

**ANALISIS KEKUATAN RANTAI JANGKAR SETELAH MENGALAMI
KOROSI**

SKRIPSI

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



Oleh

MARDAWIAH

D031171505

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam mengikuti Seminar dan Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Perkapalan Program Studi Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar

Judul Skripsi

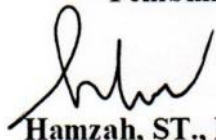
ANALISIS KEKUATAN RANTAI JANGKAR SETELAH MENGALAMI KOROSI

Disusun Oleh :
Mardawiah
D031171505

Gowa, Maret 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

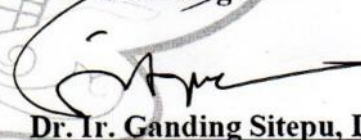
Pembimbing I



Hamzah, ST., MT.

Nip. 19800618 200501 1 004

Pembimbing II

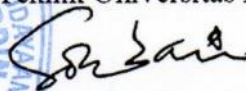


Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl.-Ing.

Nip. 19600425 198811 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.

Nip. 19730206 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : **Mardawiah**
NIM : **D031171505**
Program Studi : **Teknik Perkapalan**
Jenjang : **S1**

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

“Analisis Kekuatan Rantai Jangkar setelah mengalami Korosi”

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 01 April 2022

Yang Menyatakan,


Mardawiah

ABSTRAK

MARDAWIAH. 2022. Analisis Kekuatan Rantai Jangkar setelah mengalami Korosi. (dibimbing oleh **Hamzah** dan **Ganding Sitepu**)

Jangkar merupakan komponen perlengkapan kapal yang memiliki peran yang sangat penting dalam penjaminan keselamatan kapal. Jangkar kapal digunakan untuk membatasi gerak kapal pada waktu labuh di Pelabuhan, agar kapal tidak berpindah tempat karena mendapat gaya dari luar (angin, arus, dan gelombang). Jangkar kapal juga berguna untuk membantu penambatan kapal pada saat diperlukan. Resiko putusannya rantai jangkar disebabkan adanya keausan pada material rantai jangkar tersebut, keausan pada dasarnya memiliki beberapa mekanisme, yaitu abrasi, erosi, adhesive, fatik, dan korosi. Pada permasalahan tersebut perlu adanya analisa kekuatan chain line pada Tug boat Mega Daya 47. Hal ini bertujuan untuk mengetahui Response Amplitude Operator (RAO) dan respon struktur pada Tug boat Mega Daya 47 dan tegangan maksimum yang dialami chain line akibat pengurangan dimensi akibat laju korosi. Dari hasil analisa respon gerak RAO Tug boat Mega Daya 47 terbesar didapat saat tertambat dalam kondisi gerakan rotasi *roll* sebesar 33.1258 (*deg/m*) pada *heading* 90°. Response struktur Tug boat Mega Daya 47 terbesar didapat saat tertambat dalam kondisi gerakan rotasi *roll* sebesar 6730.7119 (*deg²/(rad/s)*) pada *heading* 90°. Hasil tegangan terbesar pada mooring system sebesar 86594.047 N, yang berarti tidak melebihi nilai MBL dari chain line tersebut dengan nilai 150000 N. Safety factor chain line lebih besar dari safety factor yang dianjurkan pada standar API RP 2SK 2nd edition. Hasil analisa kekuatan struktur chain line awal sebesar 168.73 MPa dan deformasi sebesar 0.35101 mm, pada analisis tegangan dengan pengurangan dimensi sebesar 0.2 mm/year akibat adanya laju korosi pada material dengan periode waktu 3 tahun didapatkan hasil tegangan sebesar 192.75 MPa dan deformasi sebesar 0.65605 mm, estimasi dengan periode waktu 5 tahun dari instalasi awal chain line didapatkan hasil tegangan sebesar 213.95 MPa dan deformasi sebesar 0.91133 mm. Kekuatan struktur *chain line* pada saat menerima beban yang bekerja pada kriteria yang aman dan tidak melebihi batas maksimum *Yeild Strength* sedangkan pada estimasi 10 tahun nilai deformasi yang dihasilkan melebihi batas maksimal deformasi sesuai acuan standart DNV OS E301. Pada estimasi 10 tahun dari instalasi awal chain line didapatkan hasil tegangan sebesar 309.13 MPa dan deformasi sebesar 1.6187 mm, artinya kekuatan struktur *chain line* pada saat menerima beban yang bekerja pada kriteria yang tidak aman dan melebihi batas maksimum *Yeild Strength* dan nilai deformasi yang dihasilkan melebihi batas maksimal deformasi sesuai acuan standart DNV OS E301.

Kata kunci: *Tug boat, tension, RAO, korosi, chain line, tegangan, deformasi.*

ABSTRACT

MARDAWIAH. 2022. Anchor Chain Strength Analysis after Corrosion. (supervised by **Hamzah** and **Ganding Sitepu**)

Anchor is a component of ship equipment that has a very important role in ensuring ship safety. Ship anchors are used to limit the ship's motion when anchored in the port, so that the ship does not move because of external forces (wind, current, and waves). Ship anchors are also useful to help mooring ships when needed. The risk of breaking the anchor chain is due to wear and tear on the anchor chain material, wear basically has several mechanisms, namely abrasion, erosion, adhesive, fatigue, and corrosion. In this problem, it is necessary to analyze the chain line strength on the Mega Daya 47 Tug boat. This aims to determine the Response Amplitude Operator (RAO) and the structural response on the Mega Daya 47 Tug boat and the maximum stress experienced by the chain line due to dimension reduction due to corrosion rate. From the results of the analysis of the motion response of the Mega Daya 47 RAO Tug boat, the largest SSAT was found to be moored in a *roll* rotational motion of 33.1258 (*deg/m*) at the *heading* . 90°. The largest response of the Mega Daya 47 Tug boat structure is obtained when moored in a *roll rotational movement condition* of 6730.7119 (*deg²/(rad/s)*) on the *heading* 90°. The largest stress result in the mooring system is 86594.047 N, which means it does not exceed the MBL value of the chain line with a value of 150000 N. The chain line safety factor is greater than the recommended safety factor in the API RP 2SK 2nd edition standard. The results of the analysis of the strength of the initial chain line structure of 168.73 MPa and deformation of 0.35101 *mm* , in the stress analysis with a reduction of dimensions of 0.2 mm/year due to the corrosion rate of the material with a period of 3 years, the results of the stress are 192.75 MPa and the deformation is 0.65605 *mm* , Estimated with a period of 5 years from the initial installation of the chain line, the result is a stress of 213.95 MPa and a deformation of 0.91133 *mm*. The strength of the *chain line structure* when receiving loads that work on safe criteria and does not exceed the maximum *Yeild Strength limit*, while at the 10-year estimate the resulting deformation value exceeds the maximum deformation limit according to the DNV OS E301 standard reference. In the 10-year estimate from the initial installation of the chain line, the stress results are 309.13 MPa and the deformation is 1.6187 *mm* , meaning that the strength of the *chain line structure* when receiving a load that works on unsafe criteria and exceeds the maximum *Yeild Strength limit* and the resulting deformation value exceeds the limit. maximum deformation according to the DNV OS E301 standard reference.

Keywords: *Tug boat* , *tension* , *RAO* , corrosion, *chain line* , stress, deformation.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat dan nikmat kesehatan jasmani serta rohani yang diberikan kepada penulis. Sehingga penulis mampu menyusun dan menyelesaikan tugas akhir ini sesuai yang diharapkan. Shalawat serta salam kita kirimkan kepada Baginda Rasulullah Muhammad SAW, sahabat, keluarga, dan para pengikutnya.

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S1) di Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Dalam proses penyusunan sampai dengan terselesaikannya skripsi yang berjudul “**Analisis Kekuatan Rantai Jangkar Setelah Mengalami Korosi**” penulis sangat terbantu oleh banyak pihak, maka dari itu dengan segala kerendahan hati penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. **Allah SWT** yang telah memberikan petunjuk dan kemudahan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
2. Kedua orangtua saya **Drs. Salman AR.** dan **Ns. Kartini A., S.Kep.** setra Adik saya **Gita Fitrah Ramadhani** beserta keluarga yang tiada hentinya memberikan doa, dukungan dan semangat serta membantu dan membimbing dari segi moril dan materil selama berkuliah di Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Hamzah, ST., MT.** selaku dosen pembimbing I dan Bapak **Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl.-Ing.** selaku dosen pembimbing II sekaligus Kepala Labo Struktur Kapal yang ditengah-tengah kesibukannya telah meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya penulisan skripsi ini.
4. Ibu **Dr. Eng. A. Ardianti, ST., MT.** selaku dosen Labo Struktur Kapal sekaligus selaku Penasehat Akademik (PA) yang telah membimbing saya selama proses perkuliahan, juga kepada Bapak **Wahyudin, ST., MT.** selaku

penguji yang telah menghantarkan penulis memperoleh gelar akademik pada Departemen Teknik Perkapalan.

5. Bapak **Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.** selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
6. **Dosen–Dosen Departemen Teknik Perkapalan** yang telah memberikan ilmu serta pengalamannya selama dalam proses perkuliahan.
7. **Staf Tata Usaha Departemen Teknik Perkapalan**, yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.
8. **Muhajir** yang telah menjadi teman diskusi, belajar, dan berkegiatan, dan pada akhirnya sampai selesainya tugas akhir ini masih setia menjadi penyemangat dan pendukung penulis.
9. **Teman-teman seperjuangan Labo Struktur Kapal 17.** Wardi, Farid, Amanul, dan alifah teman berbagi selama berada di laboratorium struktur kapal.
10. **Wardi Al-Qadri, ST.** dan **Imam Abadi Ibnu Ismail, ST.** yang telah banyak membantu penulis dalam mencari dan mengumpulkan data untuk tugas akhir ini sekaligus menjadi teman diskusi tentang dinamika bangunan apung.
11. **Bestie.** Alifah, Iqra, Luthfiah, Ririn yang selalu memberikan bantuan dan dukungannya.
12. **Teman-teman Momentum Squad.** Fachnur Ramadhan, Zidan, dan Ririn atas bantuan dan dukungannya
13. Teman-teman mahasiswa khususnya **Teknik Perkapalan 2017 dan PERIZCOPE CREW** yang selalu memberi motivasi dan dukungannya serta waktu yang telah kita lalui bersama dalam suka dan duka. Tak lupa pula penulis sampaikan banyak terimakasih kepada kanda-kanda **Senior** dan dinda-dinda **Junior** atas motivasi dan dukungannya.
14. Senior Labo Struktur atas ketersediaannya dalam berdiskusi dan berbagi ilmu.

15. Kepada seluruh pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang memiliki peranan dan kontribusi yang sangat penting dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan untuk menutupi kekurangan dari penulisan skripsi ini. Penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu Teknik Perkapalan, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Gowa, Oktober 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Jangkar dan Perlengkapannya	5
2.1.1. Tipe-Tipe jangkar.....	5
2.2. Operasional Jangkar	9
2.3. Beban Lingkungan	9
2.3.1 Beban Gelombang.....	9
2.3.2. Beban Arus	10
2.3.3. Beban Angin	11
2.4. Respon Amplitude Operator (RAO)	12
2.5. Spektrum Gelombang	13
2.6. Tension pada Mooring Line	16
2.7. Mooring Chain	17

2.8.	Laju Korosi	19
2.9.	Teori Elastisitas	20
2.9.1.	Tegangan.....	20
2.9.2.	Regangan.....	21
2.9.3.	Kurva True Stress - Strain.....	22
2.10.	Ansys	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		24
3.1.	Jenis Penelitian	24
3.2.	Lokasi dan Waktu Penelitian	24
3.3.	Jenis Data dan Metode Pengambilan Data	24
3.3.1.	Metode Pengambilan Data	24
3.3.2.	Jenis Data	24
3.4.	Pengolahan dan Analisa Data	26
3.5.	Flow Chart Penelitian	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		29
4.1.	Pemodelan Struktur <i>Tug boat</i>	29
4.1.1.	Data Geometri <i>Tug Boat</i>	31
4.1.2.	Model <i>Tug Boat</i>	32
4.2.	Proses Meshing	32
4.3.	Penginputan Data	34
4.4.	Simulasi	35
4.5.	Analisa Gerakan Struktur <i>Tug Boat</i> Mega Daya 47 pada Kondisi <i>Free Floating</i>	36
4.5.1.	<i>Hydrostatic</i>	36
4.5.2.	Analisa RAO pada Kondisi Tertambat	39
4.5.3.	Spektrum Gelombang.....	43
4.5.4.	Spektrum Respon <i>Tug boat</i> Mega Daya 47 Kondisi Tertambat	44
4.6.	Analisa <i>Tension Mooring Lines Tug boat</i> Mega Daya 47	48
4.7.	Pemodelan Struktur <i>Chain Line</i>	50
4.8.	Analisa Kekuatan Struktur pada <i>Chain Line</i>	51
4.9.	Analisa Pengurangan Dimensi pada <i>Chain Line</i> akibat Laju Korosi	

4.9.1.	Analisa Kekuatan Struktur <i>Chain Line</i> dengan <i>Estimated Data 3 Years</i>	58
4.9.2.	Analisa Kekuatan Struktur <i>Chain Line</i> dengan <i>In-Time Data</i>	61
4.9.3.	Analisa Kekuatan Struktur <i>Chain Line</i> dengan <i>Estimated Data 10 Years</i>	63
4.9.4.	Hasil Analisa kekuatan Struktur pada <i>Chain Line</i>	66
4.9.5.	Analisa Tegangan Tarik dan Tegangan Geser pada <i>Chain line</i>	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		70
5.1.	Kesimpulan	70
5.2.	Saran	71
DAFTAR PUSTAKA		72
LAMPIRAN		74

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Rantai Jangkar (Anchor Chain)	25
Tabel 3.2 Data Lingkungan perairan laut Tuban	26
Tabel 4.1 Data Geometri Tug Boat	31
Tabel 4.2 Statistik Meshing Tug Boat Mega Daya 47	33
Tabel 4.3 Center of Gravity dan Radius Girasi	34
Tabel 4.4 Nilai Momen Inersia	34
Tabel 4.5 Hidrostatik Tug Boat Mega Daya 47	37
Tabel 4.6 Validasi hidrostatik	39
Tabel 4.7 RAO maksimum Tug boat Mega Daya 47 pada kondisi tertambat	43
Tabel 4.8 Data Lingkungan perairan laut Tuban	43
Tabel 4.9 Spektrum respon Tug boat Mega Daya 47 kondisi tertambat	48
Tabel 4.10 Hasil analisa tension chain line pada heading 0°	49
Tabel 4.11 Hasil analisa tension chain line pada heading 90°	49
Tabel 4.12 Hasil analisa tension chain line pada heading 180°	50
Tabel 4.13 General Notes chain line	50
Tabel 4.14 Mesh sensitivity	52
Tabel 4.15 Hasil Tegangan dan deformasi chain line	55
Tabel 4.16 Safety factor chain material properties	56
Tabel 4.17 Batas aman deformasi struktur chain line	56
Tabel 4.18 Corrosion allowance for chain	57
Tabel 4.19 Installation data chain properties	57
Tabel 4.20 Estimated data chain properties	58
Tabel 4.21 In-time data chain properties	58
Tabel 4.22 Estimated data chain properties	58
Tabel 4.23 Hasil tegangan dan deformasi pada chain line dengan Estimated data 3 Years	60
Tabel 4.24 Hasil tegangan dan deformasi pada chain line dengan in-time data ...	63
Tabel 4.25 Hasil tegangan dan deformasi pada chain line dengan Estimated data 10 Years	65

Tabel 4.26 Hasil Analisa pengurangan dimensi chain line	66
Tabel 4.27 Hasil tegangan maksimum dan deformasi pada chain line dengan variasi beban sebesar 103912.856 N (+20% dari beban normal).....	66
Tabel 4.28 Hasil tegangan maksimum dan deformasi pada chain line dengan variasi beban sebesar 86594.047 N.....	67
Tabel 4.29 Hasil tegangan maksimum dan deformasi pada chain line dengan variasi beban sebesar 69275.238 N (-20% dari beban normal)	67
Tabel 4.30 Hasil tegangan Tarik dan geser pada chain line.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bower Anchor (Jangkar Utama)	6
Gambar 2.2 Stream Anchor (Jangkar Arus/Buritan).....	6
Gambar 2.3 Kedges Anchor (Jangkar cemat)	7
Gambar 2.4 Stockless Anchor.....	7
Gambar 2.5 Stockless Anchor.....	8
Gambar 2.6 Jenis Mooring Lines Tipe Chain	18
Gambar 2.7 Jenis – Jenis Penyambung Rantai.....	19
Gambar 2.8 Perbedaan antara engineering vs true stress strain curve	22
Gambar 4.1 Hasil pemodelan Tug boat Mega Daya 47 pada software Maxsurf ..	30
Gambar 4.2 Alur Pengerjaan.....	31
Gambar 4.3 Model Tug Boat Mega Daya 47 pada software Ansys Aqwa	32
Gambar 4.4 Hasil Meshing pada Tug Boat Mega Daya 47	33
Gambar 4.5 RAO gerakan surge pada kapal Tug boat Mega Daya 47 kondisi tertambat.....	40
Gambar 4.6 RAO gerakan sway pada kapal Tug boat Mega Daya 47 kondisi tertambat.....	40
Gambar 4.7 RAO gerakan heave pada kapal Tug boat Mega Daya 47 kondisi tertambat.....	41
Gambar 4.8 RAO gerakan roll pada kapal Tug boat Mega Daya 47 kondisi tertambat.....	41
Gambar 4.9 RAO gerakan pitch pada kapal Tug boat Mega Daya 47 kondisi tertambat.....	42
Gambar 4.10 RAO gerakan yaw pada kapal Tug boat Mega Daya 47 kondisi tertambat.....	42
Gambar 4.11 Spektrum gelombang JONSWAP	44
Gambar 4.12 Spektra Respon gerakan surge pada kapal Tug boat Mega Daya 47 kondisi tertambat.....	45
Gambar 4.13 Spektra Respon gerakan sway pada kapal Tug boat Mega Daya 47 kondisi tertambat.....	45

Gambar 4.14 Spektra Respon gerakan heave pada kapal Tug boat Mega Daya 47	
kondisi tertambat.....	46
Gambar 4.15 Spektra Respon gerakan roll pada kapal Tug boat Mega Daya 47	
kondisi tertambat.....	46
Gambar 4.16 Spektra Respon gerakan pitch pada kapal Tug boat Mega Daya 47	
kondisi tertambat.....	47
Gambar 4.17 Spektra Respon gerakan yaw pada kapal Tug boat Mega Daya 47	
kondisi tertambat.....	47
Gambar 4.18 Skema chain line pada saat kondisi tertambat.....	49
Gambar 4.19 Pemodelan properties chain line	51
Gambar 4.20 Geometry struktur chain line pada Ansys Static Structural	52
Gambar 4.21 Grafik Mesh sensitivity pada model chain line	53
Gambar 4.22 Hasil meshing chain line pada Ansys Static Structural.....	53
Gambar 4.23 Pembebanan pada chain line	54
Gambar 4.24 Hasil solving tegangan Von Misses pada chain line	54
Gambar 4.25 Hasil solving deformasi pada chain line	55
Gambar 4.26 Pemodelan chain line dengan pengurangan dimensi 0.6 mm	59
Gambar 4.27 Hasil tegangan chain line dengan pengurangan dimensi 0.6 mm ...	59
Gambar 4.28 Hasil deformasi chain line dengan pengurangan dimensi 0.6 mm..	60
Gambar 4.29 Pemodelan chain line dengan pengurangan dimensi 1 mm	61
Gambar 4.30 Hasil tegangan chain line dengan pengurangan dimensi 1 mm	62
Gambar 4.31 Hasil deformasi chain line dengan pengurangan dimensi 1 mm.....	62
Gambar 4.32 Pemodelan chain line dengan pengurangan dimensi 2 mm	63
Gambar 4.33 Hasil tegangan chain line dengan pengurangan dimensi 2 mm	64
Gambar 4.34 Hasil deformasi chain line dengan pengurangan dimensi 2 mm.....	64
Gambar 4.35 Grafik hasil Tegangan chain line	67
Gambar 4.36 Grafik hasil deformasi chain line	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Lines Plan Tug boat Mega Daya 47	75
Lampiran 2 Gambar General Arragment Tug boat Mega Daya 47	75
Lampiran 3 Gambar Anchoring Arrangement Tug boat Mega Daya 47	76

DAFTAR NOTASI

L	=	Panjang kapal (m)
B	=	Lebar kapal
C_0	=	Koefisien gelombang
C_{RW}	=	<i>Service range coefficient</i>
C_L	=	Koefisien panjang
l	=	Panjang Batang (mm)
σ_b	=	Tegangan lengkung
τ	=	Tegangan geser
σ_v	=	Tegangan Ekuivalen
W	=	Beban (N)
P	=	Tekanan (kg/m ²)
A	=	Luas penampang (m ²)
V	=	Kecepatan (m/det)
R	=	Koefisien beban hujan (kg/m ²)
α	=	Sudut kemiringan atap (°)
a_z	=	Percepatan Vertikal
a_y	=	Percepatan Melintang
a_x	=	Percepatan Memanjang
a_0	=	Percepatan Dasar
ϵ	=	Regangan normal (mm/mm)
δ	=	Perubahan panjang (mm)
{ }	=	Vektor kolom
K	=	Kekakuan
[]	=	Matriks
k	=	Faktor baja
u	=	Displacement

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jangkar merupakan komponen perlengkapan kapal yang memiliki peran yang sangat penting dalam penjaminan keselamatan kapal. Jangkar kapal digunakan untuk membatasi gerak kapal pada waktu labuh di Pelabuhan, agar kapal tidak berpindah tempat karena mendapat gaya dari luar (angin, arus, dan gelombang). Jangkar kapal juga berguna untuk membantu penambatan kapal pada saat diperlukan. Jangkar kapal didesain sedemikian rupa dan dihubungkan dengan rantai yang terbuat dari besi (*iron cables*) sehingga dapat menahan gerakan kapal tersebut.

Mesin jangkar (*windlass*) merupakan mesin derek jangkar yang dipasang dikapal guna untuk keperluan menaikkan dan menurunkan jangkar serta rantai jangkar melalui tabung jangkar (*hawse pipe*). Mesin jangkar harus dilengkapi dengan system rem untuk memperlambat putaran poros dan memberhentikan penurunan rantai jangkar dan jangkarnya pada saat proses labuh jangkar. Apabila mesin jangkar dilengkapi dengan *chain stopper* yang terpasang kuat pada *forecastle deck*, maka alat ini harus memiliki kemampuan beban putus 80% dari beban putus rantai. Apabila *chain stopper* tidak terpasang maka mesin jangkar harus dapat menahan tarikan dengan beban putus 80% dari beban putus rantai dengan tanpa adanya deformasi pada peralatannya juga slip pada sistem pengeremannya.

Sistem pada kapal yang sering diabaikan adalah sistem *mooring*. *Mooring system* sendiri merupakan sistem yang dapat menjaga agar kapal dapat tetap berada pada posisinya selama pada saat kondisi tertambat, dimana komponen utama dari sistem tersebut yaitu jangkar beserta rantainya. Salah satu kerusakan jangkar beserta rantainya disebabkan terkena berbagai beban lingkungan dari laut setiap kali jangkar diturunkan maupun ketika jangkar dinaikkan, sehingga lambat-laun akan mengalami *fatigue* atau kelelahan karena adanya beban dinamik yang terjadi

secara berulang-ulang dalam jangka waktu yang lama. Resiko putusnya rantai jangkar disebabkan adanya keausan pada material rantai jangkar tersebut, keausan pada dasarnya memiliki beberapa mekanisme, yaitu abrasi, erosi, adhesive, fatik, dan korosi. Kasus semacam ini pastinya terjadi karena banyak faktor yang mendukung, seperti *human error* ataupun memang ketidaksesuaian jangkar yang di pasang pada kapal. Hal ini dapat membahayakan keselamatan para awak kapal dan kapal dapat tertabrak dengan *floating structure* lainnya. Ini merupakan salah satu alasan perlunya dilakukan suatu analisa untuk mengetahui kekuatan *mooring system*. Sehingga operabilitas dan keselamatan pada system dapat tetap terjaga.

Berdasarkan uraian tersebut, penulis akan membahas tentang mengapa perlu adanya suatu analisa tegangan *chain line* pada *Tug boat* yang diakibatkan adanya pengurangan dimensi. *Chain line* yang akan dijadikan objek analisa adalah *ordinary link*. Fokus dari penelitian ini adalah bagaimana melakukan analisa untuk mengetahui pengaruh pengurangan dimensi *chain line* yang diakibatkan oleh korosi terhadap kekuatan *chain line* secara keseluruhan. Oleh karena itu diajukanlah penelitian dengan judul **Analisis Kekuatan Rantai Jangkar setelah mengalami Korosi.**

1.2. Rumusan Masalah

Setelah melihat latar belakang yang ada dan agar dalam penelitian ini tidak terjadi kerancuan, maka penulis dapat merumuskan permasalahan yang akan diangkat dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana menghitung *Response Amplitudo Operator* (RAO) pada gerakan enam derajat kebebasan pada *Tug Boat* Mega Daya 47 akibat beban gelombang?
2. Bagaimana hubungan antara pengurangan diameter rantai dan tegangan pada rantai akibat korosi?
3. Bagaimana hubungan antara pengurangan diameter rantai jangkar dan perubahan bentuk (deformasi) rantai akibat korosi?

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka dalam pembahasan tugas akhir ini dibatasi pada.

1. Kapal yang dijadikan objek (Analisis kasus) yaitu kapal *Tug boat* Mega Daya 47.
2. Kapal *Tug boat* Mega Daya 47 dianggap stabil dalam kondisi apapun.
3. *Mooring line* keseluruhannya terdiri dari rantai (*chain*).
4. Perhitungan tegangan didasarkan pada pengurangan diameter rantai yang terjadi akibat beban yang berulang.
5. Pada penelitian ini dilakukan variasi perubahan pada dimensi rantai jangkar akibat korosi terhadap waktu operasional rantai berdasarkan standar DNV OS E301 Section E200.
6. Data kondisi lingkungan menggunakan data sekunder yang telah diketahui di daerah perairan laut Tuban.
7. Beban lingkungan yang ditinjau adalah beban arus, beban angin, dan beban gelombang pada kondisi lingkungan 100 tahunan (kondisi ekstrim).
8. Sample rantai jangkar (*Anchor Chain*) yang digunakan 1 buah.
9. Laju korosi pada rantai jangkar yang ditinjau mengalami pengurangan dimensi secara merata.
10. Analisa dan pengolahan data menggunakan software ANSYS.
11. Tidak dilakukan uji material rantai di laboratorium.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui *Respon Amplitudo Operator* (RAO) gerakan enam derajat kebebasan pada *Tug Boat* Mega Daya 47 akibat beban gelombang.
2. Menganalisis hubungan antara tingkat korosi rantai jangkar dengan kemampuan/kekuatan rantai jangkar.
3. Mengetahui deformasi yang terjadi pada setiap pengurangan diameter jangkar.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

Dapat memberikan informasi mengenai kekuatan rantai jangkar setelah mengalami korosi.

1.6. Sistematika Penulisan

Penyajian materi penulisan ini dijabarkan secara umum dalam kerangka penulisan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan, dibahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka, pada bab ini dijabarkan teori, temuan serta bahan penelitian lain dimana diperoleh dari acuan pustaka yang mendukung pada penelitian.

BAB III Metode Penelitian, dalam bab ini dijelaskan jenis penelitian yang digunakan untuk memperoleh data yang dibutuhkan.

BAB IV Hasil dan Pembahasan, dalam bab ini disajikan hasil-hasil penelitian yang telah diperoleh dari pengolahan data dan penelitian.

BAB V Penutup, berisikan kesimpulan dari penelitian dan saran-saran bagi para pembaca.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Jangkar dan Perlengkapannya

Jangkar (*anchor*) merupakan bagian dari sistem tambat (*mooring system*) yang memiliki susunan yang kompleks dari bagian-bagian dan mekanismenya, yang terdiri dari *Chain* (rantai jangkar), *Rope* (tali), *Chain locker* (kotak rantai), dan *windlass* (mesin penarik jangkar). Jangkar berguna untuk membatasi gerak kapal pada waktu labuh di Pelabuhan, agar kapal tidak berpindah tempat karena mendapat gaya dari luar (angin, arus, dan gelombang). Dapat dilihat dari kegunaannya, jangkar dan perlengkapannya harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Jangkar-jangkar diatas kapal harus memenuhi persyaratan mengenai berat, jumlah dan kekuatannya.
2. Panjang, berat dan kekuatan rantai jangkar harus cukup.
3. Rantai jangkar harus diikat dengan baik dan ditempatkan sedemikian rupa sehingga dapat di lepaskan dari sisi luar bak rantainya.
4. Harus ada jaminan, agar pada waktu mengeluarkan rantai, dapat menahan tegangan-tegangan dan sentakan-sentakan yang timbul.

Berdasarkan pada ketentuan diatas maka setiap perlengkapan jangkar mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Letak, jumlah dan berat jangkar.
2. Ukuran dan panjang rantai jangkar.
3. Mekanismenya.

2.1.1. Tipe-Tipe jangkar

1. *Bower Anchor* (Jangkar Utama)

Jangkar ini biasanya digunakan pada kapal yang memiliki DWT di atas 250 DWT. Jangkar utama diletakkan pada posisi kiri dan kanan haluan kapal dan di

gunakan pada saat berlabuh (anchorage area). Pada jangkar kiri dan kanan memiliki berat yang sama dan diatur sesuai dengan ketentuan klasifikasi. (Velasco, 2017)



Gambar 2.1 *Bower Anchor* (Jangkar Utama)

(Sumber : <https://seoasmarines.com/jenis-jangkar-dan-kegunaannya/>. 20 Juni 2018)

2. *Stream Anchor* (Jangkar Utama)

Kapal pelayaran besar (*Ocean Going Ship*) ukuran tertentu pada umumnya dilengkapi dengan satu buah jangkar arus yang berfungsi untuk membantu jangkar haluan pada saat berlabuh di daerah yang memiliki arus sangat kuat dan untuk menahan posisi kapal dibagian buritan agar posisi kapal tidak berubah. Jangkar arus terletak pada bagian buritan kapal dan memiliki ukuran 1/3 berat jangkar haluan. (Velasco, 2017)



Gambar 2.2 *Stream Anchor* (Jangkar Arus/Buritan)

(Sumber : <https://seoasmarines.com/jenis-jangkar-dan-kegunaannya/>. 20 Juni 2018)

3. *Kedges Anchor* (Jangkar cemat)

Jangkar cemat adalah jangkar yang berguna untuk memindahkan jangkar haluan apabila kapal kandas (diangkut dengan sekoci) dan berukuran 1/6 kali jangkar haluan (Rafi Nareza, 2015).



Gambar 2.3 *Kedges Anchor* (Jangkar cemat)

(Sumber : <https://seoasmarines.com/jenis-jangkar-dan-kegunaannya/>. 20 Juni 2018)

4. *Stockless Anchor*

Jangkar ini banyak digunakan pada kapal-kapal yang memiliki ukuran besar dan jenis jangkar ini memiliki taung jangkar yang dapat bergerak. Cara kerja jangkar ini adalah, pada saat jangkar diturunkan maka bagian legan akan bergerak ke arah bawah. Itu dikarenakan adanya engsel pada bagian mahkota jangkar (Crown). Lengan jangkar dapat bergerak dengan sudut 45 derajat. Pada posisi tersebut maka bagian lengan jangkar dapat menancap dengan sempurna ke dasar laut. (Velasco, 2017)



Gambar 2.4 *Stockless Anchor*

(Sumber: <https://seoasmarines.com/jenis-jangkar-dan-kegunaannya/>. 21 Juni 2018)

5. *Danforth Stock Anchor*

Jenis jangkar ini memiliki daya cengkraman lebih baik dibandingkan dengan jangkar stockless anchor. Namun, dengan adanya tongkat jangkar sehingga kedua lengan jangkar tidak dapat menancap ke dasar laut. Selain itu, tiang jangkar juga tidak dapat langsung masuk pada hawse pipe di kapal. Pada umumnya jangkar dengan jenis Danforth stock anchor banyak digunakan pada kapal-kapal khusus dengan ukuran panjang kapal yaitu 100 ft. (Velasco, 2017)



Gambar 2.5 *Stockless Anchor*

(Sumber: <https://seoasmarines.com/jenis-jangkar-dan-kegunaannya/>. 21 Juni 2018)

Pemilihan perlengkapan kapal seperti jangkar, rantai jangkar dan alat-alat tambat lainnya tergantung dari angka petunjuk (*equipment number*) yang diatur oleh beberapa klasifikasi (BKI Vol. III, 2016).

Menurut BKI 2014 Volume II Section 18 B.1

$$Z = D^{\frac{2}{3}} + 2hB + \frac{A}{10} \quad (2.1)$$

Dimana :

Z = Modulus (m^3)

D = Displacement (Ton)

B = Lebar kapal (m)

h = Penjumlahan *free board* dengan tinggi *superstructure* (m)

A = Luas bidang lateral dari badan dan bangunan atas yang berada di atas garis air (m^2)

2.2. Operasional Jangkar

Jangkar ditarik dengan melalui hawse pipe, jangkar yang terkait dengan menggunakan joining shackle dan dilengkapi dengan swivel sehingga apabila jangkar berputar maka rantai jangkar tidak melilit dan rantai akan melalui chain stopper yang terpasang digeladak. Selanjutnya rantai ditarik oleh drum (gipsy) mesin jangkar yang berputar dengan penggerak motor listrik. Kemudian rantai ditarik masuk melalui chain pipe terus turun masuk ke bak rantai dan pada ujungnya rantai dikaitkan pada chain slip dengan dikaitkan pada segel penghubung seterusnya segel ini dikaitkan pada cable clinch kaitan yang dipasang kuat pada salah satu konstruksi kapal seperti frame. Rangkaian rantai pada bagian ujung dalam dekat dengan bak rantai dilengkapi slip hook dibagian chain slip ini saat darurat dapat dengan mudah dilepas.

Ketika kapal perlu berhenti dalam waktu lama, maka jangkar diturunkan. Dengan demikian, mesin penarik jangkar akan dijalankan dan menarik rantai jangkar keluar dari chain locker, posisinya ada di bawah mooring deck.

Peran rantai jangkar tidak berhenti di situ. Menurunkan rantai jangkar kapal tidak bias sembarangan, karena harus mengatur kecepatan dan menyesuaikan arah arus laut. Hal tersebut penting karena ketika jangkar menyentuh dasar laut, arah arus di bawah laut akan memberikan dorongan (horizontal pull) kepada jangkar dan rantai jangkar sehingga memungkinkan jangkar dapat tersangkut ke permukaan dasar laut dengan sempurna.

2.3. Beban Lingkungan

Terdapat beberapa gejala alam yang merupakan bagian dari beban lingkungan yang dialami oleh struktur bangunan apung di lokasi operasi, yang paling utama adalah beban gelombang, arus, dan angin.

2.3.1 Beban Gelombang

Gelombang merupakan manifestasi dari suatu rambatan energi yang memiliki frekuensi dan periode. Gelombang dapat disebabkan oleh angin, gerhana kapal, gempa atau gaya gravitasi dari matahari dan bulan. Jika gelombang yang merambat

mengenai struktur yang berada diperairan akan dikenai gaya yang ditimbulkan oleh gelombang. Setiap gelombang dilaut dibebani oleh gaya gelombang, untuk menghitung gaya tersebut maka diperlukan penerapan mekanika gelombang. Dalam perhitungan gaya gelombang dapat digunakan beberapa rumusan dimana didasarkan pada perbandingan antara D (diameter struktur) dengan L (panjang gelombang) sebagai berikut:

1. Untuk struktur yang berukuran kecil “*small body*” ($D/L \leq 0$) dapat digunakan persamaan *Morison*.
2. Jika struktur ($0.2 < D/L \leq 0.5$) maka dapat digunakan persamaan *Froude Krylov*.
3. Sedangkan jika struktur memiliki ukuran yang besar “*large body*” ($D/L > 0.5$) dapat digunakan teori difraksi.

Akibat dari adanya struktur maka gelombang akan terdifraksi dan terjadi perubahan pada pola aliran. Akibat terjadinya perubahan pola aliran maka terdapat potensi kecepatan yang baru. Gaya difraksi pada struktur terapung perlu dilakukan peninjauan syarat batas dari setiap kasus dan memerlukan pendekatan matematis yang kompleks. Potensial kecepatan yang baru didapat dengan menggunakan prinsip superposisi, namun secara umum dapat disajikan dalam bentuk matematis:

$$\phi = \phi I + \phi D \quad (2.2)$$

Dimana:

ϕ = Potensial kecepatan total (m/s)

ϕI = Potensial kecepatan gelombang datang (m/s)

ϕD = Potensial kecepatan yang menyebar (scattered) (m/s)

2.3.2. Beban Arus

Arus mempunyai kondisi lingkungan yang penting untuk diperhitungkan dalam perancangan karena mempunyai pengaruh pada beberapa hal, yaitu:

1. Letak dan arah kedudukan sandaran kapal dan dampra tongkang
2. Gaya yang diderita anjungan

Arus pada umumnya dikategorikan sebagai berikut :

1. Arus pasut (terkait dengan pasut astronomis)
2. Arus sirkulasi (terkait dengan pola sirkulasi laut)
3. Arus yang ditimbulkan oleh badai/angin

Hasil penjumlahan vektor dari ketiga arus tersebut merupakan arus total. Besaran relatif dari semua komponen vektor ini sangat bergantung pada kondisi lepas pantai setempat. Arus laut pada dasarnya dapat memberikan pengaruh pada beban dinamis, yaitu pada gaya *drag* dalam Persamaan Morison.

Besar dan arah dari arus pasut pada permukaan air umumnya diperoleh dengan mengukur besarnya arus pada daerah setempat.

Adapun variasi kecepatan arus dapat dihitung dengan persamaan:

$$U_T = U_0 \left(\frac{y}{h} \right)^{1/7} \quad (2.3)$$

dengan:

U_T = Kecepatan arus pada ketinggian y dari permukaan (m/s)

U_0 = Kecepatan arus di permukaan laut (m/s)

h = Kedalaman laut (m)

y = Kedalaman yang ditinjau (m)

2.3.3. Beban Angin

Gaya angin yang bekerja pada sebuah struktur terapung merupakan penjumlahan gaya-gaya yang diterima oleh masing-masing komponen struktur. Gaya angin tersebut timbul akibat adanya hambatan kekentalan udara dan adanya perbedaan distribusi tekanan di sisi komponen yang menghadap ke arah angin dan sisi-sisi komponen lainnya.

Besarnya gaya angin tergantung pada kecepatan hembusan angin dan ukuran serta bentuk dari struktur.

Dalam buku *Offshore Structural Engineering*, hal 93, diberikan persamaan untuk menghitung gaya angin (N) yang bekerja pada suatu obyek (Baeda, A, Y, 2005)

$$F = \frac{1}{2} \rho \cdot C_w \cdot A \cdot v^2 \quad (2.4)$$

Dimana:

ρ = massa jenis udara; (1,29 kg/m³)

C_w = koefisien gaya angin

A = luas bidang tangkap angin (m²)

v = kecepatan angin (m/s)

2.4. Respon Amplitude Operator (RAO)

Sebelum mencari nilai *Response Amplitude Operator* suatu sistem *mooring* semestinya dianalisa berdasarkan suatu batasan desain kriteria diformulasikan dalam tiga batasan atau *Limit State* yang telah ditetapkan (DNV-OS-E301, 2004), yaitu:

1. *Ultimate Limit State (ULS)*, untuk memastikan bahwa sebuah *mooring line* cukup kuat untuk bertahan terhadap efek beban yang ditimbulkan oleh beban lingkungan pada kondisi ekstrem.
2. *Accidental Limit State (ALS)*, untuk memastikan bahwa suatu sistem *mooring* memiliki kapasitas yang cukup untuk bertahan pada kegagalan sebuah *mooring line* yang dimana penyebab dari terjadinya kegagalan tidak diketahui.
3. *Fatigue Limit State (FLS)*, untuk memastikan bahwa sebuah *mooring lines* memiliki kapasitas.

Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respons yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur. *RAO* merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk response pada suatu struktur. Bentuk umum dari persamaan *RAO* dalam fungsi frekuensi adalah sebagai berikut:

$$\text{Response}(\omega) = (RAO)\eta(\omega) \quad (2.5)$$

Dimana:

η : amplitudo gelombang

Menurut (Chakrabarti, S.K., 1987), persamaan *RAO* dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \quad (2.6)$$

Dimana:

$X_p(\omega)$ = Amplitudo gerakan struktur (m)

$\eta(\omega)$ = Amplitudo gelombang (m)

Menurut (Djarmiko, E.B., 2012), respon gerakan *RAO* terbagi menjadi dua, yaitu:

1. Respons gerakan *RAO* untuk gerakan translasi (*surge, sway, heave*) merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan dibanding dengan amplitudo gelombang insiden (keduanya dalam satuan panjang).
2. Respons gerakan *RAO* untuk gerakan rotasi (*roll, pitch, yaw*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni yang merupakan perkalian antara gelombang $\left(kw = \frac{\omega^2}{g}\right)$ dengan amplitudo gelombang insiden.

2.5. Spektrum Gelombang

Respon struktur dapat diketahui melalui perkalian antara *RAO* kuadrat dengan spektrum gelombang. Spektrum respon dapat didefinisikan sebagai energy struktur akibat gelombang. Jika dikformulasikan akan didapat persamaan :

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2.7)$$

Dimana :

S_R : spektrum respons (m^2 -sec)

$S(\omega)$: spektrum gelombang (m^2 -sec)

RAO (ω) : transfer function

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

Pada tahun 1967 T.P Barnett dan J.C Wilkerson pertama kali menyempurnakan spektrum gelombang dalam satu dimensi dengan modal data radar *altimetry*. Pada pengamatan tersebut mereka hanya menggunakan dua profil angin saja. Setelah itu, Synder dan Cox dapat menemukan exponential pertumbuhan gelombang.

Dengan menggunakan Pendekatan Kitaigorodskii dan Hipotesis Philips, pendekatan yang sama digunakan oleh Pierson dan Moskowitz. Hasselmann dkk (1973) mengusulkan satu model spektrum yang baru berdasar pada *Joint North Sea Wave Project* (JONSWAP) dengan mempertimbangkan *fetch* dengan luas yang tidak terbatas. Spektrum JONSWAP berlaku untuk *not fully developed sea states* dan juga digunakan pada *fully developed sea states* (Rusmiati, 2020).

Persamaan spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari persamaan spektrum Pierson-Morkowitz untuk keadaan perairan tertutup di laut utara. Selain itu, spektrum JONSWAP juga dapat diaplikasikan di lingkungan perairan yang kondisi *fetch*-nya terbatas dan *shallow water*. Dari penjelasan di atas, maka spektrum JONSWAP cocok diaplikasikan di Indonesia karena karakteristik Perairan Indonesia yang tertutup/kepulauan, namun harus menyesuaikan kondisi lingkungan perairan tempat di mana struktur terapung tersebut beroperasi (Rusmiati, 2020).

Pada DNV RP C205 juga dijelaskan bahwa spektrum JONSWAP diaplikasikan pada perairan dengan:

$$3.6 < \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} < 5 \quad (2.8)$$

Dimana:

T_p = Periode puncak gelombang (s)

H_s = Tinggi gelombang signifikan (m)

Formulasi spektra JONSWAP merupakan modifikasi dari spektra P-M, dengan memasukkan parameter-parameter yang akan mengakomodasi karakteristik gelombang perairan tertutup atau kepulauan. Persamaan spektra JONSWAP ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$S_{\zeta}(\omega) = ag^2\omega^{-5} \exp\left\{-1.25\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)\right\} \gamma^{EXP\left[\frac{-\omega-\omega_0^2}{2\tau^2\tau-\omega\omega_0^2}\right]} \quad (2.9)$$

Dimana:

$$a = 0.076 (X_0)^2$$

$$X_0 = \frac{gx^2}{U_w}$$

x = Panjang *fetch* (m)

U_w = Kecepatan angin (m/s)

a = 0.00081 jika X tidak diketahui

γ = Parameter ketinggian atau *peakedness parameter*, dimana harganya dapat bervariasi antara 1.0 sampai 7.0, untuk Laut Utara sendiri harganya ditentukan 3.3

τ = Parameter bentuk atau *shape parameter*

$$\tau = 0.07 \quad \omega \leq \omega_0$$

$$\tau = 0.09 \quad \omega > \omega_0$$

$$\omega_0 = 2\pi \left(\frac{g}{U_w}\right)(X_0)^{-0.33}$$

Sedangkan, untuk mencari nilai dari parameter puncak (γ) gelombang penulis dapat mengetahui nilainya dengan menggunakan persamaan seperti di bawah berikut:

$$\gamma = \exp \left[3.4843 \left(1 - 0.1975 \left(0.036 - 0.0056 \frac{T_P}{\sqrt{H_s}} \right) \frac{T_P^4}{\sqrt{H_s}^2} \right) \right] \quad (2.10)$$

dengan:

T_P = Periode puncak spectra (s)

H_s = Tinggi gelombang signifikan (m)

2.6. *Tension pada Mooring Line*

Tension yang terjadi pada *mooring line* dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. *Mean Tension.*

Tension pada *mooring line* yang berkaitan dengan *mean offset* pada *vessel*.

2. *Maximum Tension.*

Mean Tension yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low frequency tension*.

Menurut API RP 2SK 2nd edition, tarikan maksimum (*maximum tension*) dapat ditentukan dengan prosedur dibawah ini:

a. Jika $T_{lf_{max}} > T_{wf_{max}}$, maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{lf_{max}} + T_{wf_{sig}} \quad (2.11)$$

b. Jika $T_{lf_{max}} < T_{wf_{max}}$, maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{wf_{max}} + T_{lf_{sig}} \quad (2.12)$$

Dengan:

T_{mean} = *mean tension*

T_{max} = *maximum tension*

$T_{wf_{max}}$ = *maximum wave frequency tension*

$T_{wf_{sig}}$ = *significant wave frequency tension*

$T_{lf_{max}}$ = *maximum low-frequency tension*

$T_{lf_{sig}}$ = *significant low-frequency tension*

Untuk mengetahui desain sistem tambat aman atau tidak, harus dilakukan pengecekan. Salah satunya pengecekan dapat dilakukan pada nilai *tension* pada masing-masing rantai jangkar. Tension pada rantai jangkar harus sesuai dengan kriteria *safety factor* yang terdapat pada *rules*. Pada tugas akhir ini *rules* yang dipakai sebagai acuan adalah ABS.

Dengan adanya nilai *tension* maksimum, desain tali tambat dapat diberikan kriteria aman atau tidak dengan cara mengecek nilai *tension* pada masing-masing jangkar harus sesuai dengan kriteria *safety factor*. *Rule* yang akan digunakan adalah ABS, dimana telah menetapkan *safety factor* untuk *mooring line* harus lebih besar dari 1,67.

Persamaan *safety factor* adalah:

$$\text{Safety Factor} = \frac{\text{Minimum Breaking Load}}{\text{Maximum Tension}} \quad (2.13)$$

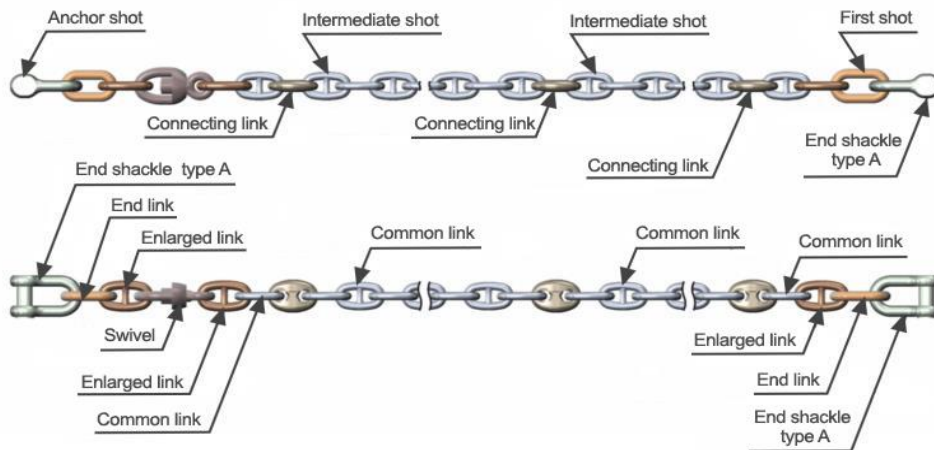
2.7. Mooring Chain

Rantai tambat yang digunakan di lepas pantai hanya dapat diproduksi dan dioperasikan berdasarkan dengan acuan terhadap aturan yang telah ditetapkan oleh *class* dari masing-masing negara. Rantai jangkar dapat terdiri dari berbagai tingkatan *grade* atau kualitas.

Bagian – bagian dari rantai jangkar terdiri dari potongan satu segel dengan *shackle* sebagai pembatas. Setiap satu segmen Panjangnya adalah 15 *fathoms*, dimana satu *fathoms* sama dengan enam *feet*. Menurut *Lloyd Register*, satu segmen panjangnya 15 *fathoms*, atau sekitar 27,5 meter.

Dalam satu rangkaian rantai (1 segel), rantai terangkai sebagai berikut; 1 buah kanter + 1 buah *endlink* + 1 buah *large link* + beberapa rangkaian *ordinary link* / *common link* + 1 buah *large link* + 1 buah *end link*, sehingga membentuk rangkaian rantai sepanjang 27,5 m. Setiap kapal, panjang rantai jangkarnya berbeda-beda tergantung dari besarnya kapal, misalkan untuk kapal tanker 6500 Dwt membutuhkan panjang rantai jangkar 495 m atau senilai 18 segel atau untuk setiap

jangkar memerlukan rantai sepanjang 247.5 m atau senilai dengan 9 segel rantai. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.6 Jenis Mooring Lines Tipe Chain

Setiap panjang rantai disambung dengan menggunakan segel (*shackle*). Sedangkan untuk menyambung rantai dengan jangkar digunakan *anchor shackle* yang dilengkapi *swivel*, yang memungkinkan jangkar berputar, tanpa mengakibatkan rantai yang dipasang sebelum atau di belakang jangkar tersebut terpuntir. Sedangkan ujung rantai lainnya diikatkan pada kapal didalam kotak rantai (*chain's locker*) dengan menggunakan segel. Ujung rantai jangkar harus diikatkan pada kapal dengan alasan agar rantai dapat tertahan atau tidak hilang jika jangkar diturunkan terus sampai batas maksimum panjang rantainya. Setiap segel jumlah mata rantainya selalu ganjil supaya sambungan segel harus pada kedudukan rata pada waktu mata spil jangkar. Segel-segel biasa (*normal connecting shackle*) yang menghubungkan setiap 15 *fathoms* panjang rantainya harus dipasang dengan lengkung menghadap ke arah jangkarnya, agar supaya pada waktu lego jangkar licin dan tidak merusakkan mata spil jangkar.

Pada Gambar 2.7 berikut ditampilkan berbagai jenis macam rantai yang biasanya digunakan untuk melakukan tambatan benda apung di laut lepas.



Gambar 2.7 Jenis – Jenis Penyambung Rantai

2.8. Laju Korosi

Analisa penurunan dimensi pada struktur *chain line* yang terjadi akibat adanya laju korosi dilakukan untuk melihat kekuatan pada struktur *chain line* yang terkena laju korosi selama periode waktu 3 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun. Dari hasil analisa pengurangan dimensi pada *chain line* akan didapatkan hasil berupa nilai *Max. Stress* dan nilai deformasi dari adanya pengurangan dimensi akibat laju korosi pada *chain line*.

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* akibat adanya laju korosi dengan mengurangi ketebalan pada struktur dengan menggunakan metode weight gain loss yaitu dengan menggunakan persamaan :

$$R = \frac{K \times \Delta W}{A \times T \times D} \quad (2.14)$$

Dimana :

- R : Laju korosi (mm/year)
- ΔW : Berat yang hilang (gram)
- A : Luas Permukaan (cm²)
- D : Density (gr/cm³)

T : Waktu (jam)
K : Konstanta ($8,76 \times 10^4$)

2.9. Teori Elastisitas

Menurut Szilard (1989), Teori Elastisitas merupakan cabang dari fisika matematis yang mengkaji hubungan gaya, perpindahan, tegangan, regangan, dan beda elastis. Bila suatu pejal di bebani gaya dari luar, benda tersebut akan berubah bentuk/berdeformasi, sehingga timbul tegangan dan regangan dalam. Perubahan bentuk ini tergantung pada konfigurasi geometris benda tersebut dan mekanis bahannya. Teori elastisitas menganggap bahan bersifat *homogen* dan *Isotropik*, dengan demikian sifat mekanis bahan sama dalam segala arah.

2.9.1. Tegangan

Menurut Popov (1984), pada umumnya tegangan adalah gaya dalam yang bekerja pada luasan yang kecil tak hingga pada sebuah potongan dan terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah. Gaya-gaya dalam ini merupakan vektor dalam alam dan bertahan dalam keseimbangan terhadap gaya-gaya luar terpakai. Pada umumnya, intensitas gaya yang bekerja pada luas yang kecil tak berhingga suatu potongan berubah-ubah dari satu titik ke titik yang lain, umumnya intensitas ini berarah miring pada bidang potongan. Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (*normal stress*) pada suatu titik.

$$\sigma = \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (2.15)$$

Dimana:

ΔF = gaya yang bekerja pada struktur (N)

ΔA = luas penampang (m^2)

2.9.1.1. Tegangan Aksial

Tegangan Aksial Tegangan aksial atau tegangan normal adalah tegangan yang bekerja tegak lurus penampang struktur. Tegangan aksial dapat dihasilkan dari

gaya tarik ataupun gaya tekan. Ada dua jenis, yakni tarik (memanjang) dan tekan (memendek). Persamaan tegangan aksial adalah sebagai berikut :

$$\tau = F/A \quad (2.16)$$

Dimana :

τ : tegangan aksial (Pa)

F : gaya yang bekerja dalam arah tegak lurus terhadap penampang (N)

A : luas penampang (m²)

2.9.1.2. Tegangan Geser

Tegangan geser adalah intensitas gaya pada suatu titik yang sejajar terhadap penampang. Persamaan tegangan geser adalah sebagai berikut :

$$\tau = V/A \quad (2.17)$$

Dimana : τ : tegangan geser (N/m²)

V : gaya yang bekerja dalam arah sejajar terhadap penampang (N)

A : luas penampang (m²)

2.9.2. Regangan

Menurut Popov (1984), perpanjangan per-satuan luas disebut dengan regangan (*strain*), yang merupakan besaran yang tidak berdimensi, tetapi lebih baik memberinya dimensi meter/meter atau m/m. kadang-kadang regangan diberikan dalam bentuk persen. Besaran regangan (ϵ) sangat kecil, kecuali untuk beberapa bahan seperti karet. Bila regangan tersebut diketahui, maka deformasi total dari pembebanan aksial adalah ϵL . Hubungan ini berlaku untuk setiap panjang ukur sampai beberapa deformasi local mengambil bagian pada skala yang cukup bedar. Secara matematis dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{\Delta}{L} \quad (2.18)$$

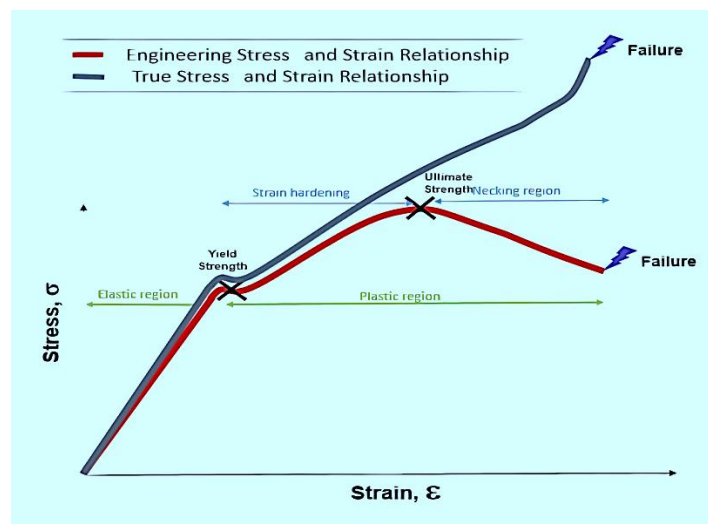
Dimana:

Δ = panjang total (m)

L = panjang awal (m)

2.9.3. Kurva True Stress - Strain

Ketika ingin menganalisa kurva tegangan dan regangan pada *Ansys Mechanical* maka kurva yang akan muncul adalah kurva *true stress-strain*. Perbedaan antara kurva *true stress strain* dan kurva *engineering stress strain* berada pada saat terjadinya *ultimate tensile strength* dimana pada kurva *true stress strain* nilainya akan naik sedangkan dalam kurva *engineering stress strain* bentuk kurvanya akan turun setelah terjadinya *ultimate tensile strength* sampai ke *breaking point* seperti pada Gambar 2.9 di bawah. Jadi, analisa yang penulis akan lakukan adalah bentuk *tensile test* terhadap kekuatan *anchor chain*.



Gambar 2.8 Perbedaan antara *engineering vs true stress strain curve*

Perbedaan yang dapat dilihat pada gambar di atas terjadi karena pada saat terjadi *necking* di titik *ultimate tensile strength engineering stress strain* hanya melakukan pendekatan dengan cara membagi gaya terhadap *cross sectional area* awalan atau sebelum terjadinya *necking*. Untuk kurva *true stress strain* sendiri memakai *cross sectional area* yang akan berubah, dimana perubahannya akan semakin kecil seiring meningkatnya gaya yang diberikan, sehingga nilai tegangan akan terus meningkat.

2.10. Ansys

Ansys adalah salah satu *software* yang digunakan untuk menganalisis berbagai macam struktur, aliran fluida, dan perpindahan panas. Adapun contoh software analisis yang lain yaitu NASTRAN, CATIA, Fluent dan yang lainnya (Pinem, 2013).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku batang baja akibat mendapat beban terpusat. Pada penggunaannya, secara umum program ANSYS memiliki tahapan utama yaitu (Kusbiantoro dkk, 2016) :

1. *Pre-Processing* adalah langkah awal dalam permodelan elemen hingga. Pada pre-processing terdapat beberapa fungsi dimana kita harus mendefinisikan fungsi-fungsi tersebut akan menghasilkan perhitungan yang spesifik pada benda yang akan dianalisa. Fungsi-fungsi yang terdapat pre-processing adalah: permodelan, penentuan tipe elemen, penentuan material, *meshing*.
2. *Solution*, Pada tahapan ini FEM telah mendekati proses perhitungan dan analisa. Ada beberapa langkah dalam proses perhitungan yang harus dilalui terlebih dahulu. Langkah-langkah tersebut adalah: pembebanan dan analisa.
3. *General Post-Processing* Setelah proses permodelan dan analisis selesai langkah selanjutnya adalah proses *post processing*. Proses ini digunakan untuk melihat hasil analisis, dalam hal ini hasil yang dilihat adalah *displacement*, momen, gaya geser, dan gaya normal yang terjadi.