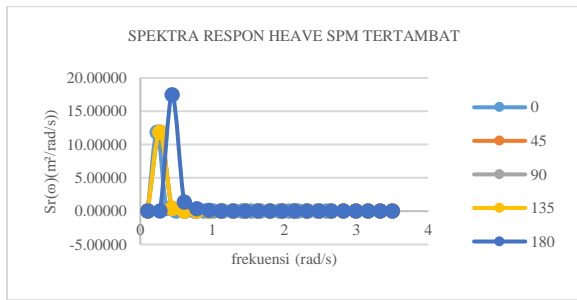
Gambar 2. RAO heave Aframax Tanker



Gambar 3. RAO heave SPM



Gambar 4. RAO heave SPM tertambat

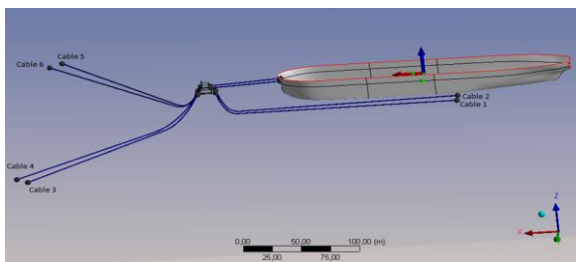


Gambar 5. Spektra Respon heave SPM tertambat

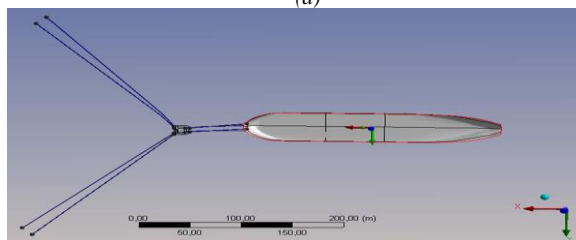
Tabel 5. Spektra Respon Kondisi Tertambat

Gerakan	0°	45°	90°	135°	180°	Maks
Surge	5,73	0,008	0,001	0,006	0,042	5,73
Sway	0,001	0,001	0,01	0,001	0,001	0,01
Heave	11,82	0,21	0,001	11,82	17,44	17,44
Roll	0,09	0,18	5,01	0,11	0,07	5,01
Pitch	0,57	0,27	0,27	0,29	3,26	3,26
Yaw	0,001	0,04	0,004	0,002	0,004	0,04

3.3 Analisa Tegangan Maksimum Chain Line



(a)

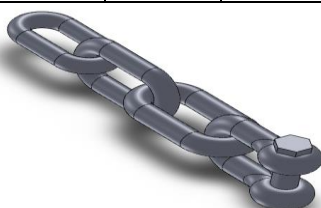


(b)

Gambar 6. (a) Konfigurasi mooring SPM tampak samping (b) Konfigurasi mooring SPM tampak atas

Tabel 6. Hasil analisa tegangan chain line pada heading 45°

Chain Line	Tension (N)	heading	t(s)	Safety Factor
Cable 1	1253899,9	45°	10800	2,24
Cable 2	1395812,8			
Cable 3	1339255,2			
Cable 4	2232175,7			
Cable 5	1891096,8			
Cable 6	2424873			



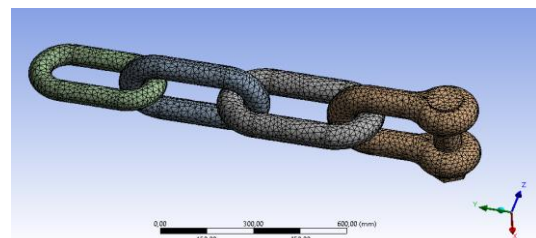
Gambar 7. Pemodelan Chain Line

Analisa tegangan *chain line* bertujuan untuk mengetahui nilai keluaran dari tegangan maksimum pada *chain line*. Beban yang dimasukkan dalam analisa ini adalah beban gelombang, beban angin dan beban arus 100 tahunan. Analisis *tension chain line* dilakukan dengan *software* ANSYS Aqwa dengan simulasi *time domain analysis*. Untuk menghasilkan tegangan maksimum pada *chain line* diperlukan simulasi selama 3 jam (10800 s) sesuai *standart* DNV OS E301 (2004). Material dari *chain line* adalah *type* RQ3S dengan *Chain Breaking Load* sebesar 5454 kN yang diketahui dari data *properties chain line*. Gambar konfigurasi SPM pada saat tertambat dengan pemodelan *Aframax Tanker* dan SPM yang disajikan pada Gambar 6. Nilai hasil tegangan terbesar terjadi pada *chain line* yang terdapat pada cable 6 yang berada saat kondisi *heading* 45° arah datangnya gelombang yaitu sebesar 2424873 N.

Tabel analisa tegangan *chain line heading* 45° dapat dilihat pada Tabel 6. Hasil tegangan maksimum tersebut akan digunakan untuk pembebanan pada proses simulasi tahap selanjutnya. Hasil tegangan maksimum pada *chain line* memiliki nilai *safety factor* sebesar 2,4. Nilai *safety factor* pada *chain line* lebih besar dari *safety factor* yang dianjurkan sesuai *standart* API RP 2SK 2nd edition.

3.4 Analisa Kekuatan Struktur Chain Line

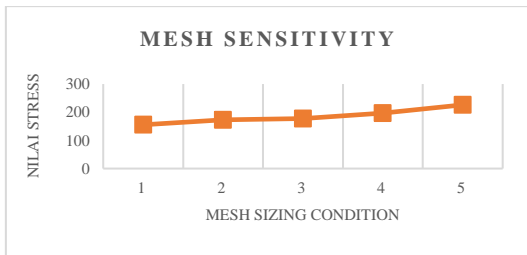
Tahap awal untuk menganalisa kekuatan struktur *chain line* adalah dengan membuat pemodelan *chain line* dengan menggunakan *software* Solidworks, setelah itu file diimport ke *Ansys Static Structural* untuk mengetahui hasil tegangan maksimum dan nilai deformasi. Pada tahap simulasi analisa tegangan perlu dilakukannya proses *mesh sensitivity* yang bertujuan untuk menentukan ukuran kerapatan *meshing* untuk memperoleh nilai tegangan yang konstan dengan input beban dengan nilai yang sama.



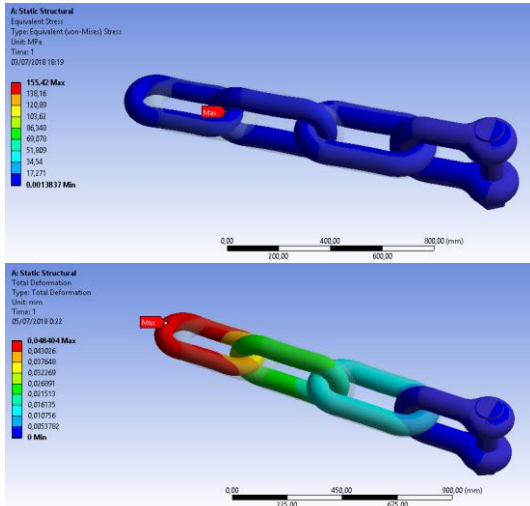
Gambar 8. Proses Meshing Chain Line pada Ansys

Tabel 7. Hasil Meshing Sensitivity

Kondisi	Size	Nodes	Element	Stress
1	10	1601949	945756	155,42
2	15	1576730	931281	173,43
3	20	1572094	929176	177,37
4	25	1565207	925139	197,23
5	30	1564559	925079	226,02



Gambar 9. Grafik Mesh Sensitivity



Gambar 10. Hasil Solving dan Deformasi pada Chain Line

Sesuai *standart* DNV OS-E301 Section E200 laju korosi pada material *chain* dengan *type catenary* menunjukkan pengurangan dimensi sebesar 0,2 mm/yr. Pada proses pengurangan dimensi struktur *chain line* akibat laju korosi dapat dilihat pada Tabel 8. Hasil analisa kekuatan struktur *chain line* yaitu berupa nilai tegangan maksimum dan nilai deformasi pada struktur *chain line* yang dapat dilihat pada Tabel 9. Kekuatan struktur *chain line* pada saat menerima beban yang bekerja berada pada kriteria yang aman tidak melebihi batas nilai *maksimum Yield Strength* sesuai pada acuan *standart* DNV OS E301 sebesar 441 MPa.

Tabel 8. Hasil Analisa Pengurangan Dimensi Chain Line

Reference	Dimension Thickness			
	Common Link	Enlarged Link	End Link	Joining Shackle
Instal	76 mm	84 mm	92 mm	99 mm
In-time	73,4 mm	81,4 mm	89,4 mm	96,4 mm
Estimate	70 mm	78 mm	86 mm	93 mm

Tabel 9. Tegangan Maksimum dan Deformasi Chain Line

Reference	Presentase	Max. Stress	Deformation
Installation	100%	155,42 MPa	0,048404 mm
In-time	96,5%	169,67 MPa	0,053796 mm
Estimated	92,1%	238,82 MPa	0,063789 mm

4. KESIMPULAN

Nilai RAO SPM pada saat tertambat dengan *Aframax Tanker* terbesar terjadi saat gerakan translasional *heave* dengan nilai tertinggi sebesar 0,986 (m/m) *heading* 0° dan 135°, sedangkan Response Struktur SPM saat tertambat pada *Aframax Tanker* terbesar terjadi saat kondisi gerakan translasional *heave* dengan nilai tertinggi sebesar 17,44 m²/(rad/s) pada *heading* 180°. Pada analisa tegangan maksimum *chain line* hasil tegangan terbesar pada *mooring system* sebesar 2424873 N, dengan hasil tersebut tegangan tidak melebihi nilai MBL dari *chain line* dengan nilai MBL sebesar 5454000 N. Dengan hasil tegangan yang didapat dari hasil simulasi memiliki *safety factor* dengan nilai 2,24.

Hasil analisa kekuatan struktur *chain line* pada SPM didapatkan hasil tegangan sebesar 155,42 MPa dengan menggunakan simulasi Ansys *Static Structural* dengan menggunakan data *General Notes* pada awal instalasi *chain line*, apabila terjadi saat ini pada tahun 2018 dengan periode waktu 13 tahun didapatkan hasil tegangan sebesar 169,67 MPa, sedangkan apabila estimasi dengan periode waktu 30 tahun kedepan dari instalasi *chain line* didapat hasil tegangan sebesar 238,82 MPa. Dari analisa tersebut menunjukkan *chain line* mampu menerima beban yang bekerja dan masih berada pada kriteria yang aman atau tidak melebihi batas nilai maksimum.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] API RP 2P 2nd edition Maximum Tension, 1987, Recommended Practice for Planning and Designing Mooring Line, USA.
- [2] API RP 2SK 2nd edition October 2005, Recommended Practice for Design and Analysis of Station Keeping System for Floating Structures, USA.
- [3] API RP 2T 3rd edition July 2010, Planning, Designing, and Constructing Tension Leg Platforms, USA.
- [4] Bhattacharya, R., 1972, Dynamic of Marine Vehicles, John Wiley and Sons Inc. New York, USA.
- [5] Chakrabarti, S.K., 1987, Hydrodynamics of Offshore Structures, Computational Mechanics Publications Southhampton. Boston, USA.
- [6] Djatmiko, E.B., 2012, Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut Diatas Gelombang Acak, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- [7] DNV OS E301, June 2001, Position Mooring-Rules and Standarts, Norway.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”