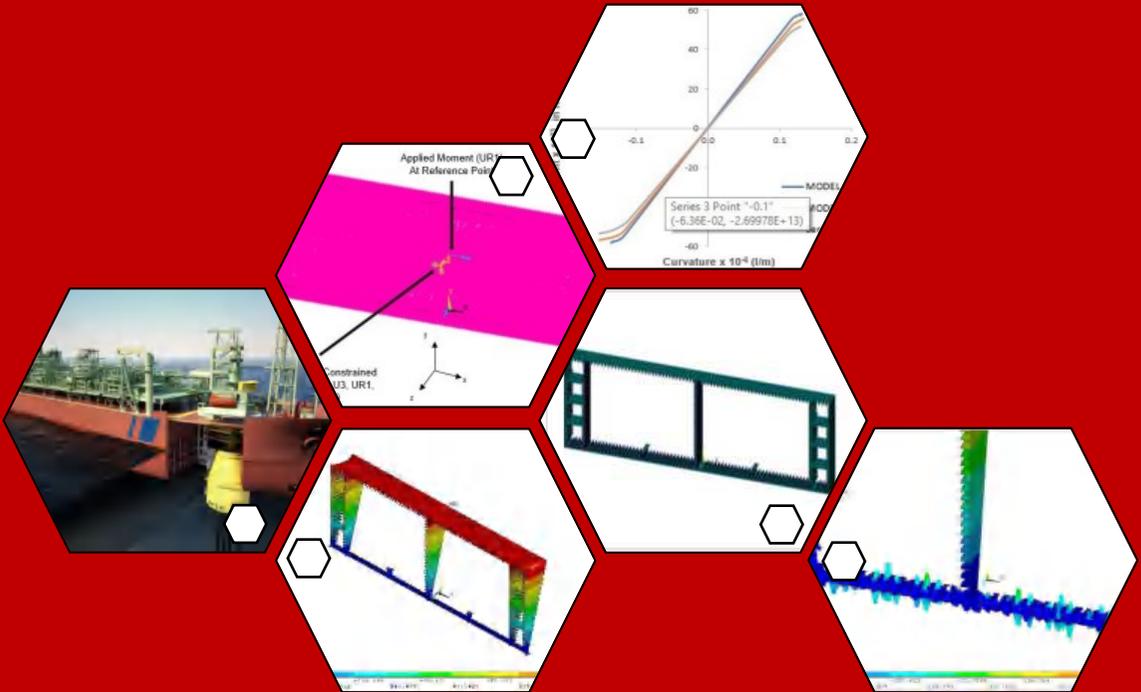


PENGARUH KOROSI PADA KAPAL FPSO TERHADAP KEKUATAN MEMBUJUR



ANDI HAMRIL VIKRI AL FARISI

D081 20 1055



Optimized using
trial version
www.balesio.com

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA
2024

**PENGARUH KOROSI PADA KAPAL FPSO
TERHADAP KEKUATAN MEMBUJUR**

ANDI HAMRIL VIKRI AL FARISI

D081201055



**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

Optimized using
trial version
www.balesio.com

**PENGARUH KOROSI PADA KAPAL FPSO
TERHADAP KEKUATAN MEMBUJUR**

**ANDI HAMRIL VIKRI AL FARISI
D081 20 1055**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana
Teknik Kelautan

pada

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Gowa



**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**PENGARUH KOROSI PADA KAPAL FPSO
TERHADAP KEKUATAN MEMBUJUR**

ANDI HAMRIL VIKRI AL FARISI
D081201055

Skripsi,

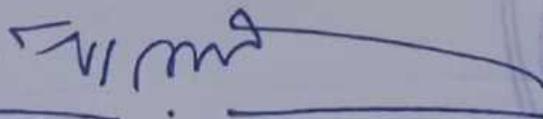
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sarjana Pada Tanggal 02/08/2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada



Mengesahkan:
Pembimbing Utama

Mengetahui:
Ketua Departemen,




Ahmad Zubair Muis Alie, ST., MT., Ph.D-Eng
00501 1 003


Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.
NIP. 19750605 200212 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul "**Pengaruh Korosi Pada Kapal FPSO Terhadap Kekuatan Membujur**". Adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Prof. Ir. Muhammad Zubair Muis Alie. ST., MT., Ph.D-Eng). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 2 Agustus 2024



ANDI HAMRIL VIKRI AL FARISI
D081201055



UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul "Pengaruh Korosi Pada Kapal FPSO Terhadap Kekuatan Membujur". Shalawat dan salam tak lupa juga penulis kirimkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW yang telah mengantarkan dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang-benderang. Penulis menyadari bahwa dalam proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini telah banyak pihak yang membantu dalam bentuk apapun itu. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak dengan segala keikhlasannya yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada:

1. Kedua Orang Tua, **Bapak Fahrudin Potutu dan Ibu Andi Ratnawati** yang telah berjuang dan terus mendoakan sedari awal serta melakukan apapun untuk mengusahakan anaknya bisa berada di titik lebih dari dirinya. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih untuk semua pengorbanan tulus yang tentunya tidak akan pernah bisa terbalaskan. Penulis percaya bahwa setiap langkah yang dimudahkan oleh-Nya adalah hasil pengijabahan doa kedua orang tua penulis.
2. Saudara kandung penulis maa brotherr **Andi Ali Akbar** yang telah membantu, membiayai, menasehati, mengarahkan, serta mendidik dalam aspek berbagai hal sehingga penulis tidak dapat sebutkan sedemikian rupa. Untuk ini penulis sangat berterimakasih.
3. Bapak **Dr. Ir. Ashury Djamaluddin ST., MT.** selaku Penasehat Akademik (PA) selama menjadi mahasiswa Teknik Kelautan, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.
4. Dosen Pembimbing, **Prof. Ir. Muhammad Zubair Muis Alie. ST., MT., Ph.D-Eng.** Terima kasih atas segala keikhlasan, kesabaran dan ketulusannya serta dukungan tak terhitung dalam mengarahkan, memberikan bimbingan, bantuan dan motivasi serta masukan-masukan kepada penulis dimulai dari awal perkuliahan dan ditahap penelitian, penulisan skripsi sampai dengan hari ini.
5. Bapak **Ir. H. Juswan, ST., MT.** dan **Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT.** selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu dan memberikan kritik serta saran yang sangat membantu penulis dalam proses penelitian maupun penyusunan skripsi ini.
6. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan yang telah mengesahkan skripsi ini dan Penasehat Akademik (PA) jadi mahasiswa Teknik Kelautan sehingga saya dapat studi.



Departemen Teknik Kelautan yang telah memberikan ilmu serta a selama dalam proses perkuliahan.

8. **Tenaga Kependidikan Departemen Teknik Kelautan**, yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.
9. Orang terdekat penulis, **Ega Rahmah Fahyuniar**, Terima kasih untuk selalu meluangkan waktu untuk menemani, mengarahkan, memberikan masukan, motivasi serta semangat yang tak henti-hentinya.
10. Teman terdekat penulis, **Amar Ma'rub**, salah satu manusia yang ber-impact, saudara magang di Pelindo *Makassar New Port* dan banyak pengalaman dan kesan yang sudah di lalui baik itu buruk dan baiknya, penulis sangat menghargai hal tersebut dan menjadikan pengalaman yang sangat berkesan untuk penulis.
11. Teman - teman **Naval20** dan khususnya mahasiswa **Teknik Kelautan 2020** yang kebersamai 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.
12. Teman-teman **Labo OSAREL 2020** yang selalu memberikan semangat kepada penulis. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih juga kepada **Alumni Labo OSAREL** yang selalu bersedia memberikan pengarahan.
13. Serta semua pihak yang turut serta dalam penyelesaian pendidikan, penelitian, dan penyusunan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Penulis menyampaikan ucapan Terima Kasih yang sebesar-besarnya untuk seluruh bantuan yang diberikan. Dengan segala kerendahan hati penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis terbuka menerima kritik serta saran dan masukan yang bersifat membangun dari berbagai pihak. Dari masukan-masukan tersebut diharapkan dapat menyempurkan kualitas dari skripsi ini.

Akhir kata penulis sangat berterimakasih kepada Allah SWT telah memberikan kesehatan dan nikmat sampai penulis bisa berada di titik ini, ini mungkin bukan akhir tapi penulis hanya bisa meminta dan memohon ridha-Nya. Penulis berharap dari segala bantuan serta dukungan yang diberikan oleh semua pihak akan mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT, Aamiin.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatu

Penulis,



ANDI HAMRIL VIKRI AL FARISI

ABSTRAK

ANDI HAMRIL VIKRI AL FARISI. **Pengaruh Korosi Pada Kapal FPSO Terhadap Kekuatan Membujur** (dibimbing oleh **Muhammad Zubair Muis Alie**)

Banyak ladang minyak dan gas bumi ditemukan diperairan lepas pantai, dan pengeboran dilakukan di berbagai lokasi strategis, oleh karena itu *Floating Production Storage and Offloading* (FPSO) merupakan hal yang umumnya digunakan dalam industri minyak dan gas untuk mengekstraksi, memproses, dan menyimpan minyak dan gas bumi di perairan lepas pantai. Dalam proses pemindahan dan penyimpanan minyak dan gas bumi menggunakan kapal FPSO tentunya perlu diperhatikan tingkat korosi pada kekuatan membujur kapal. Korosi pada kapal merupakan masalah serius yang dapat mempengaruhi keandalan, keamanan, dan umur operasional kapal. Korosi adalah serangan destruktif pada logam melalui reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan membujur kapal FPSO yang disebabkan oleh pengurangan ketebalan pelat akibat dari korosi dengan tingkat pengurangannya sebesar 20% dan 40%. Analisis kekuatan membujur dilakukan dengan menggunakan metode *Non Linear Finite Element Analysis* (NLFEA) dengan proses kontrol momen. Kerusakan yang disebabkan oleh korosi pada kapal FPSO dimodelkan berdasarkan sarat kapal yang sudah ditentukan dari objek penelitian. Analisa ini hanya dilakukan pada bagian konstruksi *Midship*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai kekuatan pada setiap tingkat pengurangan ketebalan pelat yang diakibatkan oleh korosi yang sudah ditentukan sebelumnya. Pada kondisi utuh kapal FPSO model 1, kekuatan batas momen lenturnya adalah $5,77 \times 10^{13}$ Nmm pada kondisi *Hogging* dan $-5,82 \times 10^{13}$ Nmm pada kondisi *Sagging*. Pada kondisi kerusakan kapal FPSO model 2, kekuatan batas momen lenturnya berkurang menjadi $5,55 \times 10^{13}$ Nmm pada kondisi *Hogging* dan $-5,65 \times 10^{13}$ Nmm pada kondisi *Sagging*. Sementara pada kondisi kerusakan kapal FPSO model 3, kekuatan batas momen lenturnya semakin menurun menjadi $5,14 \times 10^{13}$ Nmm pada kondisi *Hogging* dan $-5,35 \times 10^{13}$ Nmm pada kondisi *Sagging*. Grafik hubungan momen kelengkungan ditampilkan serta deformasi yang disebabkan oleh korosi pada kapal FPSO juga dicantumkan.

Kata kunci: FPSO, penampang kapal, Korosi, NLFEA, kuat batas



ABSTRACT

ANDI HAMRIL VIKRI AL FARISI. **The Effect of Corrosion on FPSO to the Longitudinal Strength** (supervised by **Muhammad Zubair Muis Alie.**)

Many oil and gas fields are found in offshore fields, and drilling is carried out in various strategic locations, therefore Floating Production Storage and Offloading (FPSO) is something that is generally used in the oil and gas industry to extract, process and store oil and gas earth in offshore fields. In the process of transferring and storing oil and gas using an FPSO ship, of course it is necessary to pay attention to the level of corrosion to the longitudinal strength of the ship. Corrosion on ships is a serious problem that can affect the reliability, safety and operational life of ships. Corrosion is a destructive attack on metal through chemical or electrochemical reactions with the environment. The objective of the present study is to determine the longitudinal strength of FPSO ships caused by a reduction in plate thickness due to corrosion with reduction levels of 20% and 40%. Longitudinal strength analysis is carried out using the Non Linear Finite Element Analysis (NLFEA) method with a moment control process. Damage caused by corrosion on FPSO ships is modeled based on the ship's draft which has been determined from the research object. This analysis is only carried out on the Midship construction section. The results of the research show that there is a decrease in strength values at each level of plate thickness reduction caused by predetermined corrosion. In the intact condition of the FPSO model 1 ship, the bending moment ultimate strength is 5.77×10^{13} Nmm in the Hogging condition and -5.82×10^{13} Nmm in the Sagging condition. In the FPSO model 2 ship damage condition, the bending moment ultimate strength is reduced to 5.55×10^{13} Nmm in the Hogging condition and -5.65×10^{13} Nmm in the Sagging condition. Meanwhile, in the damaged condition of the FPSO model 3 ship, the bending moment ultimate strength further decreases to 5.14×10^{13} Nmm in the Hogging condition and -5.35×10^{13} Nmm in the Sagging condition. The bending moment curvature relationship is plotted and the deformation caused by corrosion on the FPSO is also presented.

Keywords: FPSO, cross section, Corrosion, NLFEA, ultimate strength.



DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
Latar Belakang.....	1
Tujuan Penelitian	2
Batasan Masalah.....	2
Manfaat Penelitian.....	2
BAB II. METODOLOGI PENELITIAN.....	3
2.1. Waktu dan Tempat Penelitian	3
2.2. Jenis Penelitian.....	3
2.3. Metode Penelitian.....	3
2.4 Teknik Pengumpulan Data	9
2.5 Studi Literatur	9
2.6. Analisis Data.....	30
BAB III. HASIL	33
3.1. Objek Penelitian	33
3.2. Perhitungan Momen Lentur – Batas Vertikal	33
3.3. Tegangan Izin	36
 FPSO Terhadap Momen Lentur-Batas Vertikal.....	36
PSO terhadap model 1 kondisi <i>sagging</i>	36
PSO terhadap model 1 kondisi <i>hogging</i>	37
PSO terhadap model 2 kondisi <i>sagging</i>	39

d. Tegangan kerja FPSO terhadap model 2 kondisi <i>hogging</i>	40
e. Tegangan kerja FPSO terhadap model 3 kondisi <i>sagging</i>	41
f. Tegangan kerja FPSO terhadap model 3 kondisi <i>hogging</i>	42
BAB IV. PEMBAHASAN	43
4.1 Momen Lentur-Batas Vertikal	43
4.2. Kekuatan Batas Momen Vertikal	44
a. FPSO Model 1	44
b. FPSO Model 2	46
c. FPSO Model 3	47
4.3. Perbandingan Kekuatan Batas FPSO Menggunakan Metode NLFEA	49
BAB V. KESIMPULAN	52
5.1. Kesimpulan	52
5.2. Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	55



DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. Spesifikasi material	6
2. Tegangan izin pada struktur baja elemen pemasangan dan substructure	15
3. Kongfigurasi Ukuran Stiffener	27
4. Formula perhitungan momen lentur-batas vertikal	34
5. Formula momen lentur-batas vertikal sagging dan hogging	35
6. Tegangan izin kerja material FPSO	36
7. Rekapitulasi tegangan kerja arah Z FPSO model 1 akibat kekuatan batas	37
8. Rekapitulasi tegangan kerja arah Z FPSO model 1 akibat kekuatan batas	38
9. Rekapitulasi tegangan kerja arah Z FPSO model 2 akibat kekuatan batas	39
10. Rekapitulasi tegangan kerja arah Z FPSO model 2 akibat kekuatan batas	40
11. Rekapitulasi tegangan kerja arah Z FPSO model 3 akibat kekuatan batas	41
12. Rekapitulasi tegangan kerja arah Z FPSO model 3 akibat kekuatan batas	42
13. Kekuatan batas FPSO model 1	44
14. Kekuatan Batas FPSO Model 2	46
15. Kekuatan Batas FPSO Model 3	47
16. Rekapitulasi kekuatan batas kapal FPSO	49
17. Kekuatan-batas kapal FPSO model 1, model 2, dan model 3	50



DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. <i>General load-displacement curve</i>	5
2. Kondisi syarat batas untuk <i>kontrol</i> kelengkungan	7
3. FPSO model 1 kondisi <i>meshing</i>	8
4. <i>Quadrilateral Shell Element (SHELL181)</i>	9
5. Tegangan-regangan.....	11
6. Tegangan tarik	12
7. Tegangan tekan	13
8. <i>Von Mises yield surface for plain stress</i>	14
9. Diagram tegangan-regangan baja.....	16
10. Hubungan antara tegangan dan regangan	18
11. Grafik kekuatan momen lentur dan kelengkungan	20
12. <i>Box girder</i> tanpa elemen di tengah penampang	21
13. Distribusi beban, gaya geser dan momen lentur pada kapal	22
14. Faktor distribusi K_M	23
15. Momen lentur <i>vertikal</i> akibat <i>gelombang</i>	23
16. Asumsi <i>Caldwell</i> mengenai distribusi tegangan lentur pada kondisi batas <i>ultimate</i> dibawah momen <i>lentur vertikal</i>	24
17. <i>Schematic summary of the various forms of corrosion</i>	26
18. <i>General Arrangement</i>	28
19. penampang atas kapal FPSO arah membujur	29
20. Setengah <i>Midship</i> Kapal FPSO.....	30
21. Diagram Alir.....	32
22. Model 1	33
23. Model yang menampakkan posisi <i>Draft</i> kapal yang terkena korosi.....	33
24. Perilaku dan distribusi tegangan kerja FPSO pada kondisi <i>ultimate strength</i> akibat <i>segang</i>	37
.....	37
.....	38
.....	39



27. Perilaku dan distribusi tegangan kerja FPSO pada kondisi <i>ultimate strength</i> akibat <i>hogging</i>	40
28. Perilaku dan distribusi tegangan kerja FPSO pada kondisi <i>ultimate strength</i> akibat <i>sagging</i>	41
29. Perilaku dan distribusi tegangan kerja FPSO pada kondisi <i>ultimate strength</i> akibat <i>hogging</i>	42
30. Grafik momen kelengkungan FPSO model 1	45
31. Grafik momen kelengkungan FPSO model 2.....	46
32. Grafik momen kelengkungan FPSO model 3.....	48
33. Grafik momen kelengkungan FPSO model 1, 2, dan 3.....	50



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan	Satuan
A	luas penampang	mm ²
B	lebar kapal	m
L	panjang kapal	m
b _x	gaya apung	N
w _x	berat beban	
C	koefisien momen lentur	
C _b	koefisien blok kapal	
K _M	faktor distribusi momen lentur daya gaya geser	
γ _R	faktor keamanan kekuatan-batas lentur	
D	tinggi kapal	m
E	modulus elastisitas	N/mm ²
FPSO	<i>Floating Production Storage and Offloading</i>	
FSO	<i>Floating Storage and Offloading</i>	
NLFEA	<i>Non-Linier Finite Element Analysis</i>	
ABS	<i>American Bureau of Shipping</i>	
DNV	<i>Det Norske Veritas</i>	
AISC	<i>American Institute of Steel Construction</i>	
MPC	<i>Multi Point Constrained</i>	
APDL	<i>Ansys Parametric Design Language</i>	
R _{eH}	titik luluh nominal minimum	
F _x	gaya geser arah sumbu x	N
F _{tr}	gaya tarik	N
F	gaya	N
F _{te}	gaya tekan	N
F _{ts}	gaya geser	N
F _{ts}	tinggi kerusakan akibat tubrukan	m
I _x	momen inersia	m ⁴
IAS	International Association Of Classification Societies	



Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan	Satuan
I_y	momen inersia penampang kapal yang memanjang	m^4
Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan	Satuan
e_z	jarak horizontal struktur dari sumbu vertikal dan netral	m
I_{min}	momen inersia ijin	m^4
K_M	faktor distribusi	
l	panjang material	mm
δl	deformasi material	mm
L	panjang kapal	m
M	momen lentur	Nmm
M_{US}	kekuatan batas momen lentur <i>sagging</i>	Nmm
M_{UH}	kekuatan batas momen lentur <i>hogging</i>	Nmm
M_{sw}	momen lentur pada air tenang	Nmm
M_w	momen lentur akibat gelombang	Nmm
M_t	momen lentur- batas total	Nmm
S	modulus penampang	m^3
S_b	modulus penampang bagian <i>bottom</i>	m^3
S_d	modulus penampang bagian <i>deck</i>	m^3
S_p	modulus penampang ijin	m^3
z	jarak dari sumbu netral ke lokasi tegangan lentur	m
z_b	jarak dari sumbu netral ke lokasi tegangan lentur <i>bottom</i>	m
z_d	jarak dari sumbu netral ke lokasi tegangan lentur <i>deck</i>	m
ΔL	pertambahan panjang	m
L	panjang mula-mula	m
	regangan	
	gaya yang bekerja	N/mm^2
	tegangan	N/mm^2
	tegangan lentur ijin	N/mm^2

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan	Satuan
σ_{max}	tegangan lentur maksimum	N/mm ²
σ_{tr}	tegangan tarik	N/mm ²
σ_{te}	tegangan tekan	N/mm ²
σ_{ub}	tegangan tekan bagian <i>bottom</i>	N/mm ²
σ_{ud}	tegangan tekan bagian <i>deck</i>	N/mm ²
σ_r	tegangan geser	N/mm ²
σ_{sw}	tegangan statis akibat momen lentur vertikal	N/mm ²
σ_{wh}	tegangan statis akibat momen lentur horizontal	N/mm ²



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. Tabel perhitungan kekuatan batas FPSO menggunakan metode NLFEA kondisi saggng dan hogging model 1	55
2. Tabel perhitungan kekuatan batas FPSO menggunakan metode NLFEA kondisi <i>saggng</i> dan <i>hogging</i> model 2.....	59
3. Tabel perhitungan kekuatan batas FPSO menggunakan metode NLFEA kondisi <i>saggng</i> dan <i>hogging</i> model 3.....	62
4. Kartu kontrol asistensi skripsi.....	65



BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi besar dalam hal sumber daya minyak dan gas bumi. Banyak ladang minyak dan gas bumi ditemukan di perairan lepas pantai, dan pengeboran dilakukan di berbagai lokasi strategis, oleh karena itu *Floating Production Storage and Offloading* (FPSO) merupakan hal yang umumnya digunakan dalam industri minyak dan gas untuk mengekstraksi, memproses, dan menyimpan minyak dan gas bumi di perairan lepas pantai. Cadangan minyak dan gas bumi di perairan Indonesia seringkali terletak di lokasi yang sulit dijangkau oleh infrastruktur darat. FPSO menjadi solusi yang efisien karena dapat ditempatkan di lokasi pengeboran dan produksi, memungkinkan eksploitasi sumber daya alam di perairan laut yang dalam.

Dalam proses pemindahan dan penyimpanan minyak dan gas bumi menggunakan kapal FPSO tentunya perlu di perhatikan tingkat korosi pada kekuatan membujur kapal. Korosi pada kapal merupakan masalah serius yang dapat mempengaruhi keandalan, keamanan, dan umur operasional kapal. Korosi terjadi ketika logam yang digunakan dalam konstruksi kapal bereaksi dengan lingkungan laut yang korosif. Korosif adalah sifat atau kemampuan suatu zat atau lingkungan untuk menyebabkan atau mempercepat korosi pada logam atau bahan lainnya. Korosi adalah serangan destruktif pada logam melalui reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungan. Strukturnya metalik atau non-logam, korosi dapat mengakibatkan biaya yang sangat tinggi, kapal terbuat dari baja, terdapat kelemahan teknis akibat laju korosi kapal,berkurangnya umur kelelahan, kekuatan Tarik, Degradasi sifat mekanik material lainnya (Nova & Misbah, 2012).

Kekuatan kapal FPSO adalah salah satu aspek penting yang harus dianalisis dengan akurat. Beban-beban yang bekerja pada kapal harus ditahan oleh konstruksi kapal itu sendiri. Oleh karena itu kekuatan kapal selalu dijadikan acuan layak atau tidaknya beroperasi pada kondisi normal, terlebih saat kondisi ekstrem. Kapal dapat mengalami kerusakan yang disebabkan oleh tubrukan, kandas, korosi dan sebagainya. Hal ini dapat menyebabkan adanya korban jiwa serta pencemaran lingkungan dalam bentuk tumpahan minyak dan lain-lain.

Sesuai dengan aturan dan pedoman baru yang dikeluarkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dan International Association of Classification Societies (IACS), kemajuan telah dilakukan untuk meningkatkan persyaratan scantling saat ini dan menetapkan metode analisis keandalan yang lebih baik dalam kondisi kerusakan.



kapal Floating Production Storage and Offloading (FPSO) dapat erius terhadap kekuatan membujur kapal. Kekuatan membujur rampuan kapal untuk menahan beban dan tekanan dalam arah inal), sejajar dengan panjang kapal. Korosi dapat menyebabkan engurangan ketebalan material logam pada struktur kapal, igian-bagian yang terpapar secara langsung dengan lingkungan

laut. Penurunan ketebalan ini mengurangi kemampuan kapal untuk menahan beban dan tekanan, yang pada gilirannya dapat mengurangi kekuatan membujur kapal.

Berdasarkan dari uraian diatas maka perlu diadakan penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh korosi dengan Tingkat korosi sebanyak 20%, dan 40% pada kapal, khususnya kapal FPSO yang menjadi alat perantara memudahkan eksploitasi sumber daya di perairan laut yang dalam. Pada penelitian ini menggunakan *metode Finite Element Method*. Oleh karena itu penulis mengangkat masalah tersebut dengan judul “Pengaruh korosi pada kapal FPSO terhadap kekuatan membujur”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan kapal FPSO arah membujur yang diakibatkan oleh korosi dengan tingkat pengurangan tebal pelat yaitu 20% dan 40%.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan membujur kapal FPSO yang disebabkan oleh pengurangan ketebalan pelat akibat dari korosi dengan tingkat pengurangannya sebesar 20% dan 40%.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat terarah sesuai dengan kerangka yang direncanakan, maka penelitian dibatasi dengan beberapa hal berikut:

1. Analisa dilakukan hanya pada kapal FPSO
2. Beban yang bekerja hanya momen lentur vertikal *longitudinal (hogging and sagging)*
3. Bagian yang ditinjau adalah bagian *midship* kapal FPSO
4. Tingkat pengurangan ketebalan yang disebabkan oleh korosi yaitu 20%, dan 40%
5. Perhitungan respon struktur menggunakan metode elemen hingga atau *Non Linier Finite Element Method*. (Software: ANSYS Mechanical APDL)
6. Analisa dilakukan pada bagian *Draft* pada kapal yaitu konstruksi *Midship*.
7. Bagian yang terkena korosi yaitu sesuai sarat air pada kapal FPSO yang diberikan

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah:

1. Sebagai informasi untuk menambah wawasan dan pengetahuan mengenai pengaruh pengurangan tingkat korosi yang dialami pada lambung kapal FPSO
2. Memberikan gambaran cara menghitung kekuatan membujur kapal untuk melihat



struktur kapal dalam menghadapi skenario kerusakan yang di
rosi

isi untuk memahami efek dari tegangan dan deformasi yang
uktur kapal FPSO saat kondisi *hogging* maupun *sagging*
kekuatan-batas maksimum momen lentur dengan menggunakan
ier *Finite Element Analisis*.

BAB II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April - Agustus 2024, yang dimana penelitian ini dilakukan di *Ocean Structure Analysis Research Laboratory (OSAREL)* Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa.

2.2. Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk penelitian kuantitatif yang melibatkan penggunaan angka dalam seluruh proses penelitian, mulai dari pengumpulan data, interpretasi data atau penafsiran terhadap data, hingga presentasi hasilnya dengan melakukan penyelidikan untuk mengetahui Pengaruh Korosi Pada Kapal FPSO Terhadap Kekuatan Membujur melalui metode *Non Linier Finite Element Analysis (NLFEA)*. Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan tingkat pengurangan ketebalan yang di akibatkan oleh korosi pada kekuatan membujur struktur kapal FPSO, menganalisis integrasi antara tingkat pengurangan ketebalan yaitu 20% dan 40%, serta menganalisis respon beban pada struktur kapal FPSO dengan menggunakan simulasi *software Ansys Mechanical APDL*.

2.3. Metode Penelitian

Metode NLFEA adalah salah satu metode elemen hingga yang digunakan dan direkomendasikan oleh biro klasifikasi untuk menghitung kekuatan struktur kapal, disamping metode lainnya seperti teori balok, metode *presumed stress distribution*, ISUM dan ISFEM. Hughes dan Paik (2010).

Adapun metode yang akan digunakan untuk menghitung kekuatan-batas *longitudinal* struktur kapal FPSO, baik pada kondisi utuh dan setelah mengalami pengurangan elemen membujur akibat dihilangkannya *topside tank* pada penelitian ini, yaitu metode *Non Linear Finite Element Analysis (NLFEA)*.

Secara potensial, hasil yang paling akurat mengenai penilaian *ultimate strength* dapat diperoleh menggunakan analisis NLFEA dari keseluruhan model struktural yang didiskritisasi, yang memungkinkan simulasi dan evaluasi respon struktural *nonlinier* untuk berbagai tingkat pembebanan. Namun, kualitas hasil yang diperoleh sangat bergantung pada kepatutan teknik idealisasi struktural yang digunakan (geometri, sifat material, ketidaksempurnaan struktural awal), kesetiaan diskritisasi (digunakan jenis elemen hingga, kepadatan *mesh*), dan sejauh mana model yang dianalisis (model struktural lengkap atau parsial). Secara umum, dapat disimpulkan bahwa sejumlah besar waktu, pengetahuan dan pengalaman masih diperlukan untuk menyelesaikan seluruh prosedur analisis NLFEM secara sukses (terutama untuk pra esan).

1, pemanfaatan NLFEM dalam praktik analisis kekuatan *ultimate* SO saat ini sebagian besar dikurangi menjadi analisis model 1 verifikasi metode analisis alternatif, atau untuk analisis langka kap dan terperinci untuk merekonstruksi keadaan dan



mengidentifikasi sebab-sebab keruntuhan struktural yang nyata terjadi selama eksploitasi struktur-struktur tertentu.

Di sisi lain, analisis NLFEM sering digunakan untuk derivasi dan verifikasi berbagai formulasi sederhana dari *respons* elasto-plastik dari komponen struktural yang dikenakan dengan berbagai jenis muatan murni atau gabungan.

Perhitungan kekuatan-batas struktur dengan metode NLFEA perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1) Tipe metode NLFEA

Kekuatan-batas momen lentur kapal pada kondisi utuh dan rusak dapat dianalisa dengan menggunakan 3 tipe metode NLFEA yaitu:

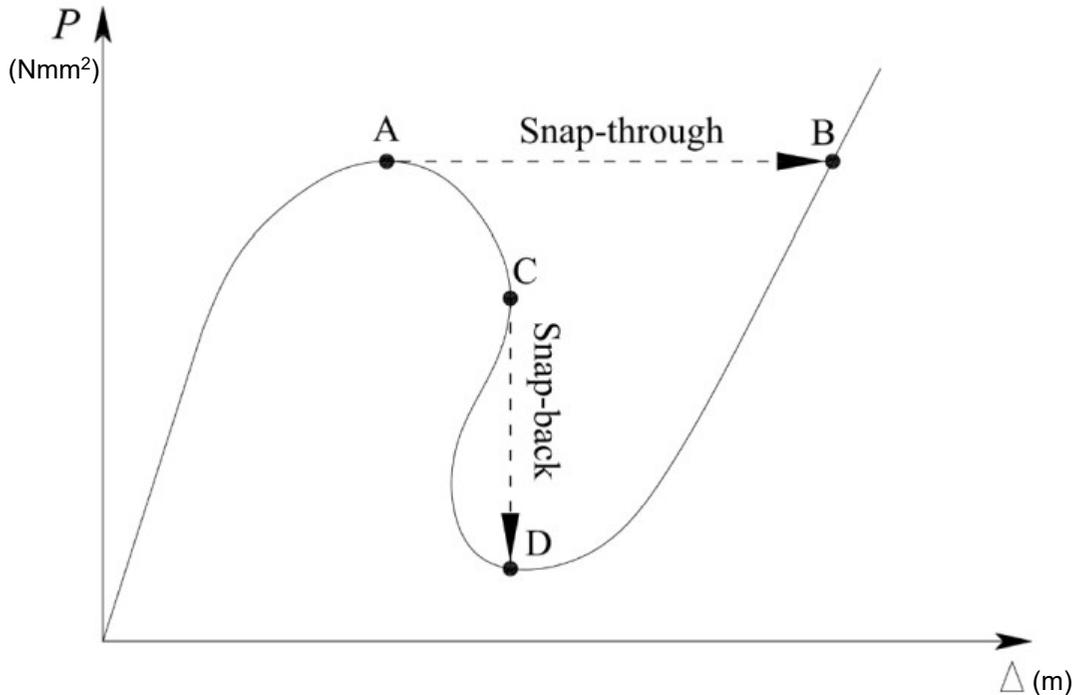
- a. Analisa statis
- b. Analisa quasi-statis
- c. Analisa dinamis

Analisa *statis* dan analisa *quasi-statis* banyak digunakan oleh para peneliti untuk menghitung kekuatan-batas struktur kapal. Penelitian kali ini menggunakan tipe analisis statis. Selama analisis statis, beban atau perpindahan diterapkan secara bertahap. Pada setiap kenaikan beban, keseimbangan statis ditemukan menggunakan algoritma numerik berulang (misalnya, N-R atau panjang busur). efek inersia tidak diperhitungkan, begitu pula material yang bergantung pada waktu. Namun, efek laju regangan pada plastisitas material dapat diperhitungkan. Kapan algoritma iterasi N-R digunakan dan ketidakstabilan lokal (tekuk lokal, material, dll) diharapkan terjadi, teknik stabilisasi numerik harus diterapkan.

2) Algoritma *iterative solution*

Tiga jenis algoritma *iterative solution* yang dapat digunakan pada metode NLFEA adalah algoritma *Newton-Raphson*, algoritma quasi *Newton-Raphson* dan algoritma *arc length* (resiko). Algoritma N-R dan quasi N-R dapat digunakan pada analisa statis dan analisa dinamis implisit. Algoritma resiko hanya dapat digunakan pada analisa statis. Metode *arc length* direkomendasikan untuk analisis statis pada permasalahan tidak stabil yang sangat *nonlinier* termasuk masalah *snap-through* dan *snap-back*. Karena beban dan perpindahan sudah teratasi secara bersamaan, metode ini memungkinkan tercapainya solusi kesetimbangan sepanjang beban-perpindahan kurva (titik A-C-D-B gambar 2), yang menjadikannya satu-satunya metode yang dapat melacak statis penyelesaian kesetimbangan antara titik C dan D. Karena metode *arc length* mengontrol beban pada seluruh struktur menggunakan satu parameter global, ini mungkin tidak cocok untuk menganalisis kasus dengan parameter lokal ketidakstabilan seperti *local buckling and neckling* pada struktur kompleks seperti kapal. Juga metode *arc length* tidak dapat digunakan dalam statis atau kuasi-statis penuh analisa dinamis eksplisit tidak algoritma *iterative solution*.





Gambar 1. General load-displacement curve

Sumber: ABS, 2024. NLFEA of marine and offshore structure

3) Proses peningkatan beban

Pembebanan yang diaplikasikan pada metode NLFEA menggunakan proses peningkatan pembebanan. Dua jenis kontrol beban yang digunakan untuk mendapatkan nilai kekuatan-batas momen lentur kapal tanker yaitu kontrol kelengkungan dan kontrol momen. Kontrol kelengkungan dilakukan dengan menggunakan *rigid link* pada kedua ujung model elemen hingga. *Rigid link* dihubungkan ke titik acuan pada sumbu netral.

Peningkatan nilai kelengkungan diperoleh dengan menggunakan kecepatan akselerasi dan damping faktor. Kedua ujung pada titik acuan diberikan beban momen. Kontrol momen dilakukan dengan menggunakan *rigid link* pada salah satu ujung model elemen hingga dan ujung yang lainnya di-*full constrain*. Ujung model yang menggunakan *rigid link*, diberikan momen lentur. Reaksi pada ujung model yang di-*constrain* akan mencapai titik batas kekuatan dari struktur.

4) Ketidaktepatan geometrik



di struktur kapal (pemotongan, *rolling*, pembentukan, pengelasan dan las) terjadi ketidaktepatan geometri dan tegangan sisa yang mempengaruhi kekuatan batas struktur. Metode NLFEA dapat mengatasi ketidaktepatan geometrik tersebut.

5) Spesifikasi Material

Kurva tegangan regangan dari material yang digunakan pada model elemen hingga harus tersedia. Kurva tegangan regangan sangat menentukan nilai kekuatan-batas dari struktur kapal. Penelitian ini menggunakan spesifikasi material pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1 Spesifikasi material

Spesifikasi Material	Jenis Material HS36
<i>Modulus Young</i> (N/mm ²)	210.000
<i>Density</i> (kg/m ³)	7.850
<i>Yield Strength</i> (N/mm ²)	355
Rasio Poisson	0,33
<i>Tensile Strength</i> (N/mm ²)	490

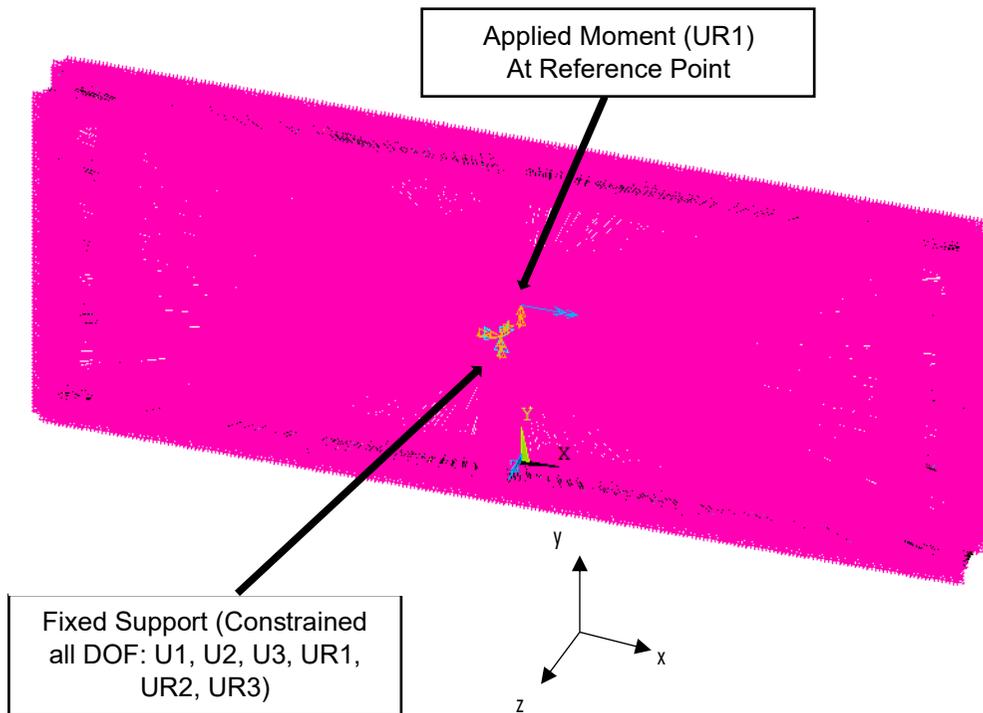
Sumber: ABS, 2021

6) Pembebanan dan kondisi syarat batas

Pembebanan dan kondisi syarat batas yang diaplikasikan pada model elemen hingga sangat tergantung pada jenis proses peningkatan beban yang digunakan. Setiap NLFEA memerlukan beberapa tingkat asumsi mengenai kondisi batas. Pentingnya merepresentasikan secara realistis kondisi batas dalam model elemen hingga bahkan lebih penting lagi analisis *nonlinier* dibandingkan analisis *linier*. Ketika asumsi mengenai kondisi batas perlu dibuat, hal tersebut harus dibuat sedemikian rupa sehingga mengarah pada respons struktur yang konservatif.

Menggunakan asumsi yang *valid* untuk analisis *linier* perpindahan kecil untuk NLFEA harus dilakukan dengan hati-hati. Misalnya, asumsi bahwa penampang gelagar lambung kapal adalah *valid* di dalam teori balok sederhana tetapi tidak lagi berlaku ketika efek geser dan torsi dimasukkan sebagai bagian dari teori tersebut (Teori Timoshenko). Namun asumsi ini dianggap memadai dalam banyak analisis *linier*, terutama untuk kapal dengan penampang tertutup. Dalam analisis *nonlinier*, teori ini menjadi kurang akurat, terutama ketika bagian-bagian tertentu dari struktur mulai melemah atau tertekuk. Asumsi tersebut masih bisa dipakai pada metode NLFEA, tetapi hanya jika lokasi yang diinginkan cukup jauh dari ujung penampang. Kontrol kelengkungan menggunakan kondisi syarat batas ujung model diberikan *rigid link* dengan pembebanan seperti pada





Gambar 2. Kondisi syarat batas untuk kontrol kelengkungan
Sumber: Hasil olahan, 2024

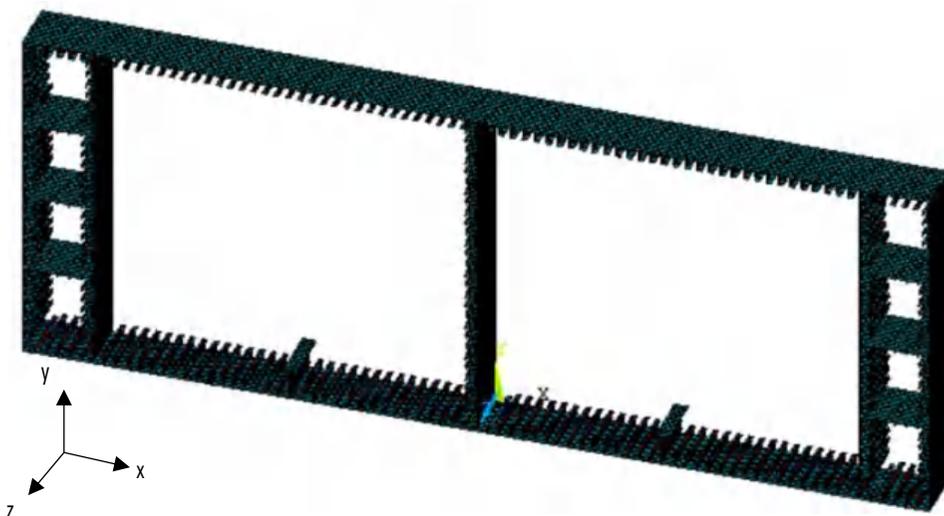
7) Meshing

Ukuran dan kualitas *meshing* sangat penting untuk membandingkan hasil perhitungan antara metode NLFEA dan metode *linear* FEA. Dalam *nonlinear finite element analysis* selain algoritma *iterative solution* dan tingkat model, *mesh* merupakan salah satu aspek teknis utama dalam penelitian ini. Kehalusan elemen *mesh* dan jenis elemen yang digunakan dalam model elemen hingga harus cukup untuk memungkinkan model mewakili pola deformasi struktur nyata sehubungan dengan hal-hal seperti *effective flange (shear flag)* dan deformasi lentur struktur balok. Jika elemen mengalami deformasi ataupun distorsi yang signifikan selama perpindahan *nonlinear* analisis, keakuratan dan keandalan solusi dapat berkurang. Oleh karena itu, perhatian khusus harus diberikan pada kualitas elemen yang sering kali dapat ditentukan dengan menggunakan ukuran berikut (ABS 2024, NLFEA of marine and offshore structure):

- *Element aspect ratio*
Rasio panjang tipe elemen maksimum dan minimum
- Sudut kemiringan
Selisih sudut siku-siku dan sudut terkecil antar titik potong elemen garis tengah kungan elemen di luar bidang
impangan elemen dari bentuk ideal



Metode perhitungan standar kekuatan struktur berbanding lurus dengan ukuran *mesh* pada elemen hingga diberikan dalam catatan klasifikasi yang relevan. Sebelum melakukan analisa dengan metode NLFEA dalam skala besar perlu untuk melakukan studi *mesh convergence*. Bagian model yang diperkirakan akan mengalami tegangan yang besar sebaiknya di-*meshing* dengan ukuran yang lebih kecil untuk dapat memperlihatkan bentuk kegagalan dengan lebih jelas dan akurat. Semakin kecil nilai *meshing* maka perangkat komputer yang digunakan harus memiliki spesifikasi yang tinggi. Dalam penelitian ini, ukuran *meshing* yang digunakan dalam rentang 350 - 500 mm dengan bentuk *quadmapped* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.

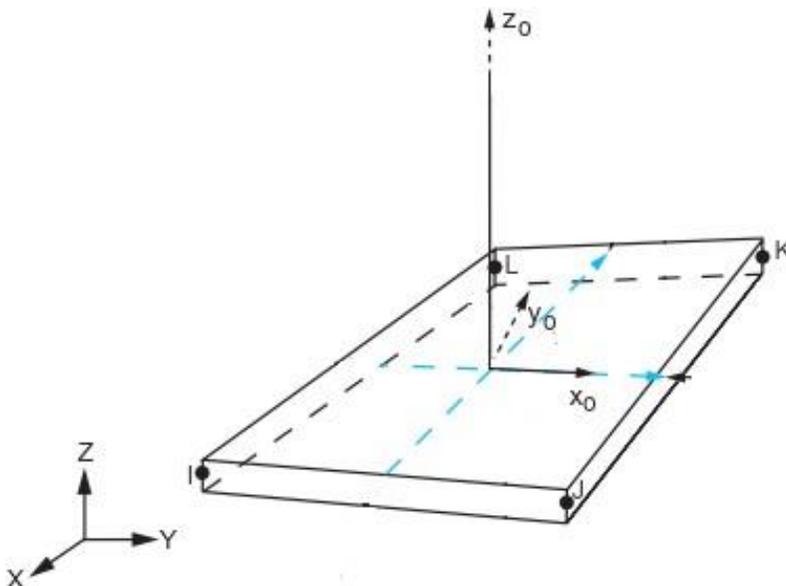


Gambar 3. FPSO model 1 kondisi *meshing*
Sumber: Hasil olahan, 2024

8) Tipe Elemen

Semua pelat yang digunakan pada penelitian ini menggunakan tipe *Shell 181 (quadrilateral elements)*. Elemen ini sangat cocok untuk geometri yang rumit karena cocok digunakan untuk menganalisis pelat tipis atau ketebalan struktur yang sedang yaitu 4 *node element* dengan 6 derajat kebebasan (DOF) dalam arah translasi x, y, z dan rotasi arah x, y, z . Untuk menentukan bagian *beam* dalam penelitian ini menggunakan tipe *abaqus* yang dapat langsung menemukan *cross-sectional properties* pada setiap elemen (*cross-sectional area, moment of inertia, torsion constant, modulus of elasticity, poisson ration*) kemudian akan dikalibrasi sehingga struktur memiliki konstanta kekakuan yang sesuai disemua sisi seperti n oleh panduan ABS 2024 mengenai aturan tipe elemen pada *on and offshore structure* yang ditunjukkan pada gambar 4.





Gambar 4. *Quadrilateral Shell Element (SHELL181)*

Sumber: Nhon Nguyen-Thanh, 2009. *A smoothed finite element method for the static and free vibration analysis of shells*

2.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Observasi, yaitu metode pengumpulan data dengan cara melakukan pengamatan langsung pada objek yang diteliti dengan tujuan untuk memperoleh informasi yang jelas
2. Dokumentasi, yaitu melengkapi analisis dan memperkuat kesimpulan, seluruh data dan kegiatan dalam penelitian didokumentasikan dalam bentuk gambar
3. Teknik kepustakaan adalah suatu teknik penelitian dengan cara membaca dan menelaah buku kepustakaan dan sumber-sumber yang bersifat tekstual yang erat hubungannya dengan masalah yang saat ini sedang diteliti oleh peneliti.

2.5 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur dari berbagai literasi yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir ini. Secara umum perhitungan langsung struktur *bottom*



is dilakukan untuk mengetahui kekuatan batas struktur kapal upakan data-data dan metode yang digunakan dan diterapkan Pengaruh Korosi Pada Kapal FPSO Terhadap Kekuatan sebagai berikut:

1. Tegangan Kerja

Tegangan yang bekerja pada struktur kapal umumnya disebabkan oleh beban aksial dan beban lentur. Akibat dari beban-beban tersebut menghasilkan tegangan aksial dan tegangan lentur yang menyebabkan kelelahan pada struktur kapal.

Tegangan aksial (*axial stress*), adalah tegangan yang bekerja secara tegak lurus terhadap sumbu penampang.

Tegangan lentur (*bending stress*), adalah tegangan yang bekerja secara sejajar sepanjang balok dengan arah yang membujur.

Tegangan geser (*shear stress*), berbeda dengan tegangan tarik dan tekan dimana tegangan ini umumnya disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja secara *transversal* pada suatu batang.

Hubungan antara tegangan yang dihasilkan oleh suatu gaya (P) yang bekerja pada setiap luas satuan (A) mengalami tegangan yaitu:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Dimana:

σ = Tegangan (N/mm²)

P = Gaya total (N)

A = Luas penampang batang (mm²)

Analisis tegangan metode numerik dengan bantuan *software* umumnya menggunakan tegangan ekuivalen atau yang biasa disebut dengan Von Mises *Stress*. Tegangan ekuivalen atau tegangan rata-rata (σ_e) ini dituliskan dengan bentuk sebagai berikut:

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{2} + [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2]} \quad (2.2)$$

Dimana x, y, dan z menyatakan arah sumbu tegangan-tegangan pada setiap elemen yang bekerja. Secara umum mempertimbangkan adanya tekuk (*buckling*) dan luluh (*yielding*). Tegangan-tegangan yang bekerja terdistribusi pada setiap bagian atau elemen konstruksi kapal FSO dan kapal FPSO termasuk besaran tegangan yang dihasilkan.

2. Tegangan Normal Pada Arah Memanjang Kapal



ial merupakan hasil dari penjumlahan tegangan lentur dan

ormal Akibat Momen Lentur Vertikal

elitian kali ini menggunakan jenis statis momen lentur vertikal.

us untuk mencari statis momen lentur vertikal sebagai berikut:

Static From M_{SW}:

$$\sigma_{SW} = \frac{M_{SW} \times e_z}{I_y \times 10^3} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.3)$$

σ_{SW} = Tegangan statis akibat momen lentur vertikal

M_{SW} = Momen lentur vertikal saat air tenang

I_y = Momen inersia penampang kapal inersia yang memanjang

e_z = Jarak horizontal struktur dilihat dari sumbu vertikal dan netral (m)

B. Tegangan Normal Akibat Momen Lentur Gelombang Horizontal

Untuk penelitian kali ini menggunakan jenis dinamis momen lentur horizontal. Adapaun rumus untuk mencari statis momen lentur horizontal sebagai berikut:

Dynamical From M_{WH}:

$$\sigma_{WH} = \frac{M_{WH} \times e_y}{I_z \times 10^3} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.4)$$

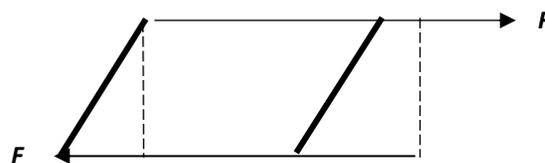
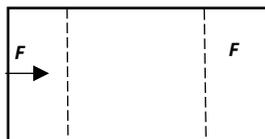
σ_{WH} = Tegangan statis akibat momen lentur vertikal

M_{WH} = Momen lentur vertikal saat air tenang

I_z = Momen inersia penampang kapal inersia yang memanjang

e_y = Jarak horizontal struktur dilihat dari sumbu vertikal dan netral (m)

Tegangan normal dibedakan menjadi tiga macam, yaitu tegangan tarik, tegangan tekan, dan tegangan geser, seperti ditunjukkan pada gambar 6 berikut.



ngan-regangan



C. Tegangan Tarik (*Tensile Stress*)

Tegangan tarik (σ_{tr}) terjadi akibat bekerjanya gaya tarik (F_{tr}) pada satuan luas penampang (A) struktur material, sehingga benda mengalami perpanjangan. Rasio atau perbandingan antara perpanjangan yang terjadi (ΔL) terhadap panjang benda semula (L) disebut sebagai regangan tarik ε_{ta} secara matematik dapat ditulis dengan persamaan 2.5 dan dapat dilihat pada gambar 7.

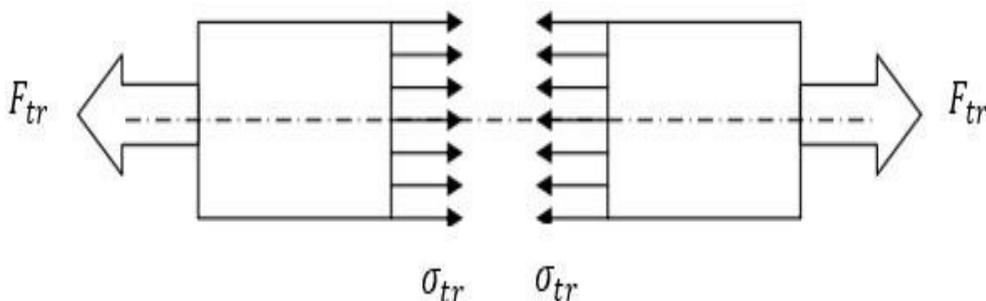
$$\sigma_{tr} = \frac{F_{tr}}{A} \quad (2.5)$$

Dimana:

σ_{tr} = Tegangan tarik (N/mm²)

F_{tr} = Gaya tarik (N)

A = Luas penampang (mm²)



Gambar 6. Tegangan tarik

Sumber: NPTEL

D. Tegangan Tekan

Tegangan tekan (σ_{te}) terjadi akibat kerja suatu gaya tekan (F_{te}) pada satuan luas penampang (A) struktur material, sehingga bendanya mengalami pemampatan. Rasio atau perbandingan antara pemampatan yang terjadi (ΔL) terhadap panjang benda semula (L) disebut sebagai regangan tekan ε_{ta} secara matematik dapat dilihat pada gambar 8, selanjutnya dapat dinyatakan dengan persamaan 2.6 :

$$\sigma_{te} = \frac{F_{te}}{A} \quad (2.6)$$

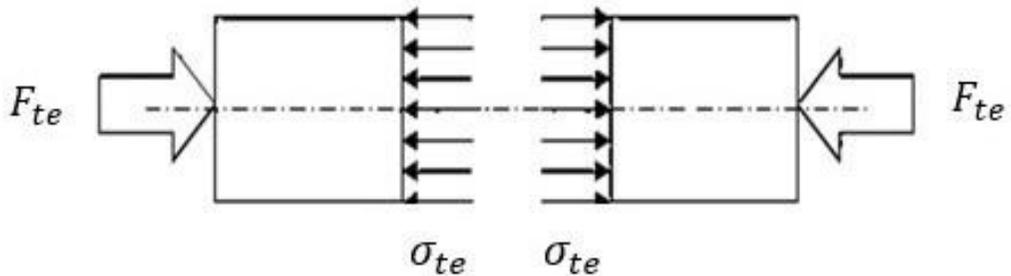
Dimana:

σ_{te} = Tegangan tekan (N/mm²)

F_{te} = Gaya tekan (N)

A = Luas penampang (mm²)





Gambar 7. Tegangan tekan
Sumber: NPTEL

E. Tegangan Geser Akibat Gaya Geser Vertikal

Jika gaya normal atau tangensial merupakan gaya sejajar arah memanjang batang, gaya geser merupakan gaya yang berarah tegak lurus dengan panjang batang. Besaran tegangan geser dinyatakan dengan simbol (τ) dalam satuan (N/mm^2).

Tegangan geser (σ_r) timbul akibat kerja dari dua gaya geser (F_r) yang saling berlawanan arah (aksi-reaksi) terhadap suatu bidang geser, pada satuan luas bidang penampang tahanan elemen struktur (A). Sehingga bidang penampang tersebut mengalami regangan geser searah bekerjanya gaya. Jika besaran gaya geser (S) dikerjakan pada batang akan menimbulkan tegangan geser (σ_r). Tegangan geser (σ_r), yaitu tegangan yang timbul akibat gaya geser atau gaya lintang. Ciri dari gaya geser atau gaya lintang adalah melintang batang atau tegak lurus batang. Secara matematik dapat ditulis dengan persamaan 2.7:

$$\sigma_r = \frac{F_r}{A} \quad (2.7)$$

Dimana:

σ_r = Tegangan geser (N/mm^2)

F_r = Gaya geser atau gaya lintang (N)

A = Luas penampang (mm^2)

F. Tegangan Lentur (*Bending Stress*)

Tegangan lentur akibat beban berat statis tidak boleh kurang dari $0,35 \times R_{eH}$ atau kuat luluh (BKI, volume 2, 2024), secara khusus mengacu pada hambatan internal benda yang melawan momen lentur. Ini didistribusikan secara tidak merata di seluruh penampang, dengan bagian balok yang berbeda mengalami tingkat

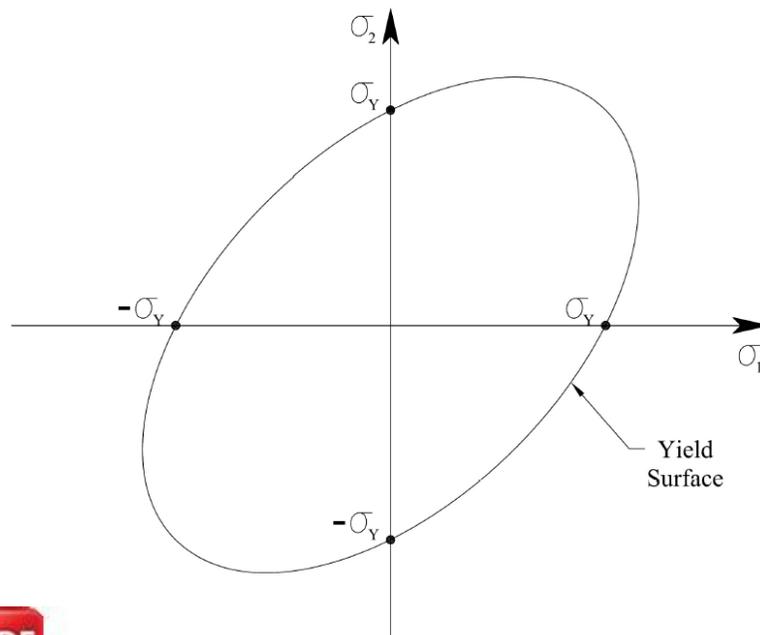


berbeda. Distribusi yang tidak seragam ini terutama disebabkan oleh jarak dari sumbu netral dan geometri balok berhubungan dengan gaya geser. Sumbu netral adalah sumbu pada penampang balok yang tidak mengalami tegangan. Pada saat balok dibengkokkan, distribusi tegangan internal di bagian tertentu dari balok mengalami tekan (tegangan negatif) dan

bagian lain mengalami tarikan (tegangan positif). Sumbu netral memisahkan daerah kompresi dan tegangan, dan lokasinya bergantung pada geometri balok.

G. Tegangan Luluh (*Yield Stress*)

Tegangan luluh merupakan tegangan yang timbul akibat terkonsentrasi atau terpusatnya gaya tekan pada suatu daerah kontak yang sangat kecil, diantara suatu elemen struktur yang sedang bekerja sama dalam meneruskan tegangan. Kondisi luluh menentukan kombinasi tegangan pada komponen struktural tertentu dimana material mulai luluh. Direkomendasikan agar kriteria hasil Von Mises (juga disebut oktahedral kriteria luluh tegangan geser) digunakan dalam NLFEA. Kriterianya menyatakan bahwa bahan mulai luluh ketika nilai tegangan Von Mises ekuivalen mencapai tegangan luluh material seperti pada persamaan 2.2 dan ditunjukkan pada gambar 9, dimana semua keadaan tegangan di dalam permukaan luluh berada dalam domain elastis dan semua keadaan tegangan pada permukaan luluh berada dalam domain elasto-plastik. Perlu diperhatikan juga bahwa permukaan luluh bergeser atau berubah ukuran seiring berkembangnya regangan plastis pada material, namun keadaan tegangan selalu tetap pada permukaan luluh. Keadaan tegangan tidak mungkin berada di luar permukaan luluh. Kriteria hasil Von Mises sudah tertanam di sebagian besar dari program NLFEA.



Von Mises yield surface for plain stress
3S, 2024

H. Tegangan Izin Dasar

Tegangan izin dasar (selanjutnya disebut tegangan izin) tergantung material jenis yang digunakan. Spesifikasi tersebut diatur dalam AISC (*American Institute of Steel Construction 2A*, 1989). Untuk jenis struktur dan jenis pembebanan yang tidak dibahas dalam spesifikasi ini, maka harus dilakukan analisa rasional dengan faktor keamanan yang digunakan pada spesifikasi ini. Apabila tegangan yang terjadi diakibatkan oleh gaya lateral dan gaya vertikal akibat kondisi lingkungan, maka tegangan izin dasar di atas dapat dinaikkan dengan sepertiganya.

Ukuran struktur yang dihitung dengan kriteria tegangan izin tambah ini harus tidak boleh lebih kecil dari yang dihitung dengan tegangan izin dasar (tanpa kenaikan sepertiganya) apabila beban yang bekerja adalah gabungan bobot mati dan hidup.

Tabel 2 Tegangan izin pada struktur baja elemen pemasangan dan *substructure* (N/mm²) (BKI Vol.2, 2024)

Type of stress	Service load case	Extraordinary load cases
Normal stress (σ_n)	0,6 . R _{eH} or 0,4 . R _m	0,75 . R _{eH} or 0,5 . R _m
Shear stress (τ)	0,35 . R _{eH} or 0,23 . R _m	0,43 . R _{eH} or 0,3 . R _m
Equivalent stress (σ_v) = $\sqrt{\sigma + 3 \cdot \tau^2}$	0,75 . R _{eH}	0,95 . R _{eH}

Sumber: BKI Volume 2, 2024

Tegangan izin yang diberikan pada tabel 2 tidak boleh dilampaui pada struktur baja elemen pemasangan dan substruktur (*deck beams, girders of the deckhouse and deck, on which the deckhouse is located*). Tegangan yang diizinkan untuk merancang elemen pemasangan elastis dari berbagai sistem dipertimbangkan dari kasus ke kasus. Data yang cukup harus diserahkan untuk disetujui. Tegangan yang bekerja pada penelitian ini tidak boleh melebihi nilai tegangan yang ditentukan dalam tabel 2.

I. Regangan

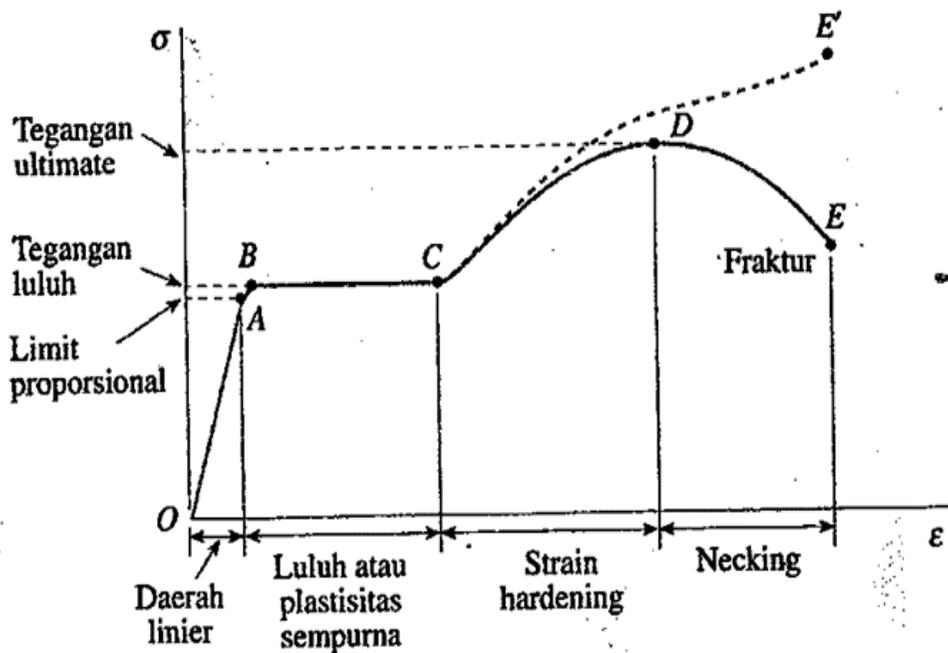
Sesuai dengan bunyi hukum Hooke bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangannya. Adapun regangan (*strain*) didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang atau pendek batang dengan ukuran mula-mula dinyatakan pada persamaan 2.8 dan ditunjukkan pada gambar 10:



$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.8)$$

an panjang (m)

ula-mula (m)



Gambar 9. Diagram tegangan-regangan baja
Sumber: Mulyati, 2014

Seperti yang terlihat pada Gambar 9, batas elastis (*elastic limit*) bahan tercapai. Setelah batas elastisitas dicapai, tiba-tiba terjadi pemanjangan, sementara beban pada batang sesungguhnya turun. Yaitu bahan secara tiba-tiba mulur yang disebut titik mulur (*yield point*), tetapi bahan segera memperlihatkan lagi kemampuan menahan kenaikan tegangan, tetapi pemanjangan sekarang naik dengan laju yang lebih cepat dari tegangan sampai mencapai titik D yaitu tegangan maksimum batas kekuatan bahan. Tegangan ini disebut tegangan batas (*ultimate stress*) yaitu tegangan suatu bahan yang dapat ditahan tanpa menimbulkan kerusakan. Diluar titik D, pemanjangan akan berlanjut ke titik E, tetapi secara perlahan tegangan berkurang (*posisi necking*), sampai akhirnya batang patah.

1. Daerah Linear (*elastic limit*)

Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya hampir kembali ke kondisi semula) yaitu regangan "nol" pada titik O. Tetapi ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku at perubahan permanen dari bahan tersebut.

(batas proporsional)

sa suatu bahan apabila diberi suatu bahan memasuki fase eformasi elastis ke plastis. Yaitu titik sampai di mana penerapan



hukum Hooke masih bisa ditolerir. Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.

3. Deformasi *plastis* (*plastic deformation*)

Yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula, bila bahan di tarik sampai melewati batas proporsional. *Ultimate Tensile Strength* (UTS) merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

4. Titik Putus

Merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

Regangan merupakan ukuran mengenai seberapa jauh batang tersebut berubah bentuk. Tegangan diberikan pada material dari arah luar, sedangkan regangan adalah tanggapan material terhadap tegangan. Pada daerah *elastis*, besarnya tegangan berbanding lurus dengan regangan. Perbandingan antara tegangan dan regangan benda tersebut disebut modulus *elastisitas* atau *Modulus Young*. Pengukuran *Modulus Young* dapat dilakukan dengan menggunakan gelombang akustik, karena kecepatan jalannya bergantung pada *Modulus Young*. Secara matematis dirumuskan pada Persamaan 8 dan Persamaan 9.

$$E = \frac{FL}{A \Delta L} \quad (2.9)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.10)$$

Dimana :

E = Modulus Young (N/mm²)

F = gaya (N)

A = Luas Penampang (mm²)

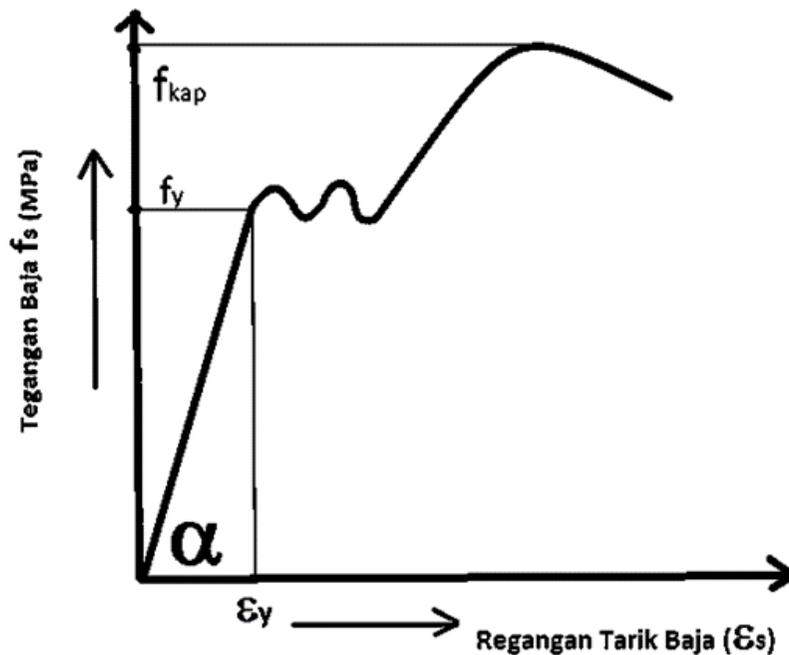
L = panjang mula-mula (mm)

ΔL = pertambahan panjang/pendek (mm)

J. Hubungan Tegangan Regangan

Sebuah gaya dan momen yang bekerja pada sebuah titik potongan penampang menghasilkan distribusi yang bekerja pada penampang tersebut. Secara umum, tegangan terbagi dalam dua macam yaitu tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal adalah intensitas gaya normal per unit luasan dan dinyatakan dalam unit gaya per unit luasan, misalnya $\frac{lb}{in^2}$ atau $\frac{N}{m^2}$. Apabila gaya-gaya dikenakan pada ujung-ujung batang sedemikian hingga batang dalam kondisi terjadi suatu tegangan tarik pada ujung batang. Jika batang dalam maka terjadi tegangan tekan. Gaya aksi dari gaya yang bekerja usat setiap bagian penampang melintang batang.





Gambar 10. Hubungan antara tegangan dan regangan
Sumber: Timoshenko, 1930

Hubungan tegangan dan regangan dapat dipisahkan menjadi komponen plastik dan komponen elastis dimana bentuk kurvanya ada pada Gambar 12. Regangan linear elastis ialah bagian dari regangan yang diperoleh kembali saat dibongkar. Regangan plastik (*nonlinear*) merupakan bagian regangan yang tidak dapat kembali lagi pada bentuk semula (*Bannantine et al, 1990*).

K. Deformasi Material

Deformasi material merupakan perubahan bentuk atau ukuran dari sebuah material karena sebuah gaya kerja yang diterapkan padanya. Dalam hal ini deformasi material yang dimaksud timbul akibat gaya kerja berupa kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan lipatan atau memutar (torsi). Adapun deformasi yang timbul pada material dapat dihitung dengan persamaan 2.11 berikut:

$$\delta l = \epsilon l = \frac{\sigma l}{E} = \frac{Pl}{AE} \quad (2.11)$$

Dimana:

σ = Tegangan yang timbul pada material (N/mm²)



l = Panjang yang timbul pada material

l = Panjang material (mm)

l = Panjang material (mm)

P = Gaya yang bekerja pada material (N/mm²)

A = Luas penampang material (mm²)

E = Modulus elastisitas material (N/mm²)

L. Kekuatan Batas (*Ultimate Strength*)

Kekuatan-batas adalah kekuatan struktur untuk mengalami pembebanan maksimum sebelum mengalami *collapse* total (Huges & Paik, 2010). *Stiffened plate* adalah unit struktural yang paling umum dan serbaguna yang digunakan saat ini di seluruh dunia dalam berbagai aplikasi struktural mulai dari bangunan dan jembatan hingga kapal, struktur lepas pantai dan bawah laut, serta pesawat terbang. Meskipun penelitian tentang perilaku dan kekuatan *stiffened plate* sudah ada sejak abad lalu, sejumlah besar studi teoritis penting telah dilakukan sejak tahun 1970an. Perilaku *post-buckling* pelat yang dibebani dengan kompresi telah dipelajari dengan sangat rinci oleh berbagai sumber dan banyak metode desain yang menggunakan solusi empiris tersedia secara luas dalam literatur yang diterbitkan.

Kekuatan-batas kapal FPSO (MU) harus dihitung dengan metode NLFEA atau metode *buckling* dan harus memenuhi kriteria seperti persamaan 2.12 dibawah ini (DNV GL, 2017b).

$$M_t \leq \frac{MU}{\gamma_R} \quad (2.12)$$

dimana M_t adalah momen lentur-batas total vertikal dan γ_R adalah faktor keamanan untuk kekuatan-batas lentur vertikal (1,1 untuk kondisi *sagging* dan 1,21 untuk kondisi *hogging*).

Hubungan antara kekuatan-batas momen lentur dan kelengkungan ditunjukkan pada gambar 11. Nilai kelengkungan yang positif menunjukkan kondisi *hogging* dan nilai kelengkungan yang negatif menunjukkan kondisi *sagging*. Berdasarkan teori balok, tegangan lentur (σ) pada penampang balok yang mengalami momen lentur dapat dihitung dengan:

$$\sigma = \frac{M \times z}{I} \quad (2.13)$$

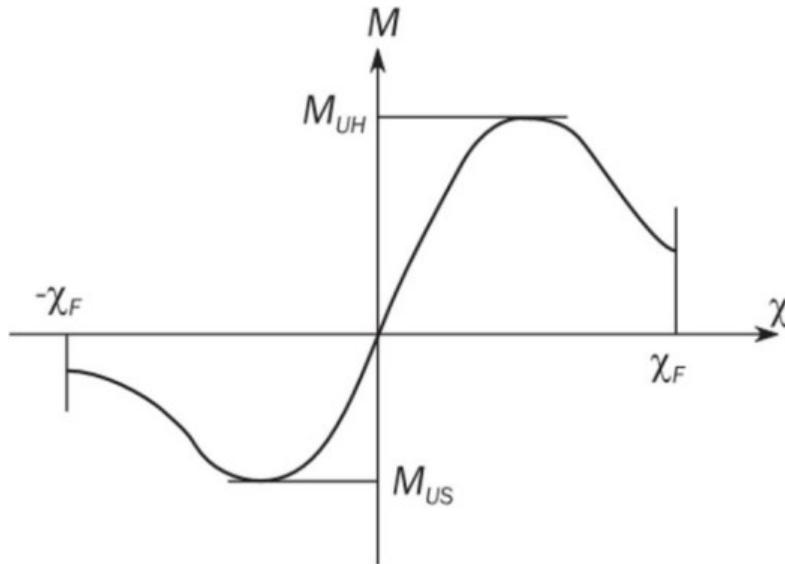
dimana M adalah momen lentur, I adalah momen inersia dan z adalah jarak dari sumbu netral dari penampang balok ke lokasi tegangan lentur pada arah tinggi dari balok.

Tegangan lentur maksimum (σ_{max}) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S} \quad (2.14)$$



S modulus penampang.



Gambar 11. Grafik kekuatan momen lentur dan kelengkungan
Sumber: DNV GL, 2017

Modulus penampang (S) seperti pada persamaan 2.15 dan 2.16, untuk penampang kapal dibagi menjadi dua, yaitu sebagai berikut :

$$S_d = \frac{I}{z_d}, \text{ untuk bagian } \textit{deck} \quad (2.15)$$

$$S_b = \frac{I}{z_b}, \text{ untuk bagian } \textit{bottom} \quad (2.16)$$

dimana S_d dan S_b adalah potongan penampang vertikal pada bagian *deck* dan *bottom* kapal, z_d dan z_b adalah jarak dari sumbu netral dari potongan penampang kapal ke *deck* atau *bottom*.

Pada teori balok, lambung kapal akan mengalami kekuatan-batas ketika tegangan lentur maksimum pada bagian yang tertekan mencapai kekuatan tekan batas, yaitu untuk *deck* pada saat *sagging* dan untuk *bottom* pada saat *hogging*. Kekuatan-batas akibat momen lentur untuk kapal dapat dihitung dengan persamaan 2.17 dan 2.18 sebagai berikut:



$$s = S_d \sigma_{ud}, \text{ untuk } \textit{deck} \quad (2.17)$$

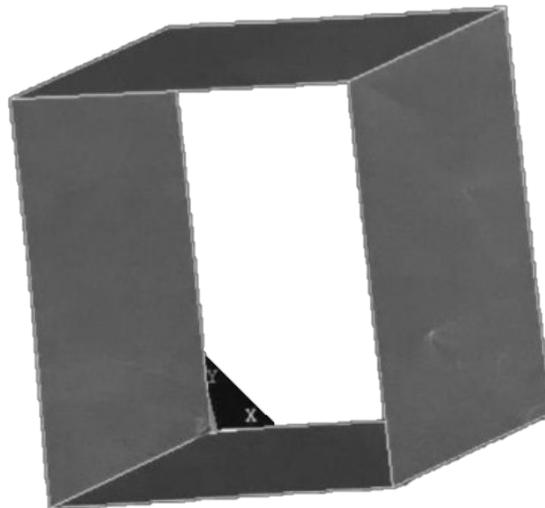
$$H = S_b \sigma_{ub}, \text{ untuk } \textit{bottom} \quad (2.18)$$

dimana M_{US} dan M_{UH} adalah kekuatan-batas momen lentur untuk *sagging* dan *hogging* dan σ_{ud} dan σ_{ub} adalah tegangan tekan batas untuk *deck* dan *bottom* kapal.

M. Nodal Constrained

Ada dua jenis *nodal constraints*: *single-point* dan *multi-point*. *Single-point constraint* membatasi satu atau beberapa DOF dari gerakan tertentu (misalnya nol perpindahan ke segala arah, nol gerakan vertikal tetapi bebas bergerak secara horizontal, dll) pada sebuah titik. Sebuah *node* tidak dapat memiliki *single-point constrained* sementara pada saat yang sama didefinisikan sebagai bagian dari satu set *multi-point constrained*. Untuk batasan *single-point*, nilai yang ditentukan bisa nol atau bukan nol. Nol kendala perpindahan juga dikenal sebagai kendala homogen, sementara bukan nol kendala dikenal sebagai gerakan yang ditentukan atau kendala *non-homogen*.

Sebagai contoh sebuah *box girder* berukuran 5000 x 5000 x 5000 mm dengan material pelat $t = 10$ mm diketahui material *properties* dengan Modulus Elastis = 200000 N/mm², Poison Ratio = 0,3 dan densitas = 7,8 x 10⁻⁵ N/mm² adapun bentuk *box girder* dapat dilihat seperti gambar yang telah didesain di ANSYS.



Gambar 12. Box girder tanpa elemen di tengah penampang
Sumber: Muis Alie et al., 2021

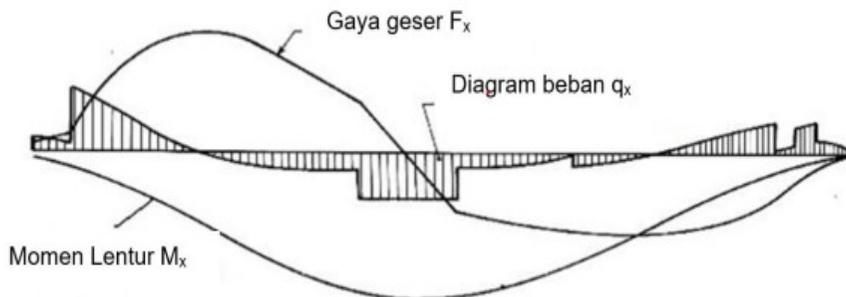


2 menunjukkan bahwa *box girder* tidak memiliki penampang rata di bagian tengah penampang kapal. Dalam kondisi batas (*boundary condition*) letak *neutral axis* sangat berpengaruh terhadap proses

running di ANSYS sementara diketahui bahwa *netral axis* merupakan titik pusat massa bekerja pada sebuah struktur. Apabila letak *netral axis* struktur tersebut berada pada posisi tengah, hal tersebut membuat tumpuan yang akan diberikan pada *netral axis* tidak diketahui, oleh karena itu *software* ANSYS dapat membuat titik atau *node* bayangan yang dapat digunakan sebagai letak tumpuan atau *multiple point constrained* (MPC) (Muis Alie et al., 2021)

N. Pembebanan *Hogging* dan *Sagging*

Momen lentur dan gaya geser pada kondisi air tenang berasal dari gaya apung dan distribusi berat sepanjang panjang kapal seperti pada gambar 13.



Gambar 13. Distribusi beban, gaya geser dan momen lentur pada kapal
Sumber: Shama, 2013

Berat dan gaya apung diasumsikan sebagai w_x dan b_x , maka distribusi beban adalah

$$q_x = b_x - w_x \quad (2.19)$$

DNVGL (2017a), memberikan formula besaran momen lentur-batas vertikal pada kondisi air tenang (M_{SW}) untuk panjang kapal lebih dari 90 m, sebagai berikut:

$$M_{SW} = -0,05168K_M C L^2 B (C_b + 0,7) \text{ kN-m}, \quad \text{kondisi sagging} \quad (2.20)$$

$$M_{SW} = +0,01K_M C L^2 B (11,97 - 1,9C_b) \text{ kN-m}, \quad \text{kondisi hogging} \quad (2.21)$$

dimana:

K_M = Faktor distribusi seperti pada gambar 14



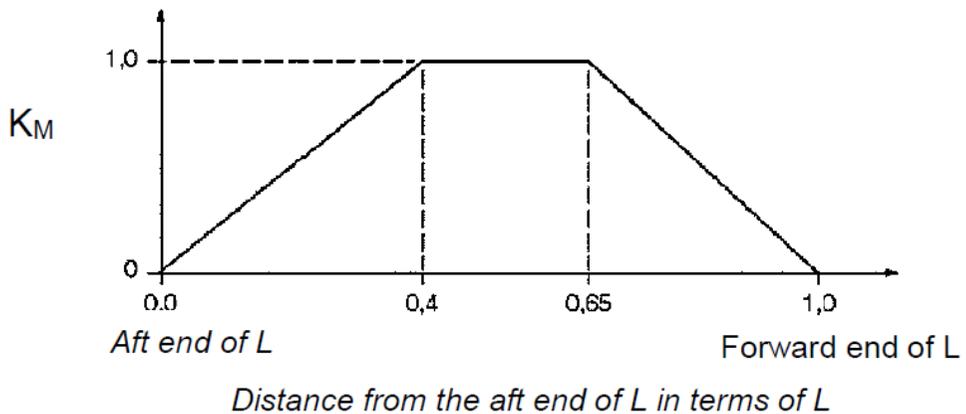
L panjang kapal dalam satuan meter

$blok$, tidak boleh kurang dari 0,6

$(300 - L)/100]^{1,5}$ untuk $90 \leq L \leq 300$ m

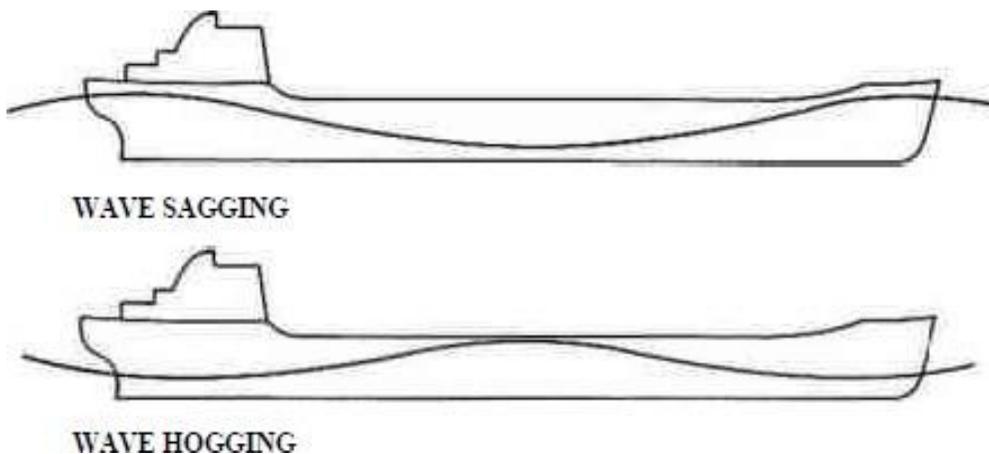
untuk $300 \leq L \leq 350$ m

$(L - 350)/150]^{1,5}$ untuk $350 \leq L \leq 500$ m



Gambar 14. Faktor distribusi K_M
 Sumber: (DNV GL, 2017a)

Beban dinamis *longitudinal* diakibatkan oleh gelombang. Ketika kapal berada pada puncak gelombang, kapal mengalami momen lentur dan gaya geser yang disebut *hogging*. Ketika kapal berada di lembah gelombang, kapal mengalami momen lentur dan gaya geser yang disebut *sagging*. Adapun kondisi kapal akan mengalami *hogging* ataupun *sagging* dapat dilihat pada gambar 15 dibawah ini.



Gambar 15. Momen lentur vertikal akibat gelombang
 Sumber: Bachman, 1991



2017a), mengeluarkan rumus untuk memperkirakan besaran atas vertikal akibat gelombang (M_w) untuk panjang kapal lebih jai berikut:

$$M_W = -0,11K_M C L^2 B (C_b + 0,7) kN-m, \text{ kondisi sagging} \quad (2.22)$$

$$M_W = +0,19K_M C L^2 B C_b kN-m, \quad \text{kondisi hogging} \quad (2.23)$$

dimana, C dan K_m seperti pada persamaan 2.17 dan 2.18

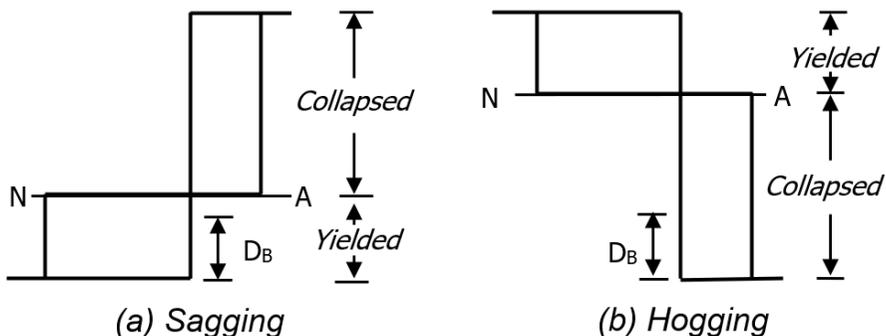
Kombinasi beban statis dan dinamis (M_t) untuk menganalisa kekuatan kapal terhadap momen lentur-batas vertikal dihitung dengan penjumlahan momen lentur-batas vertikal pada air tenang dan momen lentur-batas vertikal akibat gelombang (DNV GL, 2017b).

$$M_t = M_{sw} + 1,2M_W \quad (2.24)$$

O. Momen Lentur Batas Vertikal

Momen lentur-batas vertikal dalam analisa kekuatan struktur kapal terdiri dari beban pada air tenang (M_{sw}) untuk skenario pembebanan statis dan penjumlahan beban pada air tenang (M_{sw}) dan beban akibat gelombang (M_w) untuk skenario pembebanan statis dan dinamis (IACS, 2014). Paik et al (1998), menjumlahkan momen lentur-batas vertikal pada air tenang dan momen lentur-batas vertikal akibat gelombang untuk mendapatkan nilai ekstrem dari momen lentur-batas vertikal.

Caldwell (1965), mengasumsikan distribusi tegangan lentur di atas penampang lambung pada batasan *ultimate* di bawah momen lentur vertikal, seperti yang digambarkan pada gambar 16, dimana seluruh material yang terkompresi telah mencapai kekuatan batas dengan tekuk dan semua material yang mengalami *tension* akan kalah. Momen lentur batas mengintegrasikan dengan asumsi tegangan lentur di atas penampang (Hughes & Paik, 2010).



Gambar 16 Asumsi Caldwell mengenai distribusi tegangan lentur pada kondisi bawah momen lentur vertikal s & Paik, 2010



1 studi eksperimental model kapal skala besar (misalnya, Dow, numerik kapal skala penuh (misalnya, Rutherford dan Caldwell,

1990; Paik et al., 1996), diakui bahwa kehancuran keseluruhan dari lambung kapal ketika momen lentur *vertikal* terjadi *netral* dari penampang lambung bergerak ke arah *flange* yang ditahan (terjadi tegangan), dan peningkatan lebih lanjut dalam penerapan momen lentur dipertahankan sampai *flange* yang ditahan (terjadi tegangan) menjadi luluh. Pada tahap selanjutnya dari proses ini, struktur vertikal (misalnya, sekat *longitudinal* atau struktur *shell* samping) di sekitar *flange* terkompresi dan *flange* yang ditegang mungkin juga gagal. Namun, di sekitar sumbu netral akhir, struktur vertikal biasanya tetap dalam keadaan elastis *linier* sampai runtuhnya keseluruhan gelagar lambung terjadi. Hal ini pada sifat geometrik dan material dari penampang lambung kapal, bagian ini tentu saja gagal, yang sesuai dengan anggapan Caldwell (Hughes & Paik, 2010). Karena runtuhnya *flange* yang tertekan, tetapi terdapat kekuatan cadangan setelah *flange* tertekan runtuh. Hal ini karena setelah *flange buckle* yang ditekan, sumbu.

P. *Displacement Control*

Pendekatan pembebanan ini terdiri dari peningkatan perpindahan batas struktur. Dalam kasus *hull girder under* momen lentur, rotasi kekakuan (*rigid*) elemen dari model *cross-section* (kelengkungan) menjadi bertambah, maka dari itu *displacement control* berfungsi untuk menghitung perilaku struktur pasca keruntuhan (*post collapse*) wilayah di luar titik batas (titik A, gambar 9). Diperlukan pengolahan hasil tegangan untuk menghitung gaya dan momen pada berbagai *cross-section* yang dibutuhkan di dalam struktur. Ketika *displacement control* diterapkan pada struktur asimetris misalnya, asimetris *hull girder damaged*.

Q. Korosi (*Corrosion*)

Korosi merupakan proses degradasi material, khususnya logam, akibat reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya. Proses ini mengubah logam menjadi bentuk yang lebih stabil seperti oksida atau senyawa lainnya (Mars Guy Fontana, 1976).

Korosi pada kapal FPSO (Floating Production Storage and Offloading) merupakan masalah kritis mengingat peran penting kapal ini dalam industri minyak dan gas. FPSO adalah kapal yang digunakan untuk menerima hidrokarbon yang diproduksi dari ladang minyak dan gas, memprosesnya, dan menyimpan minyak atau gas tersebut sampai bisa dipindahkan ke kapal tanker atau di pindahkan melalui pipa.



ada jenis korosi yaitu, Jenis Korosi:

1. *Uniform Corrosion*: Terjadi secara merata pada seluruh permukaan logam.

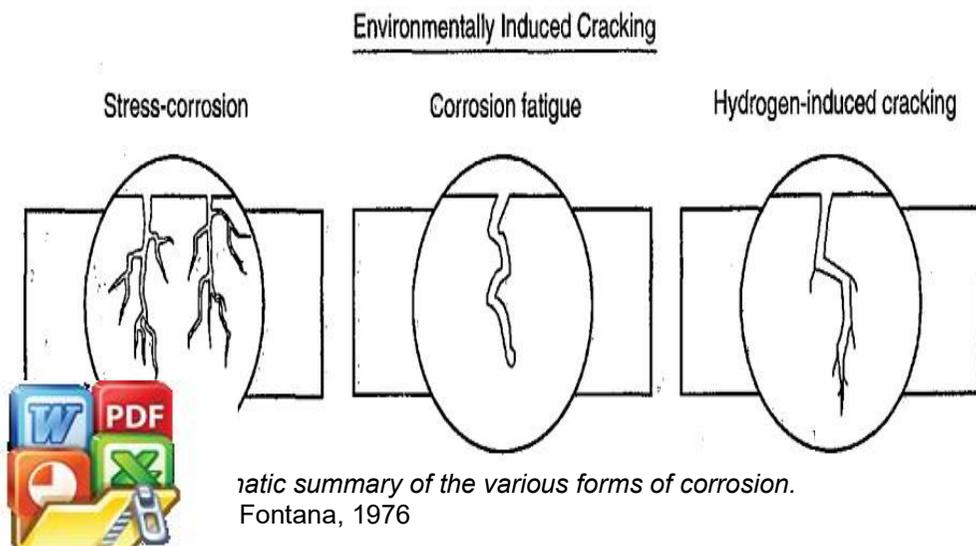
2. *Localized Corrosion*: Terjadi di daerah-daerah seperti sambungan las, baut, atau memiliki celah sempit. Di FPSO, area seperti itu bisa ditemukan di tangki penyimpanan, sistem perpipaan, dan struktur pendukung.

- Korosi Galvanik : Terjadi ketika dua logam berbeda bersentuhan dalam lingkungan korosif, menyebabkan logam yang lebih aktif terkorosi lebih cepat
- Korosi Pit : Pembentukan lubang-lubang kecil pada permukaan logam yang bisa menyebabkan kebocoran. Pada FPSO, ini bisa terjadi di tangki.
- Korosi Bakteri (MIC – Microbiologically Influenced Corrosion) : Bakteri tertentu dapat mempercepat proses korosi, terutama dalam lingkungan yang tertutup seperti tangki penyimpanan minyak dan sistem perpipaan. FPSO penyimpanan minyak mentah untuk waktu yang lama rentan terhadap jenis korosi ini.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Korosi:

- Lingkungan : Kelembaban, suhu, dan adanya zat korosif seperti garam dan asam
- Sifat Bahan : Komposisi kimia, struktur mikro, dan adanya cacat pada bahan
- Kondisi Operasional : Tekanan mekanis, laju aliran fluida, dan desain komponen
- Konstruksi dan Desain : Sudut tajam, retakan, atau area yang sulit dijangkau dapat menjadi tempat penumpukan air atau kotoran, yang dapat mempercepat korosi.
- Lapisan Pelindung : Cat, pelapis galvanis, atau anodisasi dapat melindungi material dari korosi.
- Kontaminan Kimia : Kehadiran kontaminan seperti sulfat dan klorida dalam air laut atau hidrokarbon dapat meningkatkan laju korosi.

Adapun berikut beberapa gambaran terkait korosi yang diakibatkan oleh lingkungan



R. Data Struktur

Data pada penelitian ini menggunakan data dari PT. *Irvine Engineering*, Dubai, dengan ukuran utama FPSO sebagai berikut:

Panjang Kapal, L	:	256,5	m
Lebar Kapal, B	:	70,2	m
Tinggi Kapal, D	:	27	m
Type of Material	:	HS36	
Elastic Modulus	:	210.000	N/mm ²
Density	:	7,7 x 10 ⁻⁵	N/mm ³
Yield Strength	:	235	N/mm ²
Rasio Poisson	:	0,33	

Serta konfigurasi penampang dari FPSO seperti pada tabel 3, berikut tabel 3 dengan ukuran *Stiffener*.

Tabel 3 Kongfigurasi Ukuran *Stiffener*

LONGITUDINAL NO.	SIDE SHELL LONGITUDINAL BULKHEADS (mm)
39-41	600x15 / 200x30 F.B.
42-45	550x15 / 150x25 F.B.
50-53	550x15 / 150x25 F.B.
54-57	450x15 / 150x25 F.B.
58-61	450x15 / 150x25 F.B.
62-64	400x14 O.B.P
65-67	370x13 O.B.P

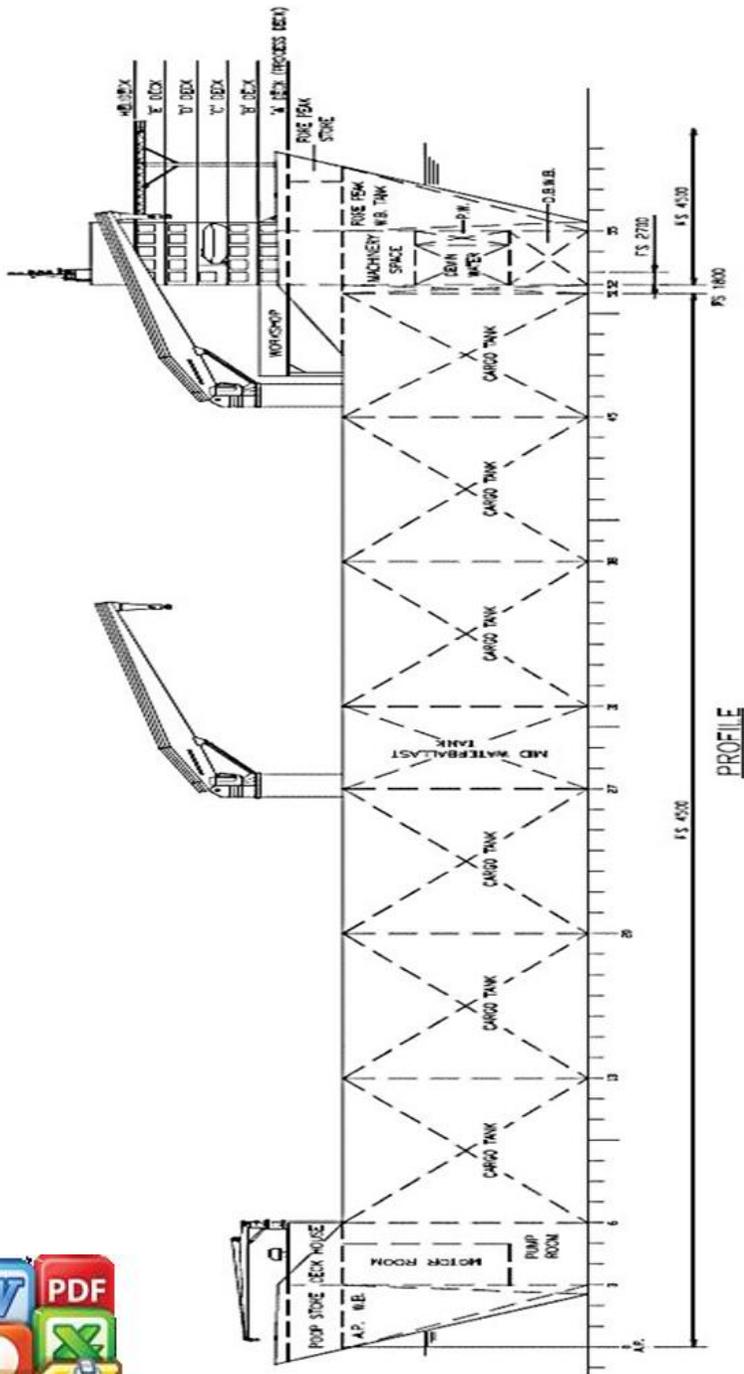
Sumber: Hasil Olah Data, 2024

Data konfigurasi *stiffener* yang ditunjukkan pada tabel 3 akan digunakan dalam penelitian ini saat memasukkan ukuran-ukuran *stiffener* pada model yang akan di akan metode NLFEA yang berbasis aplikasi ANSYS yang a grafik yang di olah pada aplikasi pengolah data. Konfigurasi arah membujur kapal FPSO dapat dilihat pada Gambar 17, ambar 19, dan Tabel 1 untuk konfigurasi ukuran *stiffener*.

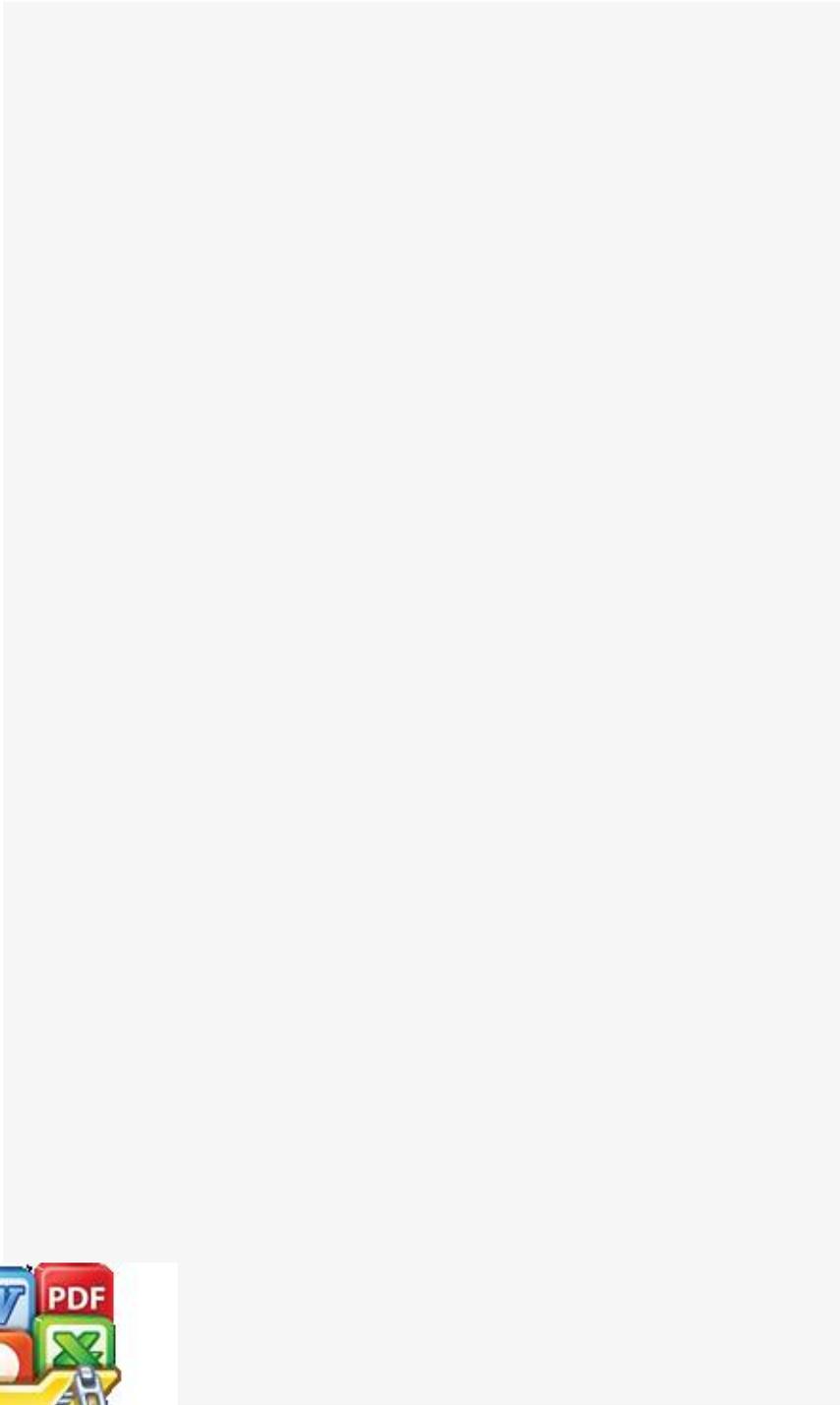




Optimized using trial version www.balesio.com

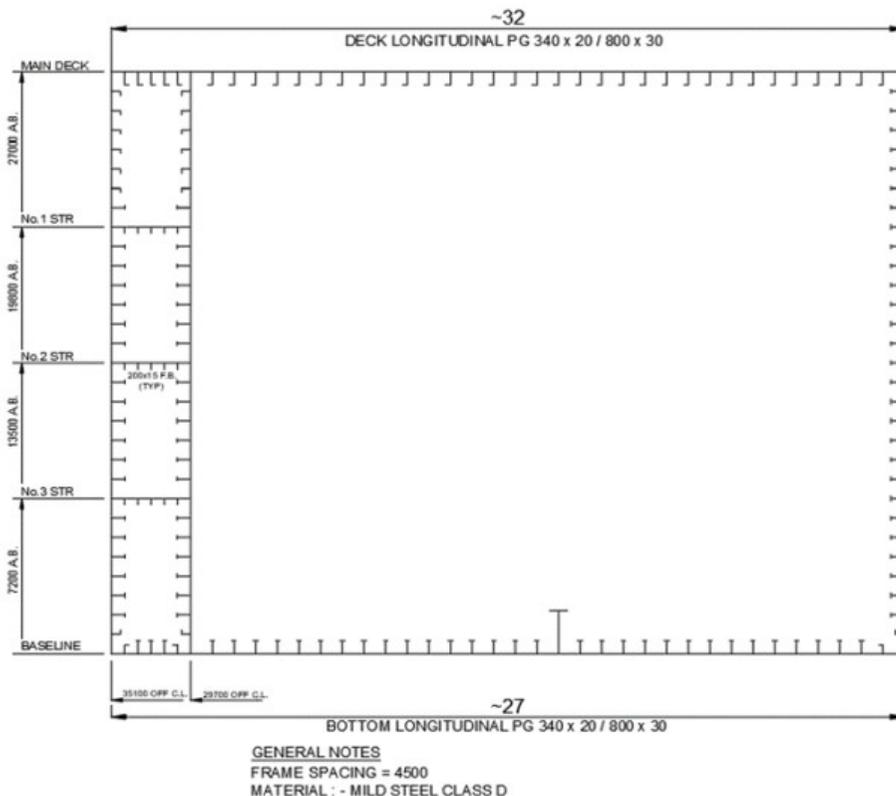


Gambar 18. General Arrangement
Sumber: *PT. Irvine Engineering*



Gambar 19. penampang atas kapal FPSO arah membujur
Sumber : *PT. Irvine Engineering*





Gambar 20. Setengah *Midship* Kapal FPSO
Sumber: *PT. Irvine Engineering*

2.6. Analisis Data

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam melakukan analisis data dalam penelitian pengaruh *topside tank* terhadap kekuatan membujur kapal FPSO ini adalah:

1) Tahapan Pertama

Kegiatan penelitian dilakukan dengan pengambilan data dari berbagai sumber, serta industri perkapalan yang ada dan literatur-literatur yang berhubungan dengan produksi kapal FPSO, yang ada di perpustakaan ataupun dari sumber-sumber lainnya.

2) Tahapan Kedua

Setelah mengadakan studi atau pemahaman terhadap data yang dikumpulkan, dilanjutkan dengan pengolahan data berupa:

a. Mengidentifikasi data-data yang digunakan pada struktur kapal FPSO seperti ketebalan *stiffener*, *properties* material dan jenis profil *stiffner*.

b. Mengidentifikasi beban-beban yang bekerja pada struktur kapal FPSO

c. Mengidentifikasi gaya-gaya yang bekerja pada kapal FPSO yang akan digunakan pada kapal FPSO mencapai kekuatan batasnya.

d. Tahap ini menekankan pada pemodelan penampang serta

e. Tahap ini menekankan pada pemodelan penampang serta data meliputi analisa struktur penampang tengah kapal FPSO



berupa tegangan dan kekuatan batas yang terjadi pada kapal FPSO akibat beban yang bekerja dengan menggunakan alat berupa *software* ANSYS.

Berikut merupakan gambaran umum ANSYS. ANSYS adalah salah satu *software* yang digunakan untuk menganalisis berbagai macam struktur, aliran fluida, dan perpindahan panas dari beberapa *software* analisis yang lain yaitu nastran, CATIA, *fluent*, dan yang lain. Pada penelitian kali ini jenis ANSYS yang digunakan yaitu *Ansys Parametric Design Language* (APDL). *Mechanical* APDL populer digunakan dalam pemecahan masalah elemen hingga mulai dari membuat geometri untuk analisis hingga menyiapkan pengaturan solusi *advanced* untuk analisis yang sangat kompleks. Sesuai namanya, *Mechanical* APDL sangat berguna dalam mengembangkan model parametrik yang digunakan dalam iterasi desain dan secara rutin digunakan dalam *advanced analysis, automating workflows, and vertical applications* untuk berbagai masalah yang spesifik.

4) Hasil Penelitian

Ketika pengecekan analisis selesai dan analisis model dinyatakan berhasil maka tahapan selanjutnya adalah memaparkan hasil analisis yang telah didapatkan, berupa kurva hubungan antara *bending moment* dengan *curvature* dan bentuk deformasi yang diakibatkan oleh beban yang bekerja pada struktur FPSO.

Penelitian ini menggunakan proses kontrol momen untuk mengetahui nilai kekuatan-batas struktur baik sebelum dan setelah mengalami kerusakan. Kondisi syarat batas pada penelitian ini adalah seluruh titik ujung model bagian *aft* di-*full constrain*. Tidak ada pembebanan pada titik acuan *aft*. Ujung model bagian *fore* pada titik acuan sumbu netral, diberikan momen lentur kemudian semua titik pada ujung *fore* di-*rigid link full constrain* ke titik acuan sumbu netral. Besaran nilai momen lentur yang diaplikasikan pada titik *fore* dilakukan dalam dua tahapan pembebanan dimana ada peningkatan nilai momen lentur pada setiap tahapan sampai aplikasi ANSYS mendapatkan nilai kekuatan-batas struktur.

Keakuratan nilai kekuatan-batas struktur dapat diperoleh dengan meningkatkan jumlah tahapan pembebanan. Metode NLFEA menggunakan analisa statis yaitu dengan menggunakan metode *arc length* untuk mendapatkan nilai batas *buckling* dan *post buckling* pada struktur.

5) Kesimpulan

Pada tahap ini akan diberikan kesimpulan mengenai hasil pengaruh *topside tank* pada kekuatan struktur FPSO dengan mempertimbangkan momen lengkung maksimum yang dialami oleh badan kapal sebagai satu kesatuan pada arah membujur dengan memahami prosedur untuk membuat kurva beban sepanjang kapal (*curvature*) pada kondisi *sagging* maupun *hogging*, dapat menghitung



dan tegangan maksimum pada struktur membujur kapal baik *sagging* maupun *hogging*, serta mendapatkan hasil defleksi maksimum *sagging* maupun *hogging* terhadap kekuatan membujur kapal menggunakan metode NLFEA.

penelitian atau diagram alir dalam penelitian pengaruh korosi pada terhadap kekuatan membujur yaitu :

