



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Respon Struktur pada Kapal Oil Tanker 149 m dengan Beban Kombinasi di Perairan Indonesia dan Atlantik Utara

Melati Darmastuti¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki¹⁾, Good Rindo¹⁾

¹⁾Laboratorium Konstruksi

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*}e-mail : melatidar@gmail.com, ahmadfzakki@gmail.com, good.rindo@ft.undip.ac.id

Abstrak

Kondisi perairan suatu wilayah mempengaruhi kekuatan struktur kapal serta respons struktur yang dihasilkan akibat pembebanan gelombang yang bervariasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui lebih lanjut mengenai perbandingan respon struktur kapal dengan beban kombinasi, beban kombinasi yang dimaksud yaitu distribusi gaya berat, tekanan hidrostatis, dan tekanan akibat muatan pada perairan Indonesia dan Atlantik Utara. Permodelan dan analisa menggunakan software Maxsurf untuk mengetahui besaran momen yang dihasilkan dari pembebanan kondisi gelombang serta Msc.Nastran & Patran, software berbasis finite element analysis untuk mengetahui besaran respons struktur berupa nilai tegangan. Hasil analisa pada penelitian ini memenuhi batas maksimum tegangan rules BKI (tegangan max < 175 Mpa), kapal tanker 149m memiliki tegangan 19.9 Mpa kondisi air tenang, 168 Mpa kondisi sagging perairan Atlantik Utara, 115 Mpa kondisi hogging perairan Atlantik Utara, 60.4 Mpa kondisi sagging perairan Indonesia, dan 54 Mpa kondisi hogging perairan Indonesia. Kesimpulan dari penelitian ini adalah kapal oil tanker 149 m dalam keadaan aman di wilayah Perairan Indonesia maupun di Atlantik Utara.

Kata Kunci : Beban Kombinasi, Sagging, Hogging, Air Tenang, Pressure, Tegangan

1. PENDAHULUAN

Sarana dan moda transportasi laut sebuah kapal dituntut memiliki aspek perencanaan struktur kekuatan yang baik untuk menghindari resiko terjadinya kegagalan struktur akibat dari pembebanan yang sangat bervariasi. Kekuatan struktur kapal sangat erat kaitannya dengan kondisi perairan pada suatu wilayah. Respon struktur kapal yang dihasilkan pada wilayah tertentu akan berbeda terhadap wilayah perairan lainnya.

Rules dalam pembangunan kapal dan bangunan lepas pantai sangat berpengaruh pada faktor keselamatan. Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), hadir sebagai biro yang mengatur seluruh regulasi maritim Indonesia. Aturan teknik BKI dikembangkan dari beberapa sumber yang bervariasi, antara lain: peraturan dan standar nasional maupun internasional, hasil studi dan penelitian, serta dari penerapan hasil rekayasa yang umum dan dapat digunakan. Secara umum aturan teknik tersebut dikhususkan untuk kapal

yang memiliki daerah pelayaran tidak terbatas, dimana kapal tersebut diperiksa untuk dapat beroperasi di seluruh wilayah pelayaran di seluruh dunia tanpa terkecuali. Kondisi lingkungan yang menjadi acuan adalah kondisi lingkungan di Laut Atlantik Utara. [1]

Penentuan kekuatan struktur kapal dan bangunan lepas pantai bisa ditentukan berdasarkan formulasi tinggi gelombang dari tiap zonasi perairan yang telah dipetakan. Dengan mengacu data gelombang yang ada di ECMWF (European Center for Medium Range Weather Forecast) yaitu untuk rata-rata tinggi gelombang di North Atlantic Ocean adalah 10,75 m, Pemetaan kondisi perairan Indonesia terbagi menjadi 3 zonasi, yakni zona 1 untuk tinggi gelombang ≤ 1 m, zona 2 untuk tinggi gelombang $\leq 3,5$ m dan zona 3 untuk tinggi gelombang $> 3,5$ m dengan jarak dari garis pantai 20 nm (P), 50 nm (L) dan 200 nm (T). Ketinggian gelombang Indonesian Waterways Zona 1 adalah 2,44 m, Indonesian Waterways Zona 2 adalah 2,84 m, dan Indonesian Waterways Zona 3 adalah 3,75 m,

penulis melakukan analisa momen di zona tertinggi kedua perairan tersebut pada kondisi air tenang, sagging dan hogging. Berdasarkan data gelombang ECMWF, data tinggi gelombang yang terjadi selama periode 30 tahun (1979-2009) [2].

Penelitian sebelumnya yang membahas mengenai analisa respon struktur kapal oil tanker dengan membandingkan respon struktur full modelling dan Paralel Middle Body (PMB) dengan menggunakan FEA. Didapatkan kesimpulan bahwa dengan permodelan PMB dapat merepresentasikan perhitungan kekuatan memanjang kapal dikarenakan tegangan terbagi merata sepanjang desain tersebut[3].

Studi perbandingan analisa kekuatan kapal Tanker Oil 3D *full modeling* dengan dua *cargo holds modeling* dengan menggunakan *finite element analysis* menuliskan bahwa model dengan bagian tengah kapal (setidaknya dua *cargo hold*) dapat digunakan sebagai penilaian kekuatan global maupun lokal sebuah kapal. Jenis model ini mewakili bagian pusat kapal, di mana bentuk, kekakuan dan massa berada pada model yang realistis. Model ini direkomendasikan berdasarkan *rules*[4].

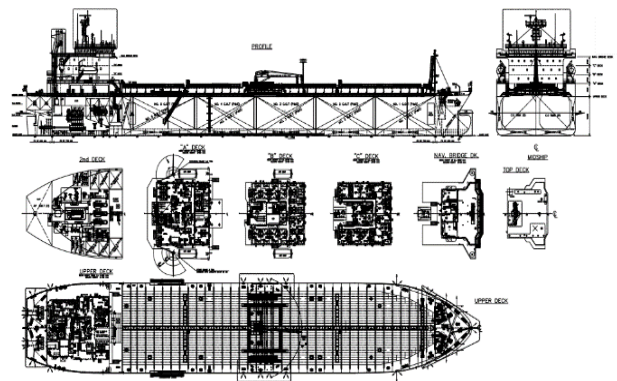
Agar dapat menilai keamanan struktur kapal, perlu untuk mengevaluasi *longitudinal strength* yang selalu menjadi perhatian utama, karena *bending moment* adalah salah satu beban tertinggi yang harus ditahan oleh struktur kapal [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui lebih lanjut mengenai perbandingan respon struktur *parallel middle body* kapal *Oil Tanker* 149 m dengan penerapan beban kombinasi pada perairan Indonesia dan perairan Atlantik utara.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Objek yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah kapal dengan jenis *oil tanker*. *Oil tanker* merupakan kapal yang difokuskan untuk mengangkut muatan berupa minyak curah dari pelabuhan muat atau pelabuhan produksi ke pelabuhan bongkar/pengolahan.



Gambar 1. Rancangan Umum Oil Tanker 149 m

<i>Length (OA)</i>	: 157 meter
<i>Length (P.P)</i>	: 149.5 meter
<i>Breadth</i>	: 27.7 meter
<i>Depth</i>	: 12 meter
<i>Draught</i>	: 7 meter
<i>Vs</i>	: 13 knot
<i>Cb</i>	: 0.80

2.2. Gambaran & Perlakuan Model

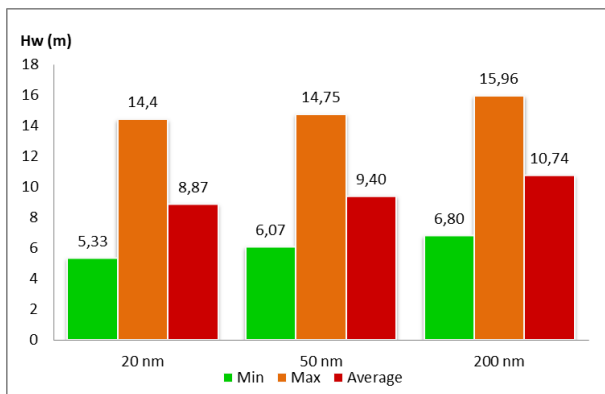
Teknik permodelan yang dibuat dalam analisa perencanaan desain struktur mengambil bagian struktur *parallel middle body* atau bagian kompartemen ruang muatnya. Dengan panjang struktur *parallel middle body* sebesar 63 m (frame 78 – 162). Dalam hal ini peneliti memberi 5 jenis moment yang bekerja, yaitu:

1. Moment maksimum pada keadaan air tenang.
2. Moment maksimum pada keadaan sagging pada perairan Atlantik Utara.
3. Moment maksimum pada keadaan hogging pada perairan Atlantik Utara.
4. Moment maksimum pada keadaan sagging pada perairan Indonesia.
5. Moment maksimum pada keadaan hogging pada perairan Indonesia.

Selain itu diaplikasikan tekanan hidrostatis dan tekanan akibat muatan pada saat kondisi air tenang, gelombang sagging, dan hogging sesuai dengan tinggi gelombang dari masing masing perairan.

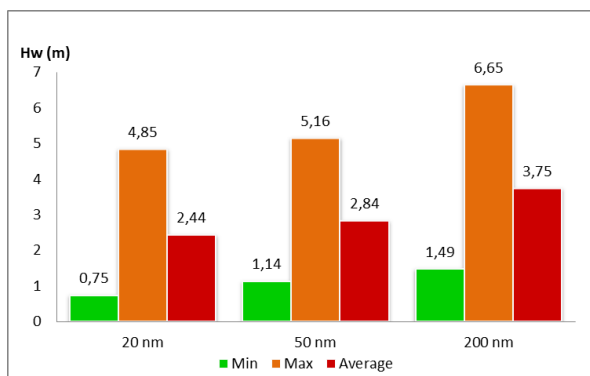
2.3. Pembagian Wilayah Perairan Atlantik Utara & Indonesia

European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) hind-cast, [2] terdapat pembagian gelombang di Atlantik Utara sebagai berikut:



Gambar 2. Grafik Tinggi Gelombang Perairan Atlantik Utara

Pembagian gelombang di Indonesia sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik Tinggi Gelombang Perairan Indonesia

Grafik diatas maka tinggi gelombang yang akan dipakai untuk melakukan penelitian ini adalah perairan Indonesia zona 3 & atlantik utara zona 3 sehingga dapat diasumsikan apabila kapal pada keadaan lain akan tetap dalam kondisi aman.

2.4. Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) merupakan sebuah metode yang menggunakan pendekatan numerik untuk menganalisa sebuah struktur sehingga didapatkan solusi pendekatan dari suatu permasalahan. Metode ini mengubah suatu *elastic continuum* menjadi beberapa substruktur (elemen) melalui proses *discretized*. Kemudian defleksi dari tiap titik (*node*) akan dihubungkan dengan pembebanan, *property material*, *property geometry* dan lain-lain dengan menggunakan matriks [6].

Penulis menggunakan analisa Linier Statis yaitu sebuah analisa yang berfungsi mengetahui kondisi sebuah struktur terhadap pembebanan

yang bersifat linier/konstan, tidak berubah terhadap waktu.

2.5. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Undip di Jln. Prof. Soedarto SH, Semarang, Jawa Tengah.

2.6. Alat dan Bahan yang Digunakan Dalam Penelitian

Alat yang digunakan untuk membantu dalam penelitian ini adalah sebuah laptop dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Operating system: Windows 10 Pro 64-bit
2. Processor: Intel® Celeron® Processor N3350

Sedangkan bahan atau dalam penelitian ini berarti *software* yang digunakan adalah:

1. AutoCAD 2017
2. Maxsurf Modeler
3. Maxsurf Stability
4. Msc. Nastran & Patran

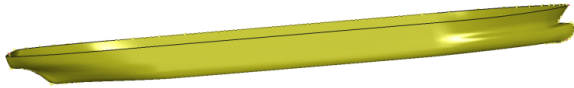
2.7. Pendekatan Pemodelan

Tahapan langkah pembuatan model yang akan dianalisa menggunakan metode elemen hingga dapat dijelaskan secara garis besar menjadi sebagai berikut:

1. Pembuatan model 3 dimensi menggunakan *software maxsurf modeler*
2. Analisa variasi moment pada setiap kondisi menggunakan *software maxsurf stability*
3. Pemodelan pada *Msc Patran*, dengan langkah:
 - Pembuatan geometri
 - Pemilihan material
 - Proses *meshing*
 - Pemasangan tebal plat
 - Pemasangan profil
 - Proses *equivalence*
 - Penentuan *boundary condition*
 - Analisa

2.8. Desain Model Badan Kapal

Data yang didapat dari BKI biro klasifikasi Indonesia maka dibuatlah kedua model kapal dengan bantuan software Maxsurf Modeler.



Gambar 4. Pemodelan Kapal oil tanker 149 m dengan Maxsurf Modeler

2.9. Perhitungan Penyebaran Pembebanan Kapal dan Moment Kapal

Distribusi beban ini merupakan sebagian pembebanan yang akan menimbulkan bending momen yang merupakan hasil penjumlahan dari penyebaran berat kapal kosong dengan berat muatan (DWT+LWT). Perhitungan dimulai dengan mencari berat total LWT dan DWT kapal terlebih dahulu. Kemudian dari hasil tersebutlah dapat diketahui nilai dsitribusi beban pada kapal.

Tabel 1. Distribusi Beban Pada Kapal Tanker 149m

Station	q LWT	q DWT	q Total	Berat (qxb)
AP-1	30,43	0,02	30,46	113,83
1-2	45,33	0,15	45,48	169,98
2-3	62,88	0,14	63,02	235,55
3-4	64,67	14,50	79,16	295,86
4-5	65,10	30,55	95,65	357,48
5-6	67,46	16,81	84,27	314,96
6-7	69,88	0,14	70,02	261,71
7-8	72,45	0,14	72,60	271,33
8-9	50,72	159,91	210,63	787,21
9-10	18,98	170,82	189,81	709,41
10-11	19,67	154,94	174,61	652,60
11-12	20,22	153,89	174,11	650,72
12-13	20,71	153,89	174,60	652,56
13-14	21,15	153,89	175,04	654,20
14-15	21,50	159,79	181,29	677,57
15-16	21,78	157,20	178,97	668,92
16-17	21,91	155,39	177,30	662,66
17-18	21,91	155,39	177,30	662,66
18-19	21,91	155,39	177,30	662,66
19-20	21,91	161,28	183,20	684,70
20-21	21,91	158,11	180,02	672,82
21-22	21,91	155,39	177,30	662,66
22-23	21,91	155,39	177,30	662,66
23-24	21,91	155,39	177,30	662,66
24-25	21,91	155,39	177,30	662,66
25-26	21,91	161,28	183,20	684,70
26-27	21,91	159,00	180,91	676,17
27-28	21,91	155,39	177,30	662,66
28-29	21,86	155,39	177,25	662,46
29-30	21,75	155,39	177,14	662,05
30-31	21,50	155,39	176,89	661,13

31-32	21,12	149,97	171,09	639,44
32-33	20,46	143,32	163,79	612,15
33-34	19,53	143,32	162,86	608,67
34-35	18,30	143,32	161,62	604,06
35-36	16,76	143,32	160,09	598,33
36-37	14,60	143,32	157,92	590,24
37-38	23,69	143,32	167,02	624,23
38-39	32,17	0,00	32,17	120,25
39-FP	50,84	0,00	50,84	190,00
	1218,47	4685,64		22066,61

Didapatkan LWT total 4554,02 ton, DWT kapal total 17512,5 ton. Sedangkan displacement perhitungan kekuatan memanjang 22066,6 ton.

2.10. Perhitungan Momen dengan Analisa Software Maxsurf Stability

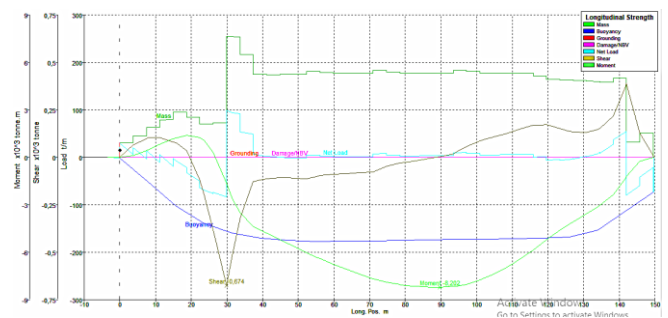
Tahap ini model 3D kapal yang sudah ada dibagi terlebih dahulu menjadi 40 station. Hal ini berfungsi untuk mendistribusikan beban kapal yang sudah ada secara menyeluruh.

Selanjutnya, hasil perhitungan distribusi beban yang sudah didapat dimasukkan kedalam loadcase melalui menu input loadcase software Maxsurf Stability. Kemudian analisa momen dilakukan dengan memasukan nilai tinggi gelombang yang ada di kedua wilayah perairan pada masing – masing kondisi kapal pada *waveform*. Nilai tinggi gelombang yang digunakan yaitu:

Perairan Indonesia = 3,75 m

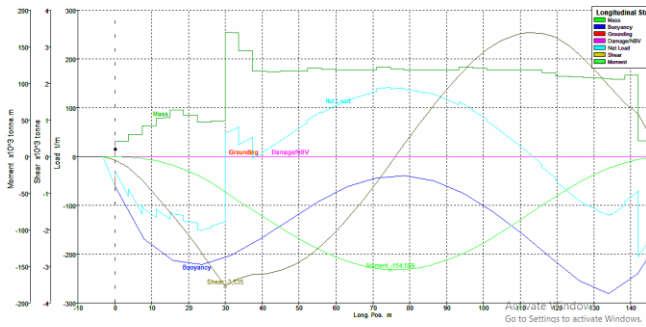
Perairan Atlantik Utara = 10,75 m

Hasil analisa dari masing-masing kondisi dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



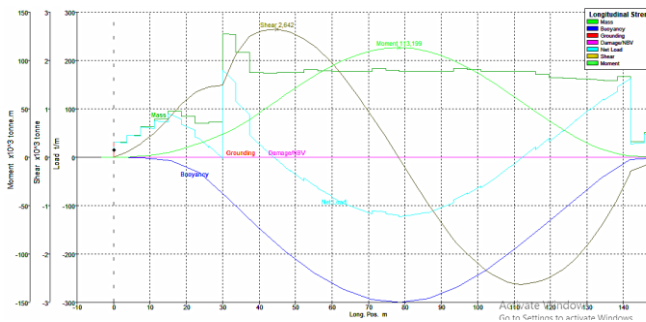
Gambar 5. Grafik Air Tenang

Kondisi air tenang momen tertinggi yang didapat adalah sebesar -8202 Ton.m atau 80434143 Nm. Nilai momen air tenang pada kedua wilayah perairan adalah sama.



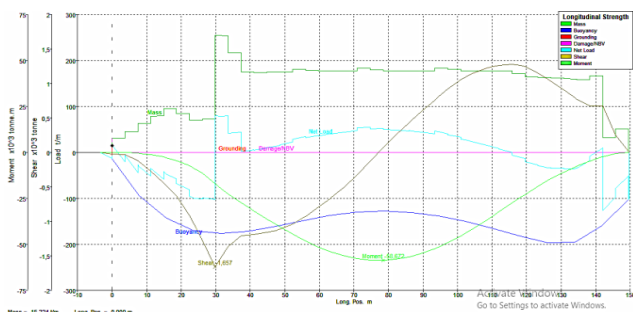
Gambar 6. Grafik Sagging North Atlantic Ocean

Kondisi Sagging di wilayah North Atlantic Ocean momen tertinggi yang didapat adalah sebesar -154959 Ton.m atau -1519628677 N.m.



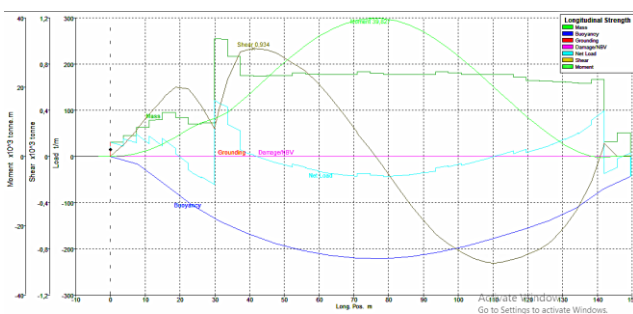
Gambar 7. Grafik Hogging North Atlantic Ocean

Kondisi Hogging di wilayah North Atlantic Ocean momen tertinggi yang didapat adalah sebesar 111046 Ton.m atau 1088989256 N.m



Gambar 8. Grafik Sagging Indonesian Waterways

Kondisi Sagging di wilayah Indonesian Waterways momen tertinggi yang didapat adalah sebesar -59381 Ton.m atau -582328683 N.m



Gambar 9. Grafik Hogging Indonesian Waterways

Kondisi *Hogging* di wilayah *Indonesian Waterways* momen tertinggi yang didapat adalah sebesar 38457 Ton.m atau 377134339 N.m Berdasarkan grafik masing-masing kondisi diatas maka rangkuman momen maksimum yang telah didapat bisa dilihat pada tabel 4.

Tabel 2. Momen Maksimum Pada Kapal Oil Tanker 149 m

Kondisi	Momen Maksimum (Ton.m)	Momen Maksimum (Nm)
Atlantik Utara		
Air Tenang	-8202	80434143
Sagging	-154959	-1519628677
Hogging	111046	1088989256
Perairan Indonesia		
Air Tenang	-8202	80434143
Sagging	-59381	-582328683
Hogging	38457	377134339

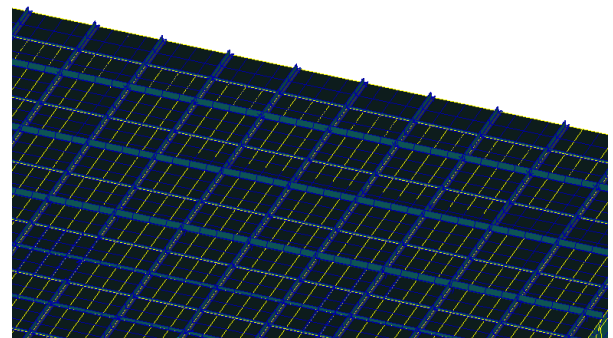
2.11. Pendefinisian Material

Tahap ini jenis material yang dipakai adalah baja grade A yang mempunyai nilai *elastic modulus* 2.1×10^{11} N/m², *Poisson Ratio* 0,3, *shear modulus* 8×10^{11} N/m² dan *density* 7.85 ton/m³. Model terlebih dahulu ditentukan jenis elemen (material yang diuji) terkait dengan sifat-sifat yang dimiliki oleh material yang dianalisa. Kemudian jenis elemen yang sudah ditentukan tersebut diberi tebal sesuai material yang diuji.

2.12. Pemodelan Msc. Patran

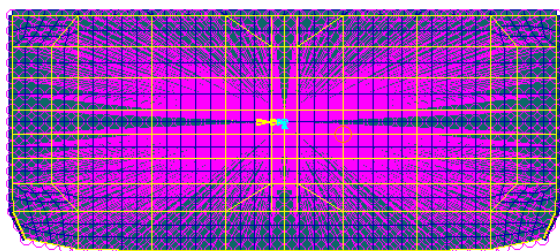
Langkah pertama dalam pemodelan adalah pembuatan geometri. *Geometry* dimulai dengan peletakan *point-point* bentukan lambung kapal, dan setelah itu dihubungkan sehingga menjadi kurva.

Setelah tahap geometri selesai, maka selanjutnya adalah tahap penentuan tebal plat dan pemasangan profil. Kemudian, barulah di-*meshing*. dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Model Kapal Setelah Dilakukan Pemasangan Profil dan Meshing

Langkah selanjutnya adalah pengaplikasian rancang beban yang terjadi di geladak, MPC, dan boundary condition, dimana pada penelitian ini *boundary condition* terletak pada ujung-ujung model. Untuk analisa linier statis, langkah selanjutnya adalah menetapkan kondisi batas/*boundary conditions* dari model itu sendiri ketika dilakukan analisa dengan mengasumsikan benda atau model diberi beban baik internal ataupun eksternal yang mana benda dalam keadaan diam [7]. Untuk hasil akhir bisa dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Model Setelah Ditambah Moment, MPC dan *Boundary Condition*

2.13. Perhitungan Pembebanan.

Pembebanan pada kapal diasumsikan maksimum pada saat *compartment* dalam keadaan penuh dan perhitungan beban sesuai dengan regulasi *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker Sec 7* [8] yaitu :

a). *Static sea pressure* (tekanan air laut)

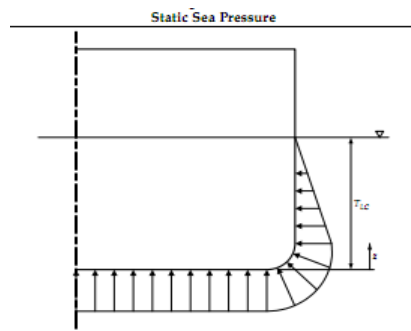
Merupakan beban eksternal yang diterima model akibat adanya tekanan dari air laut. Perhitungan tekanan air laut dapat menggunakan formulasi (1):

$$P_{hys} = \rho_{sw} \cdot g (T_{LC} - z) \quad \text{KN/m}^2 \quad (1)$$

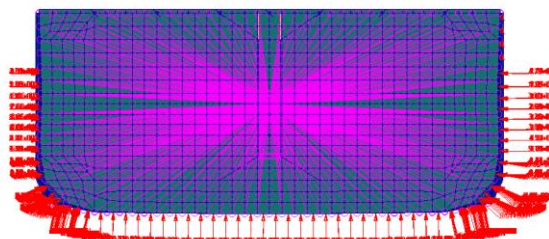
- ρ_{sw} = masa jenis air laut 1,025 ton/m³
- T_{LC} = sarat kapal pada kondisi penuh
- z = jarak vertikal pusat beban dari alas sampai sarat kapal
- g = percepatan gravitasi 9,81 m/s²

Maka

- ρ_{sw} = 1,025 ton/m³
- T_{LC} = 7 m
- z = 2,333 m
- g = 9,81 m/s²
- P_{hys} = 55,165 KN/m²



Gambar 12. Skema Perhitungan Tekanan Hidrostatik



Gambar 13. Skema Tekanan Hidrostatik di Patran

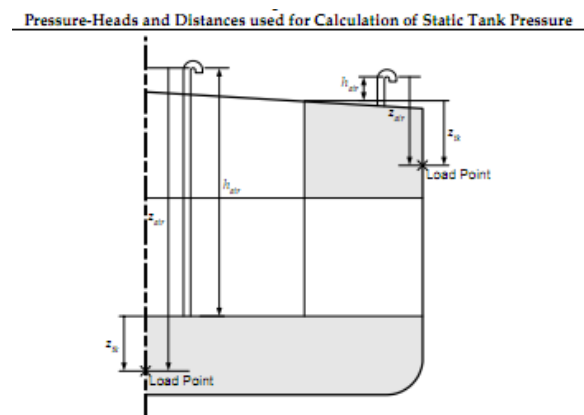
b). *Static tank pressure* (tekanan statis tangki)

Merupakan beban yang terdapat dalam tangki muat dimana terdapat beban muatan perhitungan tekanan tangki muat dapat menggunakan formulasi (2) :

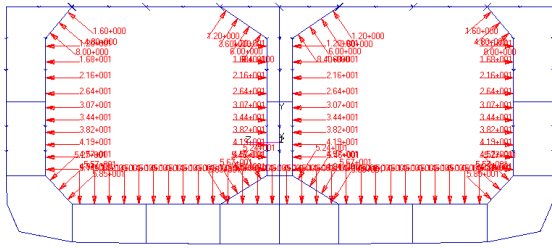
$$P_{hys} = \rho_{sw} \cdot g \cdot z_{air} \quad \text{KN/m}^2 \quad (2)$$

- Z_{tk} = jarak vertikal dari titik tertinggi tangki sampai titik pusat beban.
- ρ = masa jenis dari muatan
- g = percepatan gravitasi 9,81 m/s²

- Z_{air} = 7,725 m
- ρ = 0,95 ton/m³
- g = 9,81 m/s²
- P_{hys} = 71,993 KN/m²

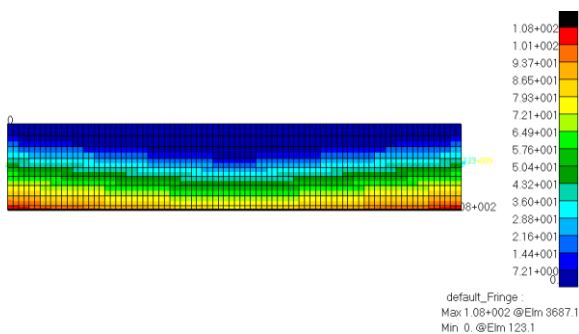


Gambar 14. Pressure pada tangki muat

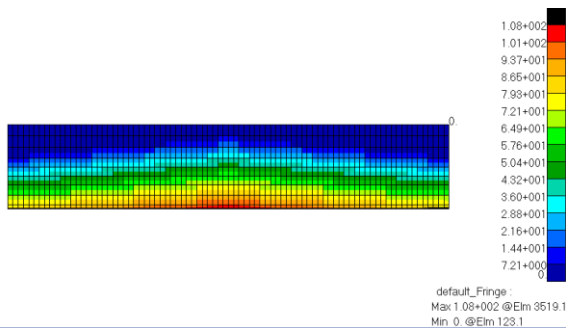


Gambar 15. Skema Tekanan Ruang Muat kondisi full load

Pendistribusian beban berdasarkan tekanan hidrostatis muatan dimana konstruksi bagian bawah akan menerima beban yang paling besar dan semakin keatas semakin kecil[9]. Kondisi muatan yang diplikasikan pada kapal adalah muatan penuh.



Gambar 16 Plot Contour Sagging Pressure



Gambar 17 Plot Contour Hogging Pressure

Perhitungan tegangan dilakukan dengan Msc. Nastran pada full model dan model PMB dengan *moment maximum* di tiap kondisi perairan Indonesia Zona 3 dan perairan atlantik utara, oil tanker 149 m.

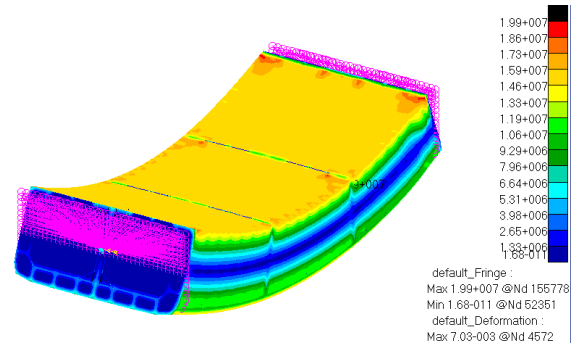
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Perhitungan Tegangan Maksimal

3.1.1. Nilai tegangan maksimum kapal Oil Tanker 149m

a. PMB pada perairan tenang

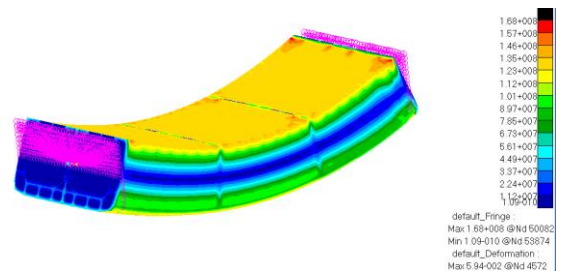
Hasil analisa tegangan maksimum (*von misses*) yaitu sebesar 19.9 Mpa pada node 50082



Gambar 18. Hasil pada perairan tenang

b. PMB pada sagging atlantik utara

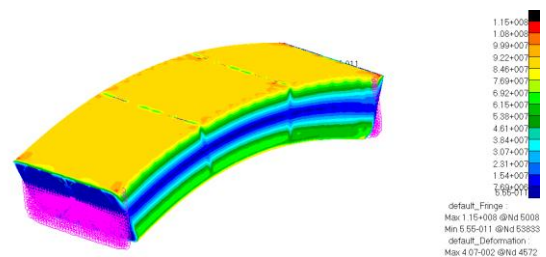
Hasil analisa tegangan maksimum (*von misses*) yaitu sebesar 168 Mpa pada node 50082



Gambar 19. Hasil sagging pada atlantik utara

c. PMB pada hogging Atlantik Utara

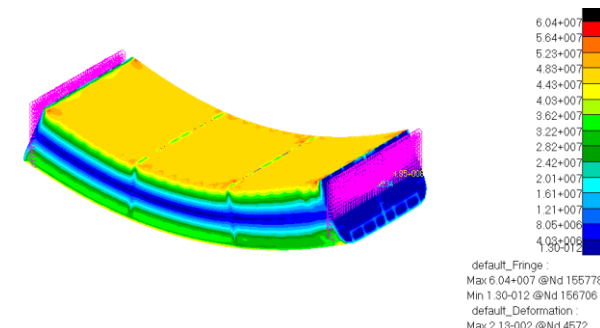
Hasil analisa tegangan maksimum (*von misses*) yaitu sebesar 115 Mpa pada node 50082



Gambar 20. Hasil hogging pada atlantik utara

d. PMB pada sagging Indonesia

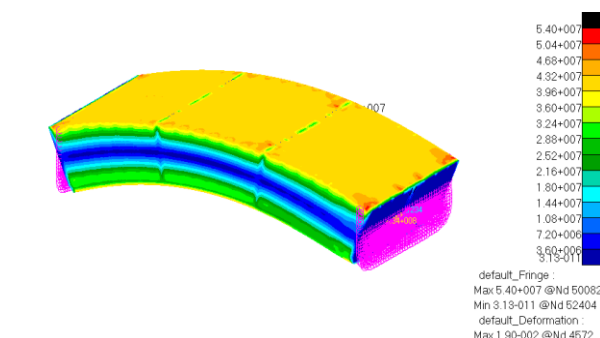
Hasil analisa tegangan maksimum (*von misses*) yaitu sebesar 60.4 Mpa pada node 155778



Gambar 21. Hasil sagging pada Indonesia

e. PMB pada hogging Indonesia

Hasil analisa tegangan maksimum (*von misses*) yaitu sebesar 54 Mpa pada node 50082



Gambar 22. Hasil hogging pada pada Indonesia

3.7 Perbedaan Respon Struktur Kapal

Berdasarkan hasil analisa masing-masing kondisi tersebut maka dapat diketahui perbedaan respon struktur kapal dari perairan *North Atlantic Ocean* dan *Indonesian Waterways* adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Perbedaan Respon Struktur Kapal

Kondisi	<i>North Atlantic Ocean</i>	<i>Indonesian Waterways</i>
Air Tenang	19.9 MPa	19.9 MPa
Sagging	168 MPa	60.4 MPa
Hogging	115 MPa	54 MPa

3.8 Hasil Variasi Tiap Perairan

Hasil penelitian yang telah dilakukan menggunakan software *MSC Nastran* pada masing-masing disain model pada tiap keadaan perairan, telah didapatkan hasil berupa tegangan maksimum yang terjadi pada setiap model. Terdapat perbedaan selisih tegangan yang cukup besar antara kedua perairan, pada perairan Atlantik Utara nilai tegangannya selalu lebih besar daripada tegangan di perairan Indonesia.

Permodelan *parallel midle body* dapat merepresentasikan kekuatan memanjang kapal karena daerah tersebut merupakan titik kritis saat terjadi gelombang sagging dan hogging.

3.9 Safety Factor

Faktor keamanan (*Safety factor*) adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik dari beban luar, yaitu beban tekan maupun tarik[10]. Sebelum menghitung *safety factor*, dicari terlebih dahulu nilai tegangan ijin yang didapatkan sesuai dengan ketentuan BKI'18 Vol.II Bab.V. C.1.1[9].

$$\sigma_p = \frac{175}{k} \text{ untuk } L \geq 90 \text{ m} \quad (3)$$

Dimana σ_p merupakan tegangan lengkung kekuatan bujur lambung yang diizinkan (N/mm^2), k adalah faktor bahan dan L adalah panjang kapal dalam meter.

Tabel 4. Faktor Material

Minimum Yield Stress ReH in N/mm2	k
235	1
315	0,78
355	0,72
390	0,68

Material yang digunakan pada Kapal Oil Tanker adalah baja Grade A yang mempunyai *minimum yield* (ReH) sebesar $235 N/mm^2$. Sehingga tegangan ijin maksimum adalah $175 N/mm^2$ [11].

$$Sf = \frac{\sigma_p}{\sigma_{maksimum}} \quad (4)$$

Maka berdasarkan persamaan 4, didapatkanlah hasil *safety factor* pada setiap variasi yang tertuang dalam tabel 4.

Tabel 5. Safety Factor pada Kapal *Oil Tanker*

Kondisi	Tegangan (Mpa)	SF	Ket
Atlantik Utara			
Air Tenang	19.9 MPa	8.79	Memenuhi
Sagging	168 MPa	1.05	Memenuhi
Hogging	115 MPa	1.50	Memenuhi
Perairan Indonesia			
Air Tenang	19.9 MPa	8.79	Memenuhi
Sagging	60.4 MPa	2.89	Memenuhi
Hogging	54 MPa	3.25	Memenuhi

Hasil perhitungan *safety factor* maka dapat disimpulkan bahwa semua variasi model pada keadaan air tenang, sagging dan hogging di kedua perairan memenuhi batas aman dan syarat faktor keselamatan menurut standar BKI yang nilainya sama dengan atau melebihi dari 1. *Safety factor* juga dipengaruhi oleh nilai tegangan, semakin besar tegangan maksimal terjadi maka *safety factor* akan semakin kecil, dengan begitu dapat disimpulkan bahwa besarnya nilai tegangan berbanding terbalik dengan nilai *safety factor*.

4. KESIMPULAN

Percobaan dan analisa yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan pada permodelan kekuatan memanjang kapal, model dibuat pada bagian PMB 3 kompartemen dapat disimpulkan bahwa semakin besar moment yang terjadi pada kapal semakin besar pula tegangan yang dihasilkan dan semakin kecil nilai *safety factor*.

Tegangan von Mises terbesar terjadi pada kondisi Sagging perairan Atlantik Utara yaitu $16,8 \times 10^7$ Pa (*node @50082*) pada analisa linear statis. Tegangan maksimal tersebut masih berada dibawah σ_{ijin} sebesar 175 N/mm^2 dan syarat faktor keselamatan menurut standar BKI yang nilainya sama dengan atau melebihi dari 1.

Dari semua hasil pembebanan pada PMB yang dimasukkan pada perhitungan *safety factor*, maka dapat disimpulkan bahwa konstruksi kapal Oil Tanker 149 m masih di kategorikan aman (*safety*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mohammad Arif Kurniawan, Fredhi Agung Prasetyo, Siti Komariyah, "DEVELOPMENT OF RULES-REGULATIONS FOR SHIP INTENDED SAIL IN DOMESTIC INDONESIAN WATERWAYS: Ship's Service Area", Jurnal Teknik BKI, Edisi 04, 2017
- [2] "European Centre for Medium-range

- Wather Forecast (ECMWF)," *intdgh*.
- [3] Kresnadi, Havid. A.F Zakki; G. Rindo;, "Analisa Perbandingan Respon Struktur Full Modelling dengan Parallel Middle Body (PMB) Pada Kapal Ro-Ro Passenger 99 m dan Oil Tanker 149 m di Perairan Indonesia dan Atlantik Utara" J. Tek. PERKAPALAN - Vol. 7, no. 1, 2018.
- [4] Dan Sebastian Cioarec, Elisabeta Burlacu , Leonard Domnişoru, "COMPARATIVE STUDY OF FULL LENGTH AND TWO CARGO HOLDS 3D MODELS FOR STRENGTH ANALYSIS OF A TANKER SHIP STRUCTURE", University of Galati, ISSN 1221-4620, 2017.
- [5] R.M. Luís, A.P. Teixeira, C. Guedes Soares, "Longitudinal Strength Reliability of A Tanker Hull Accidentally Grounded" Centre for Marine Technology and Engineering (CENTEC) Technical University of Lisbon, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal. 2009.
- [6] Ross, C.T.F. 1985. *Finite Element Methods in Structural Mechanin*. Chicherter: Ellis Horywood Ltd.
- [7] I. P. M. W. A. Josua Parulian Sinaga, "Analisa Kekuatan Variasi Sistem Konstruksi Transverse Watertight Bulkhead Pada Multi-Purpose Cargo / Container Vessel 12000 Dwt Dengan Metode Elemen Hingga," *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. %1 dari %2348-361, p. 3, 2015.
- [8] IACS, "Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker," IACS, UK, 2012.
- [9] BKI, "Rules for The Classification and Construction of Sea Going Steel Ship Vol II," BKI, Jakarta, 2018.
- [10] Popov, E. P. *Mechanics of Material*, 2nd edition. Analysis and Design of Ship Structure. New Jersey: Prentice-Hall. Rizzuto, P.R. (2010), 1978.
- [11] Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero. 2018. "Rules for Classification and Construction of Sea Going Steel Ship Volume II: Rules for Hull Edition, " Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.