

## Respon Struktur *Bottom* Kapal Di Bawah Pengaruh Gelombang *Sagging-Hogging*

Amalia Ika Wulandari<sup>1\*</sup>, Alamsyah<sup>2</sup>, Airin Tabriz Zahra<sup>3</sup>

<sup>1\*,2,3</sup> Institut Teknologi Kalimantan

\*amaliaikaw@lecturer.itk.ac.id

### Abstract

Double bottom construction experiences tensile loads under sagging wave conditions and compressive loads under hogging wave conditions. This study aims to analyze the longitudinal strength double bottom construction of KMP.Batumandi 5000 GT. The method used is the Finite Element Method (FEM) by providing dynamic loads in the form of sagging and hogging waves. The results showed that the maximum stress in the hogging condition is 194.12 N/mm<sup>2</sup> with the direction of the stress in the Z direction on node 2814, while in the sagging condition the maximum stress is 159.39 N/mm<sup>2</sup> with the direction of the voltage in the Z direction on node 1669. In the sagging and hogging conditions, the maximum deformation value of 4.32 mm is located at node 203. In the hogging condition, the ultimate moment is 2.247 x 10<sup>12</sup> Nmm and the total moment is 0.495 x 10<sup>12</sup> Nmm with a safety factor of 1.33, while in sagging conditions, the ultimate moment is -2.254 x 10<sup>12</sup> Nmm and the total moment is -0,102 x 10<sup>12</sup> Nmm with a safety factor of 1.61.

Keywords : Hogging, momen batas, sagging, strain

### Abstrak

Konstruksi *double bottom* mengalami beban tarik pada kondisi gelombang *sagging* dan beban tekan pada kondisi gelombang *hogging*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kekuatan memanjang konstruksi *double bottom* kapal KMP.Batumandi 5000 GT. Metode yang digunakan yakni *Finite Element Method* pemberian beban dinamis berupa gelombang *sagging* dan *hogging*. Hasil penelitian didapatkan tegangan maksimum pada kondisi *hogging* sebesar 194.12 N/mm<sup>2</sup> dengan arah tegangan ke arah Z pada node 2814, sedangkan pada kondisi *sagging* tegangan maksimum sebesar 159.39 N/mm<sup>2</sup> dengan arah tegangan ke arah Z pada node 1669. Pada kondisi *sagging* dan *hogging* nilai deformasi maksimum 4.32 mm berada pada node 203. Pada kondisi *hogging* didapatkan momen *ultimate* senilai 2.247 x 10<sup>12</sup> Nmm dan momen total sebesar 0.495 x10<sup>12</sup> Nmm dengan *safety factor* sebesar 1.33, sedangkan pada kondisi *sagging* didapatkan momen *ultimate* senilai -2.254 x 10<sup>12</sup> Nmm dan momen total sebesar 0.102 x 10<sup>12</sup> Nmm dengan *safety factor* 1.61.

Kata kunci : Hogging, boundary moment, sagging, tekanan,

### 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan dimana sebagian wilayahnya adalah perairan yang terdiri dari ribuan pulau. Maka dari itu, masyarakat Indonesia menggunakan kapal sebagai modal transportasi laut. Sebagai alat transportasi laut utama, perancangan dan pembuatan kapal dilakukan dengan sangat kompleks, hal tersebut disebabkan adanya beberapa beban yang akan dialami oleh

kapal saat sedang beroperasi. Kekuatan dari konstruksi kapal merupakan aspek yang sangat penting dalam mempengaruhi keamanan kapal di saat bereksplotasi baik di kondisi laut yang tenang maupun bergelombang. Maka dari itu, perlu diketahui kekuatan dari kapal tersebut khususnya kekuatan memanjang kapal, adapun untuk menganalisa kekuatan memanjang kapal ialah dengan mengetahui apakah kapal

tersebut memenuhi syarat BKI dilihat dari segi tegangan perhitungan, faktor keamanan kondisi air tenang dan sagging serta hogging, dan nilai modulus serta momen inersianya.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui langkah pemodelan pada bottom kapal KMP. Batumandi 5000 GT menggunakan software Finite Element Method (FEM) dan mengetahui analisis kekuatan memanjang pada bottom kapal KMP. Batumandi 5000 GT menggunakan software Finite Element Method. Dengan membatasi masalah pada penelitian ini yaitu analisa dilakukan untuk mengetahui tegangan maksimum yang terjadi pada kapal, kondisi kapal yang akan diteliti yaitu dalam kondisi shagging dan hogging dan analisa hanya menggunakan software Finite Element Method.

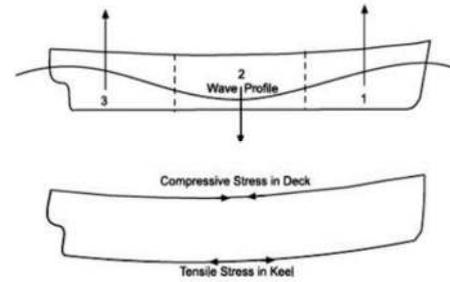
## 2. Metoda Penelitian

Salah satu parameter yang paling penting dalam membangun kapal adalah longitudinal strength (kekuatan memanjang). Kekuatan kapal ini berhubungan pada kemampuan struktur kapal untuk bertahan oleh beban yang ditimbulkannya, baik berupa beban internal maupun eksternal, yang diperkirakan oleh adanya pengaruh tekanan memanjang pada lambung kapal [1].

Kekuatan memanjang kapal adalah perhitungan kekuatan kapal secara memanjang untuk menopang beban yang berasal dari muatan dan kapal itu sendiri kekitak berlayar pada kondisi air tenang maupun bergelombang. Kekuatan memanjang merupakan salah satu persyaratan klasifikasi (BKI) untuk kapal-kapal dengan panjang lebih dari 65 m [3-5][7].

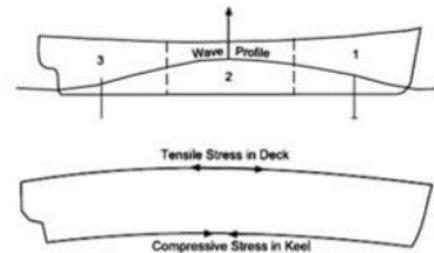
Apabila muatan dipusatkan pada bagian tengah kapal, sehingga kapal tertekan pada bagian tengahnya yang mengakibatkan bentuk kapal hampir menyerupai huruf "U". Sagging juga bisa terjadi karena adanya dua puncak gelombang yang berada di bagian depan dan belakang kapal, sehingga gaya ke atas kapal lebih besar pada bagian depan dan belakang namun pada bagian tengah kapal mengalami gaya ke bawah yang lebih besar [8-9]. Kondisi kapal yang mengalami

sagging seperti terlihat pada Gambar 1.1 di bawah ini:



Gambar 1. Kondisi Sagging

Apabila muatan dipusatkan pada bagian depan dan belakang kapal, sehingga kapal tertekan pada bagian ujung-ujungnya yang mengakibatkan bentuk kapal hampir menyerupai huruf "n". Hogging juga bisa terjadi karena adanya satu puncak gelombang yang berada di tengah kapal, sehingga gaya ke atas kapal lebih besar pada bagian tengah kapal namun pada bagian depan dan belakang kapal mengalami gaya ke bawah yang lebih besar. Kondisi Kapal yang mengalami Hogging seperti terlihat pada Gambar 2. di bawah ini:



Gambar 2. Kondisi Hogging

Syarat keseimbangan benda terapung adalah resultan gaya berat sama dengan resultan gaya tekan ke atas dengan arah berlawanan dan terletak disatu garis vertikal. Pemeriksaan kekuatan kapal diawali dengan perhitungan untuk kondisi kapal di air tenang, kemudian dilanjutkan untuk keadaan bergelombang [10].

Tegangan (*stress*) didefinisikan sebagai perubahan gaya terhadap luas penampang daerah yang dikenai gaya. Tegangan dihasilkan dari gaya seperti tarikan, tekanan atau geseran yang menarik, mendorong, melintir, memotong atau mengubah bentuk potongan bahan dengan berbagai cara. Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan sesuatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negatif jika menimbulkan

penekanan (*compression*). Tegangan normal adalah tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap bidang luas:

$$\sigma = F \times A \quad (1)$$

Dimana:

$\sigma$  = tegangan (N/mm<sup>2</sup>)

F = gaya yang bekerja atau beban (N)

A = luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Adapun rumus untuk mencari tegangan yang dibolehkan bekerja pada konstruksi dapat dilihat pada BKI Vol II Section 5.C.1.1 dengan persamaan 1.2 di bawah ini:

$$\sigma_p = c_s \times \sigma_{p0} \quad (2)$$

Dimana:

$\sigma_p$  = Tegangan memanjang kapal yang diijinkan (N/mm<sup>2</sup>)

$c_s$  =  $0.5 + 5/3 \cdot x/L$

untuk  $0 \leq x/L < 0,30$

= 1,0

untuk  $0,30 \leq x/L \leq 0,70$

=  $3/5 [ 1,3 - x/L ]$

untuk  $0,70 < x/L \leq 1,0$

$\sigma_{p0}$  =  $18,5 \cdot \sqrt{L/k}$

untuk  $L \leq 90$  m

=  $175/k$

untuk  $L \geq 90$  m

Faktor keamanan adalah sebagai sebuah rasio kapasitas struktur terhadap beban yang diberikan. Faktor keamanan digunakan untuk mengukur ketahanan pada sebuah desain sebagai berikut:

$$\text{Factor of safety} = \frac{\text{Yield Strength Working Stress}}{\text{Stress}} \quad (3)$$

Perbandingan ini disebut faktor keamanan (*factor of safety*) dan harus selalu lebih besar dari satu. Meskipun tidak biasa dipakai, mungkin sebutan yang paling baik untuk perbandingan. Faktor ini identik dengan perbandingan antara tegangan ultimate dengan tegangan ijin batang tarik. Untuk batang-batang dengan tegangan yang lebih rumit, definisi yang lama dapat kita sertakan, meskipun yang kita gunakan sebenarnya adalah perbandingan tegangan [11].

Momen lentur terjadi ketika gaya diterapkan pada suatu struktur dari titik acuan tertentu hingga menyebabkan efek lentur (*bending*) pada struktur tersebut. Jika struktur tidak tertahan maka akan menyebabkan struktur berputar pada titik tertentu.

Adapun besaran momen lentur batas vertikal pada kondisi air tenang (*Msw*) untuk panjang kapal lebih dari 90 meter dapat dihitung menggunakan persamaan 1.4 berikut:

$$M_{sw} = n1 \cdot c0 \cdot L2 \cdot B \cdot (0,123 - 0,015 \cdot CB) \quad \text{kNm} \quad (4)$$

Dimana:

$$n1 = 1,07 \cdot [1 + 15 \cdot (n - 105)^2] \leq 1,2$$

Momen lentur pada kondisi bergelombang disebabkan akibat gelombang paling dominan terhadap struktur terping. Berdasarkan rules BKI Vol II Section 5.B.3.1, perhitungan beban gelombang vertikal dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$M_{WV} = L^2 \cdot B \cdot C_o \cdot C_l \cdot C_L \cdot C_M \quad \text{kN.m} \quad (5)$$

Dimana :

$L$  = panjang kapal (m)

$B$  = lebar kapal (m)

$C_o$  = koefisien gelombang

$C_l$  = kondisi sagging atau hogging

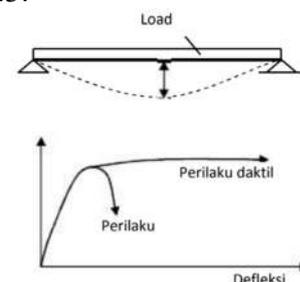
$C_{IH} = 0.19 C_b$  kondisi hogging

$C_{IS} = -0.11 (C_b + 0.7)$  kondisi sagging

$C_L$  = koefisien Panjang

$C_M$  = faktor distribusi

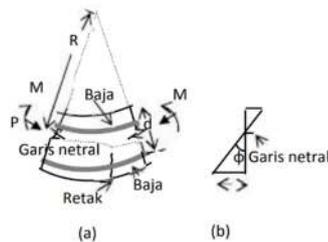
Perilaku defleksi akibat pembebanan pada beton bertulang dengan pembebanan melebihi beban ultimate dapat diilustrasikan seperti yang terlihat pada Gambar 1.3 perbedaan perilaku *brittle* (getas) dan *ductile* (liat) dapat terlihat dengan jelas pada Gambar 1.3.



Gambar 3. Perilaku Defleksi Akibat Pembebanan

Karakteristik deformasi akibat pembebanan yang menjadi pertimbangan penting adalah sebagai berikut: a). Kegagalan getas (*brittle failure*) merupakan hal yang harus dicegah. Seharusnya pada kejadian-kejadian ekstrim struktur yang memikul beban haruslah mampu mengalami defleksi-defleksi besar sehingga mendekati kapasitas layan beban maksimum.

Sebuah beton bertulang yang pada mulanya lurus namun akibat adanya momen ujung dan gaya aksial maka balok menjadi lengkung seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.4 di bawah ini:

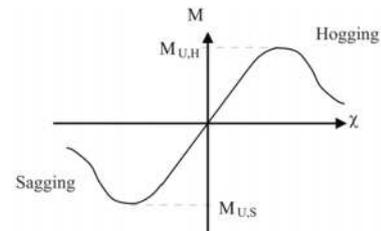


Gambar 4. Hubungan Momen-Kurvatur Untuk Penampang-Penampang Balok Dengan Penulangan Tunggal

Pada Gambar 1.4 di atas poin (a) ialah penampang yang gagal dalam tarik dan (b) adalah penampang yang gagal dalam tekan. Adapun jari-jari kurvatur  $R$ , tinggi sumbu netral  $kd$ , regangan beton pada serat tekan terluar (paling besar)  $\epsilon_c$  dan tegangan regangan baja  $\epsilon_s$  akan berubah-ubah sepanjang bentang karena adanya retak beton yang juga memberikan tegangan (Armeyn, 2012).

Momen lentur vertikal *ultimate* dari bagian melintang kapal pada kondisi hogging ( $M_{U,H}$ ) dan sagging ( $M_{U,S}$ ) [kN.m] dapat dilihat pada BKI Vol.II *Section 5 C 8.2*.

Analisis keruntuhan progresif harus digunakan untuk menghitung momen lentur vertikal ultimate dari bagian melintang sebuah kapal. Prosedur ini harus didasarkan pada pendekatan incremental-iterative yang disederhanakan di mana kekuatan tersebut didefinisikan sebagai puncak dari kurva momen-kelengkungan yang dihasilkan ( $M - \chi$ ) pada kondisi *hogging* (positif) dan pada kondisi *sagging* (negatif), dimana  $\chi$  adalah kurvatur *hull girder* [1/m] hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.5.



Gambar 5. Kurva Momen-Curvatur

Langkah-langkah utama yang akan digunakan dalam pendekatan inkremental-iteratif dirangkum sebagai berikut:

1. Bagian melintang kapal harus dibagi menjadi kombinasi pelat *stiffner* dan *hard corner*.
2. Tegangan rata-rata – hubungan regangan rata-rata  $\sigma_{CRk} - \epsilon$ , untuk semua struktur elemen (yaitu kombinasi pelat *stiffner* dan *hard corner*) harus didefinisikan, di mana subskrip  $k$  mengacu pada mode 0, 1, 2, 3 atau 4.
3. Nilai awal dan tambahan kelengkungan  $\Delta\chi$  harus didefinisikan dengan rumus berikut:

$$\Delta\chi = (0,05 \frac{R\epsilon_H}{E}) / (Z_D - Z_{NA,e}) \tag{6}$$

4. Untuk nilai kurvatur,  $\chi_j = \chi_{j-1} + \Delta\chi$ , regangan rata-rata  $\epsilon_{Ei,j} = \chi_j z_i$ , tegangan rata-rata  $\sigma_{i,j}$  harus didefinisikan untuk setiap elemen struktural  $i$ . Untuk elemen struktural di bawah tension  $\sigma_{i,j} = \sigma_{CR0}$ . Untuk kombinasi pelat *stiffner* di bawah kompresi  $\sigma_{i,j} = \text{minimum} [\sigma_{CR1}, \sigma_{CR2}, \sigma_{CR3}]$ . Untuk *hard corner* di bawah kompresi  $\sigma_{i,j} = \sigma_{CR4}$ .

Untuk nilai kurvatur,  $\chi_j = \chi_{j-1} + \Delta\chi$ , ketinggian sumbu netral  $Z_{NA,j}$  harus ditentukan secara iteratif melalui keseimbangan gaya di atas bagian transversal kapal:

$$\sum_{i=1}^m A_i \cdot \sigma_{i,j} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \sigma_{i,j} \tag{7}$$

$m$  adalah nomer elemen struktural yang terletak di atas  $Z_{NA,j}$

$n$  adalah nomer elemen struktural yang terletak di bawah  $Z_{NA,j}$

$A_i$  = luas area penampang dari  $i^{\text{th}}$  kombinasi pelat *stiffner* atau *hard corner*

Untuk nilai kurvatur,  $\chi_j = \chi_{j-1} + \Delta\chi$ , momen lentur yang sesuai harus dihitung dengan menjumlahkan kontribusi semua elemen struktural bagian melintang kapal:

$$\sum \sigma_{ij} \cdot A_i (Z_{NA,j} - Z_i) \quad (8)$$

Langkah 4 hingga 6 harus diulang untuk meningkatkan kelengkungan hingga puncak di M- $\chi$  kurva didefinisikan dengan baik. Momen lentur vertikal ultimate  $M_{U,H}$  dan  $M_{U,S}$  harus diambil sebagai nilai puncak kurva M- $\chi$  [10].

Pada analisis ini telah dilakukan pemodelan bottom kapal KMP.Batumi 5000 GT dengan jarak gading 600 mm menggunakan software Finite Element Method.

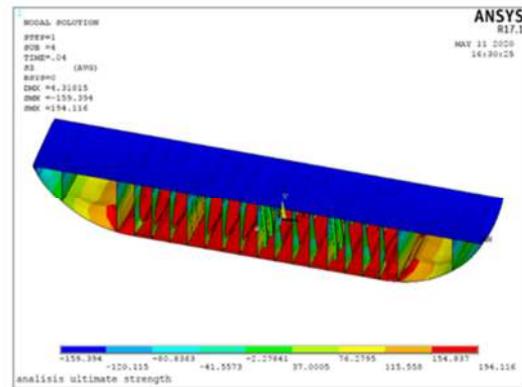
### 3. Hasil & Pembahasan

Perhitungan beban maksimum konstruksi didapatkan dari nilai momen lentur batas pada kondisi air tenang dan momen lentur batas pada kondisi bergelombang. Dilakukan perhitungan untuk mencari nilai momen lentur batas vertikal pada saat air tenang untuk kondisi sagging dan dilakukan perhitungan nilai momen lentur batas vertikal pada saat bergelombang untuk kondisi sagging dan hogging. Setelah mendapatkan kedua nilai tersebut, maka dapat diperoleh nilai momen total pada kondisi hogging dan sagging. Hasil perhitungan beban konstruksi dapat dilihat pada Tabel 2:

Tabel 2. Perhitungan Beban Konstruksi

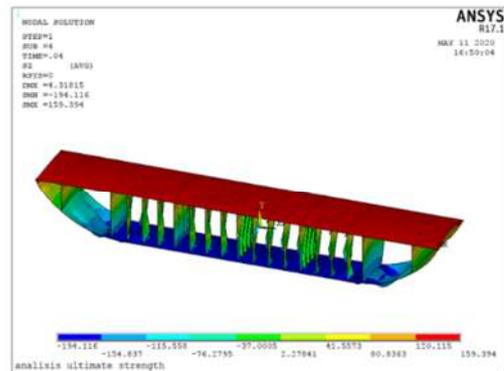
Particular	Sagging (N.mm)	Hogging (N.mm)
M <sub>wv</sub>	-3.32 x 10 <sup>11</sup>	2.67 x 10 <sup>11</sup>
M <sub>sw</sub>	2.30 x 10 <sup>11</sup>	2.30 x 10 <sup>11</sup>
MT	-1.02 x 10 <sup>11</sup>	4.95 x 10 <sup>11</sup>

Setelah dilakukan pemodelan, maka dilakukanlah perhitungan beban, kemudian dimasukan nilai momen sebesar 2x10<sup>12</sup> N.mm untuk kondisi hogging, lalu disimulasikan dan menghasilkan contour deformasi seperti pada Gambar 6:



Gambar 6. Deformasi ketika Hogging

Berdasarkan Gambar 6, diketahui bahwa hasil simulasi menghasilkan tegangan untuk kondisi hogging sebesar 194.12 N/mm<sup>2</sup> pada bottom sedangkan pada bagian inner bottom menghasilkan tegangan -159.39 N/mm<sup>2</sup>. Pada gambar juga dapat dilihat tegangan maksimum yang bekerja pada konstruksi saat kondisi hogging ialah sebesar 194.12 N/mm<sup>2</sup> dengan arah tegangan ke arah SZ atau Z pada node 2814. Sedangkan untuk tampilan countour sagging, dapat dilihat seperti Gambar 7 berikut:



Gambar 7. Deformasi ketika Sagging

Berdasarkan Gambar 7, diketahui bahwa hasil simulasi menghasilkan tegangan untuk kondisi sagging sebesar 159.39 N/mm<sup>2</sup> pada inner bottom sedangkan pada bagian bottom menghasilkan tegangan -194.12 N/mm<sup>2</sup>. Pada gambar juga dapat dilihat tegangan maksimum yang bekerja pada konstruksi pada kondisi hogging ialah sebesar 159.39 N/mm<sup>2</sup> dengan arah tegangan ke arah SZ atau Z pada node 1669.

Setelah mendapatkan tegangan yang diijinkan bekerja pada konstruksi atau disebut tegangan maksimum yang bekerja pada konstruksi ketika hogging ataupun sagging, selanjutnya ialah menentukan

tegangan *ultimate* (batas) sesuai *rules* BKI Vol.II *Section* 5 C.1.1 yaitu:

$$\sigma_p = c_s \times \sigma_{po}$$

Dengan nilai  $c_s = 1$

Pada kapal KMP.Batamandi, diketahui material yang digunakan ialah *AH36* dengan nilai *yield strength* sebesar  $370 \text{ N/mm}^2$ , maka berdasarkan BKI Vol.II *Section* 2 B.2.1 didapatkan nilai *material factor* ( $k$ ) adalah 0.68, maka dapat dicari untuk nilai  $\sigma_{po}$  adalah sebagai berikut:

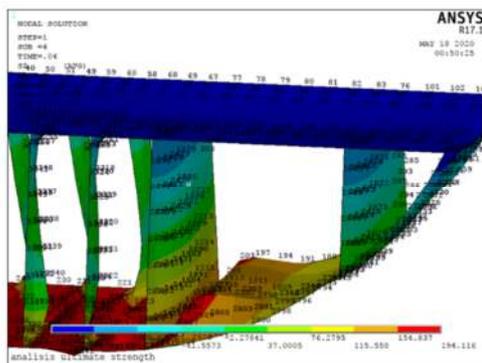
$$\sigma_{po} = 175/k = 175/0.68 = 257.35 \text{ N/mm}^2$$

Jadi,

$$\sigma_p = c_s \times \sigma_{po} = 1 \times 257.35 = 257.35 \text{ N/mm}^2$$

Seperti yang telah diketahui, tegangan yang dihasilkan oleh *software finite element method* pada bagian *inner bottom* dan *bottom* pada kondisi *hogging* dan *sagging* memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan nilai tegangan *ultimate* (batas) sesuai *rules* BKI, maka tegangan yang bekerja pada konstruksi masih diperbolehkan.

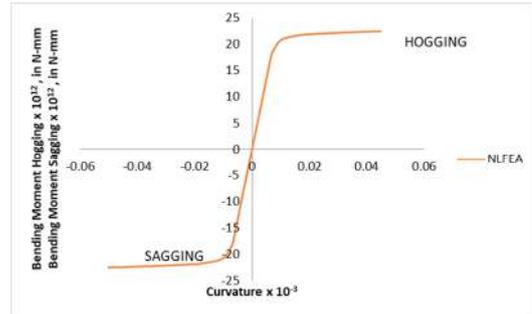
Berdasarkan Gambar 6 dan Gambar 7 dapat diketahui juga nilai deformasi maksimum atau nilai DMX pada kondisi *hogging* dan *sagging* yaitu 4.32 mm berada pada *node* 203 yang berarti tegangan yang paling terjadi pada *node* 203 seperti pada Gambar 8 berikut:



Gambar 8. Deformasi Maksimum pada *Node* 203

Pada hasil analisis kekuatan batas momen lentur *vertical* kapal dengan metode *NLFEA* diperoleh nilai kekuatan batas *bottom* kapal pada kondisi *hogging* sebesar  $2.247 \times 10^{12} \text{ Nmm}$  dan pada kondisi *sagging* sebesar  $-2.254 \times 10^{12} \text{ Nmm}$ . Hubungan antara nilai kekuatan batas dan *curvature* atau kelengkungan dengan menggunakan

metode *NLFEA* dapat dilihat pada Gambar 9. di bawah ini:



Gambar 9. Momen Kelengkungan *Bottom* KMP. Batamandi

Pada Gambar 9. dapat dilihat pada kondisi *hogging*, momen lentur batas vertikal dari 0 Nmm sampai  $1.790 \times 10^{12} \text{ Nmm}$  *bottom* kapal dalam kondisi masih linear dan selanjutnya kapal sudah berada pada kondisi tidak linear. Ketika *bottom* kapal dengan besar momen lentur  $2.247 \times 10^{12} \text{ Nmm}$  telah mencapai momen *ultimate* yang membuat struktur mengalami *buckling*.

Pada kondisi *sagging* momen lentur-batas vertikal dari 0 Nmm sampai  $-1.790 \times 10^{12} \text{ Nmm}$  *bottom* kapal dalam kondisi masih linear dan selanjutnya kapal sudah berada pada kondisi tidak linear. Ketika *bottom* kapal dengan besar momen lentur  $-2.254 \times 10^{12} \text{ Nmm}$  telah mencapai momen *ultimate*.

Setelah dilakukan perhitungan momen total (MT), didapatkan nilai MT untuk *hogging* ialah  $4.95 \times 10^{11} \text{ Nmm}$  dan pada saat *sagging* bernilai  $-1.02 \times 10^{11} \text{ Nmm}$ .

Selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

Pada kondisi *hogging*,

$$SF = \sigma_{ultimate} / \sigma_{ijin} = (257.35 \text{ N/mm}^2) / (194.12 \text{ N/mm}^2) = 1.33$$

Pada kondisi *sagging*,

$$SF = \sigma_{ultimate} / \sigma_{ijin} = (257.35 \text{ N/mm}^2) / (159.39 \text{ N/mm}^2) = 1.61$$

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan analisa kekuatan memanjang pada *bottom* kapal KMP. Batamandi dengan menggunakan *finite element method* pada kondisi *hogging* dan *sagging*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa momen lentur pada kapal yaitu

sebesar  $1.790 \times 10^{12}$  Nmm untuk kondisi *hogging* dengan tegangan maksimum  $194.12 \text{ N/mm}^2$  dan *safety factor* sebesar 1.33, sedangkan pada kondisi *sagging* momen lentur sebesar  $-1.790 \times 10^{12}$  Nmm dengan tegangan maksimum  $159.39 \text{ N/mm}^2$  dan *safety factor* sebesar 1.61.

Selain itu, berdasarkan hasil perhitungan *safety factor* diatas menunjukkan bahwa konstruksi *bottom* dapat dinyatakan aman karena nilai *safety factor* di atas 1 baik *hogging* maupun *sagging*.

## 7. Daftar Pustaka

- [1] Armeyn. (2012). Analisa Dan Kajian Hubungan Momen-Kurvatur Pada Balok Beton Bertulang. Padang: Institut Teknologi Padang
- [2] BKI. (2019). Volume II Rules For Hull. Biro Klasifikasi Indonesia
- [3] Djaya, Kusna Indra. (2008). Teknik Konstruksi Kapal Baja. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- [4] Hidayat, Tsany Naufal. (2017). Analisa Kekuatan Memanjang Dan Longitudinal Buckling Pada Kapal Survei Seismik Geomarin Iv. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [5] Irwan. (2017). Analisis Kekuatan Puntiran Longitudinal Kapal Yang Dimodifikasi Dari General Cargo Ke Kontainer. Gowa: Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- [6] Muzdalifah, Lily., Deddy Chrismianto, dan Eko Sasmito Hadi. (2016). Analisa Keselamatan Kapal Ferry Ro-Ro Ditinjau Dari Damage Stability Probabilistik. Semarang: Program Studi S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro.
- [7] Mairuhu, Thomas. (2011). Kekuatan struktur konstruksi kapal akibat penambahan panjang. Jurnal teknologi.
- [8] Prakoso, Resha Buddy., Deddy Chrismianto, dan Wilma Amiruddin. (2015). Analisa kekuatan konstruksi memanjang, stabilitas dan olah gerak kapal kmp. Lema ro-ro 750 gt untuk pelayaran sorong –waigeo. Semarang: Program Studi S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro.
- [9] Santosa, Budi. (2013), “Kekuatan Kapal”, Semarang: Universitas Diponegoro
- [10] Yuwantoro, Seto., Ahmad Fauzan Zakki., dan Hartono Yudo. (2019). Analisa Kekuatan Penerapan Sandwich Plate System (SPS) Pada Tank Deck Kapal Landing Ship Tank (LST) 7000 DWT. Semarang: Universitas Diponegoro.