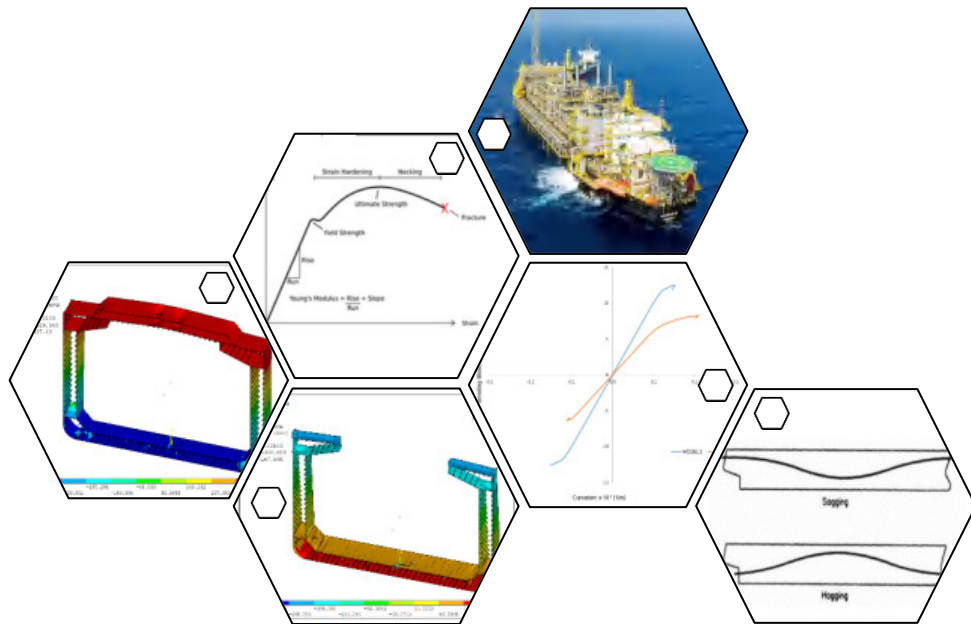


PENGARUH BUKAAN PADA GELADAK FPSO TERHADAP KEKUATAN MEMBUJUR KAPAL



SAMSUARNI DEWI UTAMI
D081201004



DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

**PENGARUH BUKAAN PADA GELADAK FPSO TERHADAP KEKUATAN
MEMBUJUR KAPAL**

SAMSUARNI DEWI UTAMI

D081201004



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

**PENGARUH BUKAAN PADA GELADAK FPSO TERHADAP KEKUATAN
MEMBUJUR KAPAL**

SAMSUARNI DEWI UTAMI

D081201004

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**

SKRIPSI
PENGARUH PADA BUKAAN FPSO TERHADAP KEKUATAN MEMBUJUR
KAPAL

SAMSUARNI DEWI UTAMI
D081201004

Skripsi,

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sarjana Pada Tanggal 24 Juni 2024

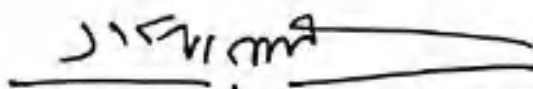
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA

Mengesahkan:

Pembimbing Utama



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

Mengetahui:

Ketua Departemen,



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



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul **"Pengaruh Bukaak Geladak FPSO Terhadap Kekuatan Membujur Kapal"** adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Bapak Prof. Muhammad Zubair Muis Alie, ST., MT., Ph.D) 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 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, 30 Mei 2024



SAMSUARNI DEWI UTAMI
D081201004



UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang selalu senantiasa memberikan Rahmat serta Nikmat-Nya atas segala kelancaran, keberanian, kekuatan, kesabaran dan segala ketenangan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul “Pengaruh Buka Geladak FPSO Terhadap Kekuatan Membujur Kapal” ini dengan baik yang sekaligus menjadi syarat untuk menyelesaikan Studi di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Sholawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah SAW yang telah mengantarkan umatnya dari zaman kegelapan ke zaman yang terang-benderang.

Berbagai hambatan dan tantangan tentunya dihadapi dalam menyelesaikan skripsi ini, namun berkat ketabahan dan dukungan yang besar dari berbagai pihak akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Penghargaan dan terima kasih yang tak terhingga penulis persembahkan untuk Ibu tercinta Ibu **ST. Ruhama** untuk doa, kesabaran, semua keringat dan bentuk perjuangan yang telah diberikan untuk penulis, juga kepada Ibu **Sitti Hidayah** untuk semua doa, tenaga, kasih sayang dan semua hal beliau berikan, serta Ibu **Sitti Marwah** dan Bapak **Achmad Syafiin** yang turut mendoakan serta mengusahakan segalanya agar penulis bisa sampai dititik ini.

Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis juga ingin menyampaikan terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada Bapak **Prof. Muhammad Zubair Muis Alie, ST., MT., Ph.D** selaku Dosen Pembimbing, atas bantuan dan bimbingannya kepada penulis sejak proses awal hingga akhir penyusunan skripsi ini. Demikian kepada bapak **Ir. Juswan M.T** dan Bapak **Dr. Eng. Firman Husain, ST., MT.**, selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan untuk perbaikan skripsi ini, penulis ucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya.

Ucapan Terima kasih juga penulis sampaikan kepada:

1. **Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Kelautan** yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang sangat berharga kepada penulis selama masa pendidikan.
2. Segenap **Staff Administrasi Departemen Teknik Kelautan** yang banyak membantu penulis dalam berbagai urusan administrasi selama perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
3. Kakak sekaligus sahabat tercinta saya, **Mutmainnah Lukman** yang selalu kebersamai penulis sejak 15 tahun yang lalu dalam segala keadaan, juga kepada **Istri, Dyah Kusuma Wardhani** dan **Khesya Amadea Poppy W.** berikan semangat serta masukan untuk semua hal yang penulis



angan, **Musdalifah Akbar Simanjuntak** yang selalu memotivasi, dan kebersamai penulis dalam menghadapi berbagai *struggle* dua tahun belakangan.

5. Sahabat-sahabat tersayang, **Meysa Atika Puteri, Bulkis Bulkia, Ega Rahmah Fahyuniar, Silfi Fransiska Ramadhani, Friska Hasibuan, Chofifah Datu Bulawan, Whina Syakinah, Siti Fatimah Marhanisa, dan Melati Putri Zabina** yang selalu menyemangati dan kebersamai penulis kapanpun dan dimanapun dalam segala kondisi.
6. Teman-teman **Labo OSAREL** yang selalu memberikan semangat kepada penulis. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih juga kepada **Alumni Labo OSAREL** yang selalu bersedia memberikan pengarahan.
7. Teman-teman **Naval20** terkhusus Teknik Kelautan 2020 (**Dredger**) yang selalu kebersamai penulis selama masa perkuliahan dalam suka maupun duka. Turut juga penulis sampaikan rasa terima kasih kepada kanda-kanda senior yang tak bosan-bosannya memberikan pengarahan dan dinda-dinda junior yang tak henti-hentinya memberikan dukungan serta semangat.
8. Kepada **Daniel Baskara Putra** yang telah menciptakan dan turut membawakan lagu-lagu yang membuat penulis selalu bersemangat dan optimis menghadapi semua hal termasuk dalam proses pembuatan skripsi ini.
9. Kepada seseorang dengan **NIM I011201244** yang selalu meluangkan waktu untuk menemani, menjadi tempat berkeluh-kesah, memberikan dukungan, motivasi dan pengingat.
10. Terakhir, untuk diri saya sendiri **Samsuarni Dewi Utami**, terima kasih banyak sudah bertahan dan terus berjuang hingga detik ini. Sehat selalu, Anak Tunggal-Cucu Tunggal, jangan lupa bebanmu berat. Semoga lirik "*Hidup bukan saling mendahului, bermimpilah sendiri-sendiri*", "*Bayangkan jika kita tidak menyerah. Tantangan apapun dari Ayah atau dunia. Kita hadapi, kita lewati, kita ikuti.*" dan "*Perjalanan yang jauh, kau bangun untuk bertaruh. Bilas muka gosok gigi, evaluasi, tidur sejenak menemui esok pagi. Walau pedih, ku bersamamu kali ini. Ku masih ingin melihatmu esok hari.*" Milik Hindia bisa selalu menggema lewat platform musik ponsel kita.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang sifatnya membangun dibutuhkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya, hanya kepada Allah SWT diserahkan segala amal ibadah, dengan mengharap Ridha-Nya, semoga skripsi ini dapat memberikan nilai positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh



ni

ABSTRAK

Samsuarni Dewi Utami. **Pengaruh Bukaannya Pada Geladak FPSO Terhadap Kekuatan Membujur Kapal.** (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 (*Non Linear Finite Element Analysis*) untuk mengetahui pengaruh bukaan pada geladak FPSO terhadap kekuatan membujurnya dengan memasukkan data profil FPSO pada aplikasi ANSYS. Secara konstruksi, kondisi model modifikasi pada penelitian ini merujuk kepada konversi kapal FPSO ke *Bulk Carrier* dan menjadikan hal tersebut sebagai salah satu manfaat dari penelitian ini. Analisis dilakukan pada *midship* FPSO dengan bukaan geladak dan tanpa bukaan geladak 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 HS36 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 dalam hal ini bukaan geladak. Struktur kapal dengan bukaan geladak memiliki kekuatan struktur 0,50 dan 0,66 lebih kecil pada kondisi *sagging* dan *hogging* secara berturut-turut dibanding struktur kapal tanpa bukaan geladak.

Kata Kunci: FPSO, geladak, kekuatan membujur, NLFEA, kekuatan batas



ABSTRACT

Samsuarni Dewi Utami. *Effect of Openings Deck on FPSO on The Longitudinal Strength of The Ship.* (Supervised by Muhammad Zubair Muis Alie)

In the design and construction of a ship, one of the most critical aspects is the structural design. The ship's construction must be capable of withstanding the loads acting on the ship under both normal and extreme conditions. As ship construction technology advances, design and material selection become highly significant considerations for shipbuilding companies in the design and construction of new ships. One such critical element is the strength of the ship's deck. This study analyzes the effect of openings on the FPSO deck on its longitudinal strength using the NFLEA (Non-Linear Finite Element Analysis) method by inputting the FPSO profile data into the ANSYS application. Structurally, the modified model in this study refers to the conversion of an FPSO ship to a Bulk Carrier, highlighting one of the benefits of this research. The analysis was conducted on the midship section of the FPSO, with and without deck openings, under hogging and sagging conditions, with incremental loading based on applicable regulations. The results include analysis curves showing the relationship between bending moment and curvature, as well as deformation shapes caused by the loads acting on the FPSO structure. The allowable stress used in this study is HS36 grade steel with a yield stress of 355 N/mm^2 and an allowable stress of 490 N/mm^2 . The study results indicate that the ultimate vertical bending moment strength of the FPSO is influenced by the ship's deck openings. The ship structure with deck openings has 0,50 and 0,66 less structural strength in hogging and sagging conditions, respectively, compared to the ship structure without deck openings.

Keywords: FPSO, deck, longitudinal strenght, NLFEA, ultimate strength



DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian/perancangan	3
1.4 Manfaat Penelitian/perancangan	3
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi Perancangan.....	3
BAB II. METODOLOGI PENELITIAN	5
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	5
2.2 Jenis Penelitian.....	5
2.3 Metode Penentuan Sampel	5
2.3.1 Tipe Metode NLFEA.....	6
2.3.2 Algoritma <i>Iterative Solution</i>	6
2.3.3 Proses Peningkatan Beban.....	6
2.3.4 Pembebanan dan Kondisi Syarat Batas.....	6
2.3.5 Ketidaksempurnaan Geometrik	7
2.3.6 Spesifikasi Material	7
2.3.7 <i>Meshing</i>	8
2.3.8 Tipe Elemen	8
2.4 Teknik Pengumpulan Data	8
2.5 Sumber Data	9
2.6 Data Struktur	9
2.7 Desain Struktur Topside FPSO	12
2.8 Tegangan yang Bekerja.....	15
2.9 Tegangan Normal	16
2.10 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	17
2.11 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>).....	18
2.11.1 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	18
2.11.2 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.3 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.4 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.5 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.6 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.7 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.8 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.9 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.10 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.11 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.12 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.13 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.14 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.15 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.16 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.17 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.18 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.19 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.20 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.21 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.22 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.23 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.24 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.25 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.26 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.27 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.28 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.29 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.30 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.31 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.32 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.33 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.34 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.35 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.36 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.37 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.38 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.39 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.40 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.41 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.42 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.43 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.44 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.45 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.46 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.47 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.48 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.49 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.50 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.51 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.52 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.53 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.54 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.55 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.56 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.57 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.58 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.59 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.60 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.61 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.62 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.63 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.64 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.65 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.66 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.67 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.68 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.69 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.70 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.71 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.72 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.73 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.74 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.75 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.76 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.77 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.78 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.79 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.80 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.81 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.82 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.83 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.84 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.85 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.86 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.87 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.88 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.89 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.90 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.91 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.92 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.93 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.94 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.95 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.96 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19
2.11.97 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	19
2.11.98 Tegangan Tekan (<i>Bending Stress</i>)	19
2.11.99 Tegangan Tarik (<i>Tensile Stress</i>)	19
2.11.100 Tegangan Tekan (<i>Compressive Stress</i>)	19



2.15.3 Deformasi Plastis (<i>Plastis Deformation</i>)	20
2.15.4 Titik Putus.....	21
2.16 Deformasi Material	21
2.17 Kekuatan Batas (<i>Ultimate Strength</i>)	22
2.18 <i>Nodal Constrained</i>	23
2.19 Beban-beban yang Bekerja	24
2.20 Pembebanan <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i>	24
2.21 Analisis Data	27
2.21.1 Tahapan Pertama	27
2.21.2 Tahapan Kedua	27
2.21.3 Tahapan Ketiga	27
2.21.4 Hasil Penelitian	28
2.22 Kesimpulan	29
2.22 Diagram Alir	29
BAB III. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
3.1 Objek Penelitian	31
3.2 Perhitungan Momen Lentur-Batas Vertikal.....	31
3.3 Tegangan Izin	32
3.4 Tegangan Kerja FPSO Terhadap Momen Lentur-batas Vertikal	33
3.4.1 Tegangan Kerja FPSO Model 1 Pada Kondisi <i>Sagging</i>	33
3.4.2 Tegangan Kerja FPSO Model 1 Pada Kondisi <i>Hogging</i>	33
3.4.3 Tegangan Kerja FPSO Model 2 Pada Kondisi <i>Sagging</i>	36
3.4.4 Tegangan Kerja FPSO Model 2 Pada Kondisi <i>Hogging</i>	38
BAB IV PEMBAHASAN	31
4.1 Perhitungan Momen-lentur Batas Vertikal	40
4.2 Kekuatan Batas Momen Vertikal	41
4.2.1 Kapal FPSO Kondisi Utuh Tanpa Bukaak Geladak (Model 1)	41
4.2.2 Kapal FPSO Kondisi Modifikasi Dengan Bukaak Geladak (Model 2).....	44
4.3 Perbandingan Kekuatan Batas FPSO	47
4.4 Perbandingan Tegangan Kerja FPSO	49
4.4.1 FPSO Kondisi Utuh Tanpa Bukaak Geladak (Model 1)	49
4.4.2 FPSO Kondisi Modifikasi Dengan Bukaak Geladak (Model 2)	50
BAB V. KESIMPULAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran.....	51
.....	52
.....	54
.....	54
.....	55
.....	57



DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
Tabel 1 Spesifikasi Material	7
Tabel 2 Konfigurasi Ukuran <i>Stiffener</i> Kapal FPSO	10
Tabel 3 Formula Momen Lentur-batas Vertikal Pada FPSO	31
Tabel 4 Momen Lentur-batas Vertikal <i>Sagging</i> dan <i>Hogging</i>	32
Tabel 5 Tegangan Izin Kerja Material FPSO	33
Tabel 6 Hasil Rekapitulasi Tegangan Kerja Arah Z Pada Kapal FPSO	39
Tabel 7 Kekuatan Batas Kapal FPSO Model 1	41
Tabel 8 Hasil Rekapitulasi Tegangan Kerja Arah Z Pada Kapal FPSO Model 1.....	43
Tabel 9 Kekuatan Batas Kapal FPSO Model 2	44
Tabel 10 Hasil Rekapitulasi Tegangan Kerja Arah Z Pada Kapal FPSO Model 2.....	46
Tabel 11 Rekapitulasi Kekuatan Batas Kapal FPSO	48
Tabel 12 Rekapitulasi Tegangan Kerja Arah Z FPSO Model 1 Akibat Kekuatan Batas .	49
Tabel 13 Rekapitulasi Tegangan Kerja Arah Z FPSO Model 2 Akibat Kekuatan Batas .	50



DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
Gambar 1 Kondisi Syarat Batas Untuk Kontrol Kelengkungan	7
Gambar 2 FPSO Model 2 Kondisi <i>Meshing</i>	8
Gambar 3 <i>Midship</i> Kapal FPSO SANTOS (SAMPANG) PTY.LTD, 2018	11
Gambar 4 <i>Layout Topsides</i> Kapal FPSO	12
Gambar 5 <i>Process Plant</i>	14
Gambar 6 Alur Proses untuk <i>Topsides</i> FPSO	14
Gambar 7 Tegangan-Regangan	17
Gambar 8 Tegangan Tarik	17
Gambar 9 Tegangan Tekan	18
Gambar 10 Hubungan Antara Tegangan dan Regangan	20
Gambar 11 Grafik Kekuatan Momen Lentur dan Kelengkungan	22
Gambar 12 Distribusi Beban, Gaya Geser dan Momen Lentur pada Kapal	25
Gambar 13 Faktor Distribusi K_M	26
Gambar 14 Momen Lentur Vertikal Akibat Gelombang	26
Gambar 15 Konfigurasi Penampang <i>Midship</i> Kapal FPSO Tanpa Buka-an Geladak (Model 1)	28
Gambar 16 Konfigurasi Penampang <i>Midship</i> Kapal FPSO Dengan Buka-an Geladak (Model 2)	28
Gambar 17 Diagram Alir	30
Gambar 18 Deformasi Tegangan Kerja <i>Sagging</i> Model 1 pada Kondisi <i>Elastic</i>	33
Gambar 19 Deformasi Tegangan Kerja <i>Sagging</i> Model 1 pada Kondisi <i>Ultimate Strength</i>	34
Gambar 20 Deformasi Tegangan Kerja <i>Sagging</i> Model 1 pada Kondisi <i>Collapse</i>	34
Gambar 21 Deformasi Tegangan Kerja <i>Hogging</i> Model 1 pada Kondisi <i>Elastic</i>	35
Gambar 22 Deformasi Tegangan Kerja <i>Hogging</i> Model 1 pada Kondisi <i>Ultimate Strength</i>	35
Gambar 23 Deformasi Tegangan Kerja <i>Hogging</i> Model 1 pada Kondisi <i>Collapse</i>	36
Gambar 24 Deformasi Tegangan Kerja <i>Sagging</i> Model 2 pada Kondisi <i>Elastic</i>	36
Gambar 25 Deformasi Tegangan Kerja <i>Sagging</i> Model 2 pada Kondisi <i>Ultimate Strength</i>	37
Gambar 26 Deformasi Tegangan Kerja <i>Sagging</i> Model 2 pada Kondisi <i>Collapse</i>	37
Gambar 27 Deformasi Tegangan Kerja <i>Hogging</i> Model 2 pada Kondisi <i>Elastic</i>	38
Gambar 28 Deformasi Tegangan Kerja <i>Hogging</i> Model 2 pada Kondisi <i>Ultimate Strength</i>	38
Gambar 29 Deformasi Tegangan Kerja <i>Hogging</i> Model 2 pada Kondisi <i>Collapse</i>	39
Gambar 30 Momen Kelengkungan FPSO Model 1	42
Gambar 31 Deformasi Kekuatan-batas Kapal FPSO Model 1 Kondisi <i>Sagging</i>	42
Gambar 32 Deformasi Kekuatan-batas Kapal FPSO Model 1 Kondisi <i>Hogging</i>	43
Gambar 33 Momen Kelengkungan FPSO Model 2	45
Gambar 34 Deformasi Kekuatan-batas Kapal FPSO Model 2 Kondisi <i>Sagging</i>	45
Gambar 35 Deformasi Kekuatan-batas Kapal FPSO Model 2 Kondisi <i>Hogging</i>	46



Gambar 36 Grafik Momen Kelengkungan FPSO Model 1 dan Model 2.....	46
---	----



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan	Satuan
A	Luas penampang	mm^2
B	Lebar kapal	m
b	Lebar kerusakan akibat kandas	m
b_x	Gaya apung	N
C	Koefisien momen lentur	
C_b	Koefisien blok kapal	
D	Tinggi kapal	m
E	Modulus elastisitas	N/mm^2
F_{ta}	Gaya tekan	N
F_{tr}	Gaya tarik	N
F_x	Gaya geser arah sumbu x	N
h	Tinggi kerusakan akibat tubrukan	m
I	Inersia penampang	m^4
I_{min}	Inersia ijin	m^4
K_M	Faktor distribusi	
L	Panjang kapal	
M	Momen lentur	m
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	Nmm
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^3
z_b	Jarak dari sumbu netral ke lokasi tegangan lentur <i>bottom</i>	m
σ	Tegangan lentur	m
σ_p	Tegangan lentur ijin	N/mm^2
σ_m	Tegangan lentur maksimum	N/mm^2
σ_r	Tegangan rata-rata	N/mm^2
σ_c	Tegangan tekan	N/mm^2
σ_t	Tegangan tarik	N/mm^2
σ_s	Tegangan geser	N/mm^2
ϵ	Regangan	N/mm^2
δ	Deformasi material	m



BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*) adalah sebuah fasilitas di atas bangunan terapung yang dioperasikan di suatu ladang minyak dan gas bumi lepas pantai yang berfungsi untuk menerima, memproses, menyimpan dan menyalurkan hidrokarbon yang secara permanen ditambatkan di tempatnya beroperasi dan dapat dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain. Ditinjau dari bentuk bangunannya, FPSO terbagi menjadi dua yaitu berbentuk kapal dan berbentuk silinder. Fasilitas-fasilitas yang dimiliki FPSO terdiri dari berbagai *topside module*, yang melibatkan beberapa fasilitas pemrosesan dan pendukung. Diantaranya adalah *gas processing module*, *utility module*, *compression module*, *living quarter module*, dan *power generator module*.

Kekuatan kapal FPSO adalah salah satu aspek penting yang harus dianalisis dengan akurat. Beban-bekan 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.

Fasilitas produksi pada konstruksi bagian atas FPSO terdiri dari beberapa komponen, salah satunya geladak. Geladak sendiri secara umum adalah suatu bentuk permukaan datar atau hampir mendatar yang menutupi sisi atas ruangan-ruangan di kapal. Dilihat dari segi konstruksi, geladak adalah kumpulan komponen-komponen konstruksi mendatar yang terdiri atas balk geladak, pembujur geladak, penumpu geladak dan pelat geladak yang dibatasi oleh lambung di sekelilingnya. Geladak disamping berfungsi untuk kekedapan kapal, juga untuk melindungi barang-barang muatan dan ruang tempat tinggal ABK serta penumpang. Selanjutnya, geladak juga berfungsi menambah kekuatan memanjang kapal dan sebagian juga kekuatan melintang. Oleh sebab itu, geladak harus betul-betul kedap air.

Karena memiliki fungsi untuk menambah kekuatan kapal, maka analisa kekuatan geladak diperlukan. Analisis kekuatan geladak merupakan pertimbangan penting untuk menentukan apakah geladak dapat menahan beban dari modul di atasnya. Terdapat dua jenis pembebanan yang perlu diperhatikan, yaitu beban statis dan dinamis. Beban statis adalah beban yang tetap atau tidak berubah seiring waktu. Contohnya adalah beban yang disebabkan oleh modul di atas geladak dan beban dari kapal itu sendiri di perairan yang tenang (*still water*). Sementara itu, beban dinamis adalah beban yang berubah seiring waktu dengan frekuensi tertentu, seperti beban yang disebabkan oleh gelombang laut. Analisis ini diperlukan untuk memastikan bahwa geladak memiliki kekuatan yang memadai



dua jenis beban tersebut.

Salah satunya, aspek keselamatan menjadi indikator kualitas bangunan laut, dalam konstruksinya. Konstruksi kapal harus mampu menahan beban-bekannya baik pada kapal baik pada kondisi normal maupun ekstrem. Permasalahan yang dihadapi kapal adalah kerusakan yang disebabkan oleh tubrukan, kandas, dan sebagainya. Djatmiko (2012), Permasalahan yang selalu terjadi pada struktur kapal adalah kerusakan yang dapat menyebabkan struktur

tersebut mengalami kegagalan. Kerusakan bangunan laut terutama terjadi akibat kelelahan (*fatigue*), baik pada komponen struktur utama maupun sekunder dan tersier. Kelelahan pada struktur *topsides* terjadi karena menerima beban utama seperti momen lentur *hull girder* dan beban inersia *topside*. Beban ini adalah respons terhadap beban siklis gelombang, dimana struktur merespons secara dinamis terhadap gelombang acak.

Dalam mengevaluasi kerusakan akibat kelelahan, para insinyur menggunakan metode elemen hingga untuk menentukan korelasi yang akurat antara titik pusat tegangan yang dihitung dan kapasitas kerusakan yang disebabkan oleh kelelahan.

Metode elemen hingga atau *Finite Element Methode* menjadi pendekatan yang efektif untuk menganalisis kekuatan lambung kapal setelah mengalami kerusakan. Banyak peneliti telah melakukan studi terkait perhitungan kekuatan residu secara longitudinal atau kekuatan longitudinal kapal dalam kondisi baik atau rusak, menggunakan analisis FEM nonlinear. Vu Van et. al, (2018), Metode elemen hingga nonlinier (NFEM) memungkinkan pemodelan struktur secara rinci dan telah dikenal sejak lama. Namun, kekuatan pemrosesan yang tersedia saat itu tidak memungkinkan metode ini digunakan secara luas. Xu (2013), Metode elemen hingga nonlinier (FE) telah digunakan untuk menganalisis kekuatan struktur yang sangat rumit seperti itu dapat memprediksi secara terperinci perilaku keruntuhan yang kompleks dari panel yang kaku dan tidak kaku.

Adapun penyelesaian dalam metode elemen hingga umumnya melibatkan penggunaan metode matriks. Metode matriks untuk cara kekakuan dikembangkan dengan asumsi bahwa struktur bersifat elastis-linier. Prinsip superposisi diterapkan untuk membentuk persamaan keseimbangan aksi yang sejalan dengan perpindahan titik kumpul. Solusi dari persamaan simultan ini adalah perpindahan titik kumpul.

Analisis kekuatan kapal sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Chen (2016), penilaian keandalan penumpu lambung untuk FPSO. Paik & Seo (2008), mengembangkan metode evaluasi untuk batas struktur kapal dan bangunan apung lepas pantai. Piscopo dan Scamardella (2019), analisis keandalan dan sensitivitas dari penumpu lambung Kapal Tanker dan *Bulk Carrier* pada kondisi utuh. Muis Alie (2018), analisa kekuatan batas *hull girder* dengan mempertimbangkan lentur longitudinal modulus bagian bawah. Muis Alie (2018), studi tentang kekuatan batas lambung kapal yang mempertimbangkan penampang dan elemen hingga balok.

Berdasarkan latar belakang di atas serta penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan FPSO dan analisa kekuatan, maka fokus penelitian ini adalah “Pengaruh Bukaannya pada Geladak FPSO Terhadap Kekuatan Membujur Kapal” serta perbandingan hasil analisis dengan menggunakan metode *Non-Linear Finite Element Analysis* (NLFEA) pada *software* ANSYS.

Berkaitan dengan model kapal pada bagian geladak yang akan dimodifikasi pada penelitian ini menggunakan metode NLFEA, secara konstruksi memiliki model yang sama



carrier yang memungkinkan terjadinya konversi kapal dari FPSO ke *carrier* sendiri adalah kapal muat curah yang digunakan untuk muat curah baik untuk tujuan dalam negeri maupun luar negeri. Sesuai dengan jenis kapal yang mengangkut muatan curah, *Bulk Carrier* memiliki muatan dari jenis muatannya seperti *Grain Carrier* yang digunakan untuk mengangkut muatan biji-bijian, *Ore Carrier* yang digunakan untuk memuat bijih besi, dan *Collier* yang digunakan untuk mengangkut muatan batu bara.

bara, *Oil-ore Carrier* yang digunakan untuk memuat batu bara dan bijih besi secara bergantian.

Konversi kapal sendiri adalah mengubah fungsi atau spesifikasi teknis dari sebuah kapal yang sudah ada untuk memenuhi kebutuhan baru atau untuk memperpanjang umur ekonomis kapal tersebut. Kapal FPSO yang sudah tidak beroperasi bisa dikonversi menjadi kapal *Bulk Carrier* dengan menyesuaikan adaptasi fungsi dan kekuatan dari struktur kapal FPSO itu sendiri. Disamping itu, konversi kapal ini sangat bermanfaat bagi beberapa pihak baik bagi si pemilik kapal *Bulk Carrier* itu sendiri ataupun perusahaan batubara yang membutuhkan kapal batubara dengan ruang muat yang sangat besar juga mengingat fungsi dari *Bulk Carrier* dan maraknya kegiatan ekspor dan impor yang menjadikan kapal *Bulk Carrier* sebagai media pengangkut. Hal ini menjadi salah satu fungsi dan manfaat dari penelitian ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Bagaimana pengaruh bukaan pada geladak FPSO terhadap kekuatan membujur kapal?
- Bagaimana perbandingan kekuatan membujur FPSO dengan dan tanpa bukaan geladak?

1.3 Tujuan Penelitian/perancangan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mengetahui pengaruh bukaan pada geladak FPSO terhadap kekuatan membujur (memanjang) kapal.
- Mengetahui perbandingan kekuatan membujur FPSO dengan dan tanpa bukaan geladak.

1.4 Manfaat Penelitian/perancangan

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

- Bagi bidang akademis, dapat memperdalam wawasan mahasiswa dan memberikan masukan bagi ilmu pengetahuan, khususnya mengetahui analisis struktur baja.
- Bagi bidang industri, memberikan kontribusi dan perbandingan kekuatan kepada perusahaan-perusahaan.
- Bagi peneliti, memberikan pengetahuan cara menganalisis pengaruh bukaan pada geladak FPSO dalam kondisi *hogging* dan *sagging* dan sebagai tugas akhir sarjana Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
- Sebagai informasi dalam hal menentukan kebijakan dalam hal regulasi/peraturan kapal untuk membuat perencanaan struktur kapal FPSO.



Optimized using
trial version
www.balesio.com

Asumsi Perancangan

at terarah sesuai dengan kerangka yang direncanakan, maka ngan beberapa hal sebagai berikut:

erja hanya momen lentur vertikal longitudinal (*hogging* dan *sagging*). pada penampang tengah dari FPSO.

- c. Ketidaktepatan awal, tegangan sisa pengelasan, cacat pengelasan, korosi dan *crack base* diabaikan.

