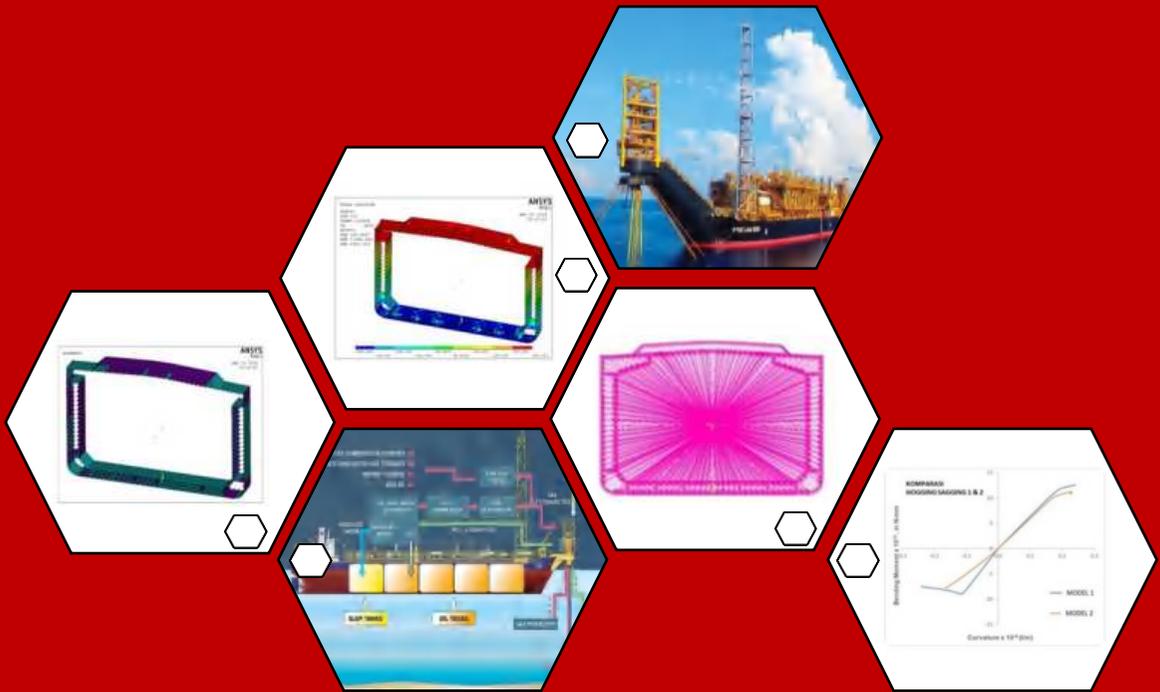


PENGARUH TOPSIDE TANK TERHADAP KEKUATAN MEMBUJUR KAPAL FPSO



MUSDALIFAH AKBAR SIMANJUNTAK

D081 20 1009



DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

Optimized using
trial version
www.balesio.com

**PENGARUH *TOPSIDE TANK* TERHADAP
KEKUATAN MEMBUJUR KAPAL FPSO**

MUSDALIFAH AKBAR SIMANJUNTAK

D081201009



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

**PENGARUH *TOPSIDE TANK* TERHADAP
KEKUATAN MEMBUJUR KAPAL FPSO**

**MUSDALIFAH AKBAR SIMANJUNTAK
D081 20 1009**

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 *TOPSIDE TANK* TERHADAP
KEKUATAN MEMBUJUR KAPAL FPSO

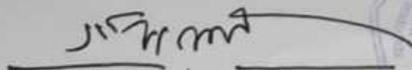
Musdalifah Akbar Simanjuntak
D081201009

Skripsi,

Teah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sarjana Pada Tanggal 30/07/2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

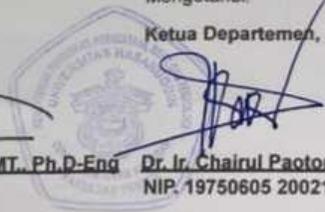
UNIVERSITAS HASANUDDIN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA

Mengesahkan:
Pembimbing Utama



Prof. Ir. Muhammad Zubair Muis Alie, ST., MT., Ph.D-Eng
NIP. 19750608 200501 1 003

Mengetahui:
Ketua Departemen,



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 TOPSIDE TANK Terhadap Kekuatan Membujur Kapal FPSO**". 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, 25 Juni 2024



MUSDALIFAH AKBAR SIMANJUNTAK
D081201009

Scanned with CamScanner



Optimized using
trial version
www.balesio.com

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 *Topside Tank* Terhadap Kekuatan Membujur Kapal FPSO". 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 Edison A, Simanjuntak** dan **Ibu Salena Siregar** 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 memudahkan oleh-Nya adalah hasil pengijabahan doa kedua orang tua penulis.
2. 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.
3. 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.
4. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan yang telah mengesahkan skripsi ini dan Penasehat Akademik (PA) selama menjadi mahasiswa Teknik Kelautan sehingga saya dapat menyelesaikan studi.
5. **Dosen - Dosen Teknik Kelautan** yang telah memberikan ilmu serta pengalamannya selama dalam proses perkuliahan.
6. **Tenaga Kependidikan Departemen Teknik Kelautan**, yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian



t penulis, **Syamsuarni Dewi Utami**, Terima kasih untuk selalu aku untuk menemani, mengarahkan, memberikan masukan, semangat yang tak henti-hentinya.

Naval20 dan khususnya mahasiswa Teknik Kelautan 2020 yang 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.
9. Teman-teman **Labo OSAREL** yang selalu memberikan semangat kepada saya, penulis mengucapkan banyak terima kasih juga kepada **Alumni Labo OSAREL** yang selalu bersedia memberikan pengarahan.
 10. Dan yang terakhir saya mengucapkan terima kasih banyak kepada **diri saya sendiri** yang sudah berjuang sampai sejauh ini, terima kasih untuk tubuh yang selalu kuat menahan beban yang sangat berat ini. Kepada diri sendiri terima kasih sekali lagi telah berjuang karna hanya dirimu sendiri yang tau jatuh bangunnya dan susahny otak berpikir bersatu melawan *overthinking* setiap malam. Masalah yang silih berganti mengajarkan saya bahwa nangis dalam penyusunan skripsi itu wajib ada dan itulah bumbu yang sebenarnya yang harus dicoba.
 11. 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.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatu

Musdalifah Akbar Simanjuntak



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

Musdalifah Akbar Simanjuntak. **Pengaruh TOPSIDE TANK Terhadap Kekuatan Membujur Kapal FPSO.** (dibimbing oleh Muhammad Zubair Muis Alie)

Dalam perancangan dan pembuatan suatu kapal salah satu aspek terpenting yaitu perancangan strukturnya. Konstruksi kapal harus mampu menahan beban-beban yang bekerja pada kapal baik pada kondisi normal maupun ekstrem. Dalam perkembangan teknologi konstruksi kapal, desain dan material menjadi hal yang sangat dipertimbangkan oleh perusahaan galangan kapal dalam perancangan dan pembuatan kapal baru. Salah satunya yaitu kekuatan pada geladak kapal. Pada penelitian ini dilakukan analisa menggunakan metode NFLEA (*NonLinear Finite Element Analysis*) untuk mengetahui pengaruh *topside tank* pada FPSO terhadap kekuatan membujurnya dengan memasukkan data profil FPSO pada aplikasi ANSYS. Analisis dilakukan pada *midship* FPSO dengan *topside tank* dan tanpa *topside tank* saat kondisi *hogging* dan *sagging* dengan penambahan beban secara bertahap berdasar aturan yang berlaku untuk mendapatkan hasil analisis berupa kurva hubungan antara *bending moment* dengan *curvature* dan bentuk deformasi yang diakibatkan oleh beban yang bekerja pada struktur FPSO. Tegangan izin yang digunakan pada objek penelitian ini yaitu kelas baja SH36 dengan tegangan luluh 355 N/mm^2 memiliki tegangan izin sebesar 490 N/mm^2 . Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan batas momen lentur vertikal FPSO dipengaruhi oleh bangunan atas kapal. Pada kondisi *hogging*, kekuatan batas momen lentur kapal FPSO dengan konstruksi *topside tank* mencapai $1,15 \times 10^{13} \text{ Nmm}$, sedangkan pada kondisi *sagging* mencapai $-1,16 \times 10^{13} \text{ Nmm}$. Kapal tanpa konstruksi *topside tank* memiliki kekuatan batas momen lentur sebesar $1,01 \times 10^{13} \text{ Nmm}$ pada *hogging* dan $-5,65 \times 10^{12} \text{ Nmm}$ pada *sagging*. Analisis juga menunjukkan bahwa pada kondisi Perbandingan antara FPSO dengan metode NLFEA tersebut menunjukkan bahwa kekuatan batas FPSO model 1 lebih besar dari model 2 dengan presentase *error* yaitu sebesar 12,17% pada kondisi *hogging* dan 51,29% pada kondisi *sagging*. Penelitian ini memberikan pengetahuan bagaimana pengaruh perilaku kekuatan struktur kapal FPSO ada dan tanpa konstruksi *topside tank* sebagai upaya untuk meningkatkan keamanan struktural dan mengoptimalkan kinerja struktur kapal dalam berbagai kondisi operasional laut.

Kata Kunci: FPSO, penampang, *topside tank*, kekuatan membujur, kekuatan batas NLFEA.



ABSTRACT

Musdalifah Akbar Simanjuntak. **Effect of TopSide Tank on Longitudinal Strength of FPSO** (supervised by **Muhammad Zubair Muis Alie.**)

In the design and manufacture of a ship one of the most important aspects is the design of the structure. Ship construction must be able to withstand the loads acting on the ship in both normal and extreme conditions. In the development of ship construction technology, design and materials are highly considered by shipbuilding companies in the design and manufacture of new ships. One of them is the strength on the ship's deck. In this study, an analysis was carried out using the NFLEA (Non-Linear Finite Element Analysis) method to determine the effect of the superstructure on the FPSO on its longitudinal strength by entering the FPSO profile data into the ANSYS application. The analysis was carried out on midship FPSOs with topside tank and without topside tank during hogging and sagging conditions with gradual addition of load based on the regulation to obtain the results of the analysis in the form of a relationship curve between bending moment and curvature and the shape of the deformation caused by loads acting on the FPSO structure. The allowable stress used for SH36 steel class with a yield stress of 355 N/mm^2 and yield stress of 490 N/mm^2 . The results show that the limit strength of the vertical bending moment of the FPSO is influenced by the ship's superstructure. Under hogging conditions, the bending moment limit strength of FPSO vessels with topside tank construction reaches $1.15 \times 10^{13} \text{ Nmm}$, while under sagging conditions it reaches $-1.16 \times 10^{13} \text{ Nmm}$. Vessels without topside tank construction have a bending moment limit strength of $1.01 \times 10^{13} \text{ Nmm}$ in hogging and $-5.65 \times 10^{12} \text{ Nmm}$ in sagging. The analysis also shows that under the condition of Comparison between FPSOs with the NLFEA method shows that the limit strength of FPSO model 1 is greater than model 2 with a percentage error of 12.17% under hogging conditions and 51.29% under sagging conditions. This research provides knowledge on how to influence the structural strength behavior of FPSO ships with and without topside tank construction as an effort to improve structural safety and optimize the performance of ship structures in various sea operational conditions.

Key Words: FPSO, cross section, topside tank, longitudinal strength, ultimate strength, NLFEA.



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
PELIMPAHAN HAK CIPTA	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah	3
1.3 Tujuan penelitian	4
1.4 Batasan penelitian.....	4
1.5 Manfaat penelitian	4
BAB II. METODOLOGI PENELITIAN	5
2.1 Waktu dan tempat penelitian	5
2.2 Jenis penelitian.....	5
2.3 Metode penelitian	5
2.4 Teknik pengumpulan data	11
2.5 Studi literatur.....	11
2.6 Data struktur.....	25
	28
.....	31
in.....	31
omen lentur-batas vertikal.....	32

3.3	Tegangan izin	34
3.4	Tegangan kerja FPSO terhadap momen lentur batas-vertikal	35
BAB IV. PEMBAHASAN		44
4.1	Momen lentur-batas vertikal	44
4.2	Kekuatan batas momen vertikal	45
4.3	Perbandingan kekuatan batas FPSO menggunakan metode NLFEA	48
BAB V. KESIMPULAN		52
4.1	Kesimpulan.....	52
4.2	Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA		54
LAMPIRAN		56



DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. Spesifikasi material	8
2. Tegangan izin pada struktur baja elemen pemasangan dan <i>substructure</i> (N/mm ²) (BKI Vol.2, 2024)	17
3. Kongfigurasi ukuran <i>stiffener</i> SANTOS (SAMPANG) PTY. LTD, 2018	25
4. Formula perhitungan momen lentur-batas vertikal	32
5. Formula momen lentur-batas vertikal <i>sagging</i> dan <i>hogging</i>	34
6. Tegangan izin kerja material FPSO	34
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	39
9. Rekapitulasi tegangan kerja arah z FPSO model 2 akibat kekuatan batas	41
10. Rekapitulasi tegangan kerja arah z FPSO model 2 akibat kekuatan batas	43
11. Kekuatan-batas FPSO model 1	45
12. Kekuatan-batas FPSO model 2	46
13. Rekapitulasi kekuatan batas kapal FPSO	48
14. Kekuatan-batas kapal FPSO model 1 dan 2	50



DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. <i>Floating production storage and offloading system</i> (FPSO).....	1
2. <i>General load-displacement curve</i> (ABS, 2024).....	7
3. Kondisi syarat batas untuk kontrol kelengkungan (hasil olahan, 2024).....	9
4. FPSO model 1 kondisi <i>meshing</i> (hasil olahan, 2024).....	10
5. <i>Quadrilateral shell element</i> (SHELL181).....	11
6. Tegangan-regangan (sumber: NPTEL).....	13
7. Tegangan tarik.....	14
8. Tegangan tekan.....	14
9. Von mises <i>yield surface for plain stress</i> (ABS, 2024).....	16
10. Hubungan antara tegangan dan regangan.....	17
11. Grafik kekuatan momen lentur dan kelengkungan (DNV GL, 2017b).....	19
12. <i>Box girder</i> tanpa elemen di tengah penampang.....	21
13. Distribusi beban, gaya geser dan momen lentur pada kapal (Shama, 2013).....	21
14. Faktor distribusi K_M (DNV GL, 2017a).....	22
15. Momen lentur vertikal akibat gelombang (Bachman, 1991).....	23
16. Asumsi Caldwell mengenai distribusi tegangan lentur pada kondisi batas.....	24
17. <i>Midship</i> kapal FPSO SANTOS (SAMPANG) PTY.LTD, 2018.....	27
18. Gambar diagram alir.....	30
19. Model 1.....	31
20. Model 2.....	31
21. Grafik Perilaku dan distribusi tegangan kerja FPSO pada kondisi <i>ultimate strength</i> akibat <i>sagging</i>	35
22. Perilaku dan distribusi tegangan kerja FPSO pada kondisi elastik akibat <i>sagging</i>	36
23. Perilaku dan distribusi tegangan kerja FPSO pada kondisi <i>collapse</i> akibat <i>sagging</i>	36
24. Perilaku dan distribusi tegangan kerja FPSO pada kondisi <i>ultimate strength</i> akibat <i>hogging</i>	37
25. Perilaku dan distribusi tegangan kerja FPSO pada kondisi elastik akibat <i>hogging</i>	38
26. Perilaku dan distribusi tegangan kerja FPSO pada kondisi <i>collapse</i> akibat <i>hogging</i>	38
27. Perilaku dan distribusi tegangan kerja FPSO pada kondisi <i>ultimate strength</i> akibat <i>sagging</i>	39
28. Perilaku dan distribusi tegangan kerja FPSO pada kondisi elastik akibat <i>sagging</i>	40
29. Perilaku dan distribusi tegangan kerja FPSO pada kondisi <i>collapse</i> akibat.....	40
30. Perilaku dan distribusi tegangan kerja FPSO pada kondisi <i>ultimate strength</i>	41



31. Perilaku dan distribusi tegangan kerja FPSO pada kondisi elastik akibat *hogging* 42

32. Perilaku dan distribusi tegangan kerja FPSO pada kondisi *collapse* akibat *hogging* 42



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan	Satuan
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_{te}	gaya tekan	N
F_r	gaya geser	N
h	tinggi kerusakan akibat tubrukan	m
	momen inersia	m ⁴
	momen inersia penampang kapal yang memanjang	m ⁴



e_z	jarak horizontal struktur dari sumbu vertikal dan netral	m
A	luas penampang	mm ²
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>	
ΔL	pertambahan panjang	m
L	panjang mula-mula	m
ε	regangan	
P	gaya yang bekerja	N/mm ²
σ	tegangan	N/mm ²
	tegangan lentur ijin	N/mm ²
	tegangan lentur maksimum	N/mm ²
	tegangan tarik	N/mm ²
	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	Nmm
σ_{WH}	tegangan statis akibat momen lentur horizontal	Nmm



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. Tabel perhitungan kekuatan batas kapal FPSO kondisi <i>sagging</i> dan <i>hogging</i> model 1.....	56
2. Tabel perhitungan kekuatan batas kapal FPSO kondisi <i>sagging</i> dan <i>hogging</i> model 2.....	57
3. <i>Midship section</i>	60
4. Kartu kontrol asistensi.....	61

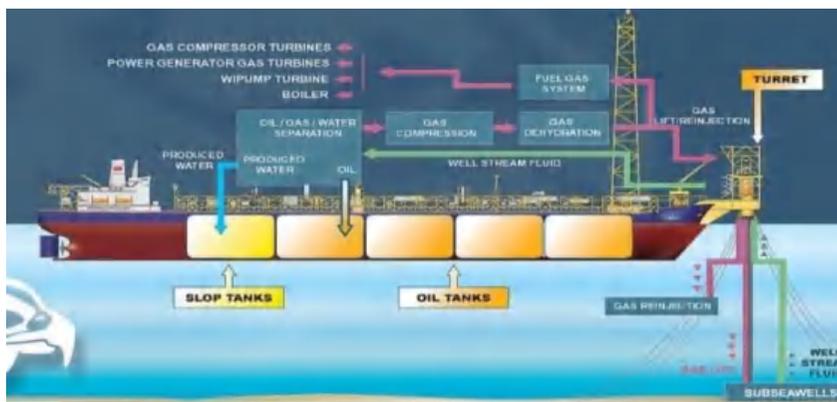


BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*) pada dasarnya adalah sebuah fasilitas terapung yang dioperasikan disuatu ladang minyak dan gas bumi lepas pantai yang fungsinya untuk menerima, memproses, menyimpan dan selanjutnya menyalurkan minyak dan gas bumi ke pasaran. Banyak fasilitas produksi yang terdapat di atas geladak FPSO. Fasilitas-fasilitas tersebut terdiri dari beberapa fasilitas pemrosesan dan pendukung yang disusun dalam beberapa *topside module*, di antaranya adalah *gas processing module*, *utility module*, *compression module*, *living quarter module*, and *power generator module*.

FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*) adalah bangunan terapung paling produktif di bidang industri lepas pantai yang dikembangkan pada tahun 1970 untuk menghasilkan minyak dan gas dengan menggunakan jaringan pipa atau struktur tetap. Awalnya, FPSO dibatasi pada daerah dengan beban lingkungan yang ringan. Hal ini memungkinkan konversi kapal tanker menjadi FPSO (Paik J, 2007). FPSO merupakan bangunan pengeboran dan penyimpanan minyak lepas pantai yang bersifat portable, dalam artian dapat berpindah-pindah. Adapun hasil pemisahan dari produk pengeboran adalah *crude oil*, air dan gas. Sebuah kapal yang hanya digunakan untuk menyimpan minyak disebut sebagai *Floating Storage and Offloading* (FSO). FPSO memiliki karakteristik berbeda dengan FSO, walaupun demikian FPSO dapat dibangun dengan konversi FSO, adapun ciri umum FPSO adalah konstruksi gading-gading lebih kuat daripada kapal dengan ukuran yang sama, disebabkan adanya beban di atas *deck* yang sangat besar berupa *equipment* atau pabrik produksi minyak dan gas seperti yang terlihat pada gambar 1.



production storage and offloading (FPSO)
t al., 2007. *Ship-Shaped Offshore Installations*

ting Production Storage and Offloading) dalam operasinya
aruh signifikan dari beban lingkungan dan operasionalnya. Hal
n mempengaruhi komponen-komponen struktur yang ada di

atasnya, termasuk struktur *topside tank* yang berfungsi untuk menjaga kestabilan kapal baik saat berlayar maupun saat kapal melakukan proses pemurnian ataupun kompresi minyak dan gas. Konstruksi *topside tank* FPSO haruslah kuat menahan beban-beban yang terjadi pada saat kondisi operasi.

Dalam perancangan dan pembuatan kapal FPSO salah satu aspek terpenting yaitu perancangan strukturnya. Konstruksi kapal harus mampu menahan beban-beban yang bekerja pada kapal baik pada kondisi normal maupun ekstrem. Permasalahan yang sering terjadi pada kapal adalah kerusakan yang disebabkan oleh tubrukan, kandas, korosi, dan lain sebagainya. Dalam perkembangan teknologi konstruksi kapal, desain dan material menjadi hal yang sangat dipertimbangkan oleh perusahaan galangan kapal dalam perancangan dan pembuatan kapal baru. Salah satunya yaitu kekuatan pada geladak kapal. FPSO memiliki konstruksi tipe membujur pada bagian *deck* yang diperkuat oleh pembujur geladak (*deck longitudinal*).

Analisis kekuatan struktur pada FPSO dan bangunan apung sejenisnya telah banyak dilakukan sebelumnya. Muis-Alie et al., (2018) mengkaji kekuatan kapal dengan mempertimbangkan modulus penampang dalam pengaruh lentur membujur. Muis-Alie et al., (2020) membahas efek tabrakan kerusakan pada kekuatan *ultimate* kapal FPSO.

Secara keseluruhan, bagian atas FPSO adalah bagian penting dari kapal, menjadi bagian utama dalam sistem fasilitas produksi, pemrosesan, penyimpanan, dan pembongkaran yang diperlukan untuk ekstraksi dan perawatan karbon. Bagian atas pada FPSO dirancang untuk menahan *harsh offshore environment* dan mengakomodasi persyaratan operasional dan keselamatan FPSO yang beragam. *Topside tank* merupakan salah satu komponen struktur bagian atas dari FPSO berbentuk segitiga yang terletak di sisi kanan kiri bahu atau sayap ruang kargo. Sistem konstruksi pada *topside tank* kapal FPSO yang menjadi objek dalam penelitian ini meliputi sistem konstruksi memanjang dimana sebagian besar sistem konstruksi dibentuk oleh pelat dan profil penegar memanjang. Hal ini berkaitan dengan konfigurasi dari konstruksi *topside tank* sendiri, dimana *topside tank* berbentuk *web frame* yang menghubungkan antar konstruksi seperti *side shell plate* dan *side longitudinal*, *side shell plate* dan *web frame*, *attached brackets* dan sambungan antara *longitudinal members* dan *deck plate* yang berperan penting sebagai media penghubung untuk meneruskan beban suatu struktur ke struktur bagian utama. Tujuan dari *topside tank* ini adalah untuk menopang dan meminimalkan lendutan pada pelat maupun *internal structural items*. *Topside tank* berperan penting dalam menahan tekanan yang diberikan tanpa mengalami kegagalan atau *failure*.

Atas dasar tersebut, penelitian ini menjelaskan mengenai pengaruh kekuatan *ank* pada FPSO dengan mempertimbangkan setiap variasi profil melakukan penelitian dengan judul "Pengaruh *Topside Tank* dan Pembujur Kapal FPSO", sehingga akan diketahui kekuatan masing-masing profil penegar dengan nilai modulus yang sama. Perbandingan kekuatan membujur FPSO dengan dan tanpa *topside tank* yang ditinjau pada penelitian ini adalah konstruksi *topside tank* pada



FPSO di bagian ruang muat *midship*. Hasil dari penentuan dengan dan tanpa *topside tank* pada FPSO dapat dilihat dari segi nilai kekuatan dan total berat konstruksinya.

Beberapa tahun terakhir telah terjadi peningkatan minat terhadap kekuatan utama lambung kapal dan permasalahan terkait perilaku *nonlinier* serta keruntuhan elemen struktur kapal yang terbuat dari elasto-plastik. Penelitian di bidang ini telah berkontribusi pada pengembangan metode desain keadaan batas dan analisis reliabilitas kuantitatif yang memerlukan pertimbangan eksplisit terhadap kondisi keadaan batas akhir (runtuh). Studi numerik yang sistematis, yang biasanya didasarkan pada elemen hingga atau teknik serupa dan dalam beberapa kasus didukung oleh data eksperimen, telah menghasilkan pemahaman yang jauh lebih baik tentang perilaku kekuatan *plate and shell* yang kaku dan tidak kaku.

Pentingnya ketidaksempurnaan struktural, termasuk khususnya deformasi awal dan tegangan sisa yang disebabkan oleh pengurangan elemen membujur kapal dan *cold forming*, telah diketahui secara umum, begitu pula kebutuhan akan definisi statistik mengenai ketidaksempurnaan tersebut dan pengaruhnya terhadap kekuatan. Telah diketahui juga bahwa kinerja struktur yang berlebihan seperti lambung kapal atau anjungan lepas pantai secara umum dapat dipengaruhi oleh daya dukung komponen struktur sebelum keruntuhan. Kekuatan pelapisan kaku yang membentuk *shell* dan struktur *deck* lambung kapal sangat bergantung, khususnya di bawah beban tekan, pada perilaku masing-masing elemen pelat persegi panjang yang terdapat di antara pengaku. Elemen pelat tersebut biasanya dibatasi pada sisinya oleh *stringer* yang jaraknya berdekatan dan sejajar dengan arah beban dominan, dan pada ujungnya oleh rangka melintang yang jaraknya relatif lebar. Kekuatan *shell* yang kaku dipengaruhi tidak hanya oleh kekuatan keruntuhan (daya dukung beban maksimum) elemen pelat tetapi juga oleh hilangnya kekakuan sebelum keruntuhan akibat tekuk elastis atau leleh.

Fokus dari penelitian ini adalah pada pemodelan *ultimate strength* dan beban struktur FPSO/FSU sebagai sarana untuk memodelkan ketahanan struktur dan beban yang terjadi selama operasionalnya untuk digunakan dalam analisis kekuatan membujur kapal FPSO. Dengan adanya penelitian ini pembaca dapat mengetahui 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*, mengetahui prosedur untuk menghitung momen inersia dan tegangan maksimum pada struktur membujur kapal baik kondisi *sagging* maupun *hogging*, serta mengetahui prosedur untuk menghitung deformasi maksimum (*ultimate strength*) pada kondisi *sagging* maupun *hogging*.



alah

Belakang di atas, rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh *topside tank* terhadap kekuatan membujur kapal FPSO, bagaimana respon struktur kapal FPSO dengan dan tanpa adanya *topside tank*, bagaimana perilaku yang terjadi pada saat kondisi *hogging* pada kapal FPSO.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *topside tank* terhadap kekuatan membujur kapal, mengetahui respon struktur kapal FPSO dengan dan tanpa adanya *topside tank*, serta mengetahui perilaku yang terjadi pada saat kondisi *hogging* maupun *sagging* pada kapal FPSO.

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 milik Pertamina (SANTOS, 2018)
2. Beban yang bekerja hanya momen lentur vertikal *longitudinal* (*hogging and sagging*)
3. Bagian yang ditinjau adalah bagian *midship* kapal FPSO
4. Ketidakterampilan awal material, cacat pengelasan, tegangan sisa pengelasan, korosi, dan *crack base* diabaikan
5. Perhitungan respon struktur menggunakan metode elemen hingga atau *Non Linier Finite Element Method*. (Software: ANSYS Mechanical APDL)
6. Analisa dilakukan pada bagian geladak yaitu konstruksi *topside tank*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah:

1. Sebagai informasi untuk menambah wawasan dan pengetahuan mengenai pengaruh *topside tank* pada kekuatan membujur kapal FPSO
2. Memberikan gambaran cara menghitung kekuatan membujur kapal untuk melihat kemampuan konstruksi kapal dalam menghadapi skenario pembebanan
3. Sebagai referensi untuk memahami efek dari tegangan dan deformasi yang bekerja pada struktur kapal FPSO saat kondisi *hogging* maupun *sagging*
4. Memahami efek kekuatan-batas maksimum momen lentur dengan menggunakan metode *Non Linier Finite Element Analysis*.

