



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Kekuatan *Deck* Akibat Perubahan Muatan Pada Tongkang TK. NELLY – 34

Nadhila Shabrina Riyanto<sup>1)</sup>, Hartono Yudo<sup>1)</sup>, Andi Trimulyono<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Konstruksi

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

<sup>\*)</sup>e-mail : [nadhilashabrinar@gmail.com](mailto:nadhilashabrinar@gmail.com), [hartonoyudo@gmail.com](mailto:hartonoyudo@gmail.com), [trimul.andi85@gmail.com](mailto:trimul.andi85@gmail.com)

### Abstrak

Tongkang merupakan kapal dengan karakteristik lambung datar atau kotak yang mengapung, yang biasanya digunakan untuk memuat batubara. Pada penelitian kali ini dilakukan analisa kekuatan geladak pada tongkang TK. Nelly – 34 milik PT. Pelayaran Nelly Dwi Putri akibat perubahan muatan dari muatan batubara menjadi muatan peti kemas. Metode yang digunakan yaitu metode elemen hingga dan aturan yang digunakan yaitu aturan Biro Klasifikasi Indonesia. Validasi dilakukan pada model dengan membandingkan hasil perhitungan simulasi dengan perhitungan analitis menggunakan teori balok dan didapatkan nilai error sebesar 4,21 %. Penelitian yang dilakukan penulis menggunakan tiga variasi pembebanan, yakni variasi pertama adalah pembebanan berupa muatan peti kemas dengan susunan muatan stowage plan I dengan total muatan sebesar 5040 ton dan tinggi sarat 4,472m, variasi kedua adalah muatan peti kemas dengan susunan muatan stowage plan II dengan total muatan 3528 ton dan tinggi sarat 3,15m, dan variasi ketiga adalah muatan batubara dengan total muatan 4174 ton dan tinggi sarat 3,5m. Semua analisa dilakukan pada kondisi air tenang. Dari penelitian kekuatan geladak tongkang ini didapatkan tegangan maksimum terjadi pada kondisi ketika kapal sedang memuat peti kemas dengan susunan stowage plan I pada frame 31 tepatnya pada node 53304028 dengan nilai 57,968 Mpa, dan defleksi maksimal terjadi pada frame 18 tepatnya pada node 45118286 dengan nilai 9,410 mm.

Kata Kunci : Kekuatan Geladak Tongkang, Tegangan, Defleksi, Metode Elemen Hingga

### 1. PENDAHULUAN

Kapal tongkang atau yang biasa dikenal dengan sebutan *Barge* merupakan jenis kapal dengan karakteristik lambung datar atau kotak besar yang mengapung. Kapal tongkang biasanya digunakan sebagai alat angkut muatan atau barang dan sebagai dermaga apung.

Tongkang sendiri memiliki bentuk lambung yang menyerupai balok, dimana  $C_b$  mendekati 1, dan tidak ada system propulsi, listrik, ataupun perpipaan yang mendukung tongkang ini. [1] Tongkang yang membawa muatan harus memiliki performa yang baik. Performa tongkang tersebut meliputi daya angkut, kekuatan *geladak*, dan stabilitas yang baik. Hal ini harus diperhatikan agar dapat menunjang nilai efektifitas, efisiensi, dan ekonomisnya. Oleh karena itu tongkang dirancang khusus untuk tujuan tertentu, tergantung pada jenis tongkang, yang ditandai dengan fungsi dari

tongkang tersebut, prosedur desainnya sedikit berbeda atau lebih tepatnya karakteristik yang dipilih mungkin berbeda dalam satu cara atau yang lain [2]. Pada kondisi kali ini, yang menjadi perhatian penulis adalah kekuatan geladak dan defleksi atau deformasi yang terjadi pada tongkang TK. Nelly - 34 akibat perubahan muatan dari batubara menjadi peti kemas. Salah satu aspek penting dalam perancangan kapal adalah kekuatan konstruksinya. Apabila kapal dibangun namun tidak memperhatikan kelayakan kekuatan konstruksi maka dikhawatirkan tidak mampu menghadapi kondisi lingkungan yang berubah ataupun dapat terjadi kegagalan konstruksi [3].

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Berlian Arswendo dan Burhan Arifin pada tahun 2011 menunjukkan nilai tegangan maksimum pada geladak Ponton Batubara Prawiramas Puri Prima II 1036 DWT dalam kondisi air tenang sebesar  $7,39 \times 10^4$  KN/m<sup>2</sup> pada

node 4013 [4]. Selain itu, pada penelitian yang dilakukan oleh Mulyatno, Arswendo, dan Maulana pada tahun 2011 menunjukkan nilai tegangan maksimum geladak MV. Sinar Demak dalam kondisi air tenang sebesar  $184 \text{ N/mm}^2$  pada node 88218 [5]. Oleh Adnyani, Aisyah, et al telah dilakukan penelitian kekuatan geladak pada Barge Nania 10070 DWT dengan dua metode pembebanan dan ditemukan hasil tegangan maksimum sebesar 394,39 dan 369,97 MPa. [6]

Berdasarkan uraian diatas, penulis ingin melakukan penelitian lebih lanjut mengenai kekuatan geladak pada TK. Nelly- 34 akibat perubahan muatan dari batubara menjadi muatan peti kemas dengan variasi muatan untuk mencari nilai tegangan maksimum serta defleksi yang terjadi, dimana mengacu pada tegangan ijin sesuai dengan aturan BKI.

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai tegangan dan defleksi maksimum pada kontruksi geladak TK. Nelly – 34, serta dapat membandingkan hasil tegangan dan defleksi maksimum pada geladak kapal ketika membawa muatan batubara dan ketika membawa muatan peti kemas pada TK. Nelly – 34

## 2. METODE

### 2.1. Objek Penelitian

Tongkang TK. Nelly – 34 merupakan tongkang milik perusahaan PT. Pelayaran Nelly Dwi Putri Tbk. Kapal ini awalya. Kapal ini awalnya membawa muatan berupa batubara, namun dikarenakan permintaan owner atas dasar keterbutuhan di lapangan, maka muatan tongkang tersebut diubah menjadi muatan peti kemas.

Adapun ukuran utama kapal yaitu sebagai berikut.

- LoA : 76,30 m.
- LPP : 76,08 m.
- Breadth (B) : 21,34 m.
- Height (H) : 4,88 m.
- Draught (T) : 4,1 m.

Jenis konstruksi yang digunakan pada TK. Nelly – 34 merupakan konstruksi memanjang. Pada penggunaan sebelumnya, tongkang TK. Nelly – 34 mengangkut muatan batubara dengan asumsi pembebanan 3 gunung batubara. Total berat muatan batubara yakni 4174 ton dengan tinggi sarat 3,5 m dalam kondisi muatan penuh. Sedangkan ketika muatan yang diangkut adalah peti kemas, total berat muatannya adalah 5040 ton dengan susunan muatan *stowage plan* I dengan tinggi sarat 4,472 m dalam kondisi muatan penuh. Serta saat muatan peti kemas dengan susunan

muatan *stowage plan* II dengan tinggi sarat 3,15 m, total berat muatannya adalah 3528 ton. Peti kemas yang akan dimuat oleh TK. Nelly – 34 adalah peti kemas dengan ukuran 20ft dan total muatan 24 ton per peti kemasnya.



Gambar 1. Tongkang Nelly

### 2.2. Variasi Pembebanan

Pada penelitian ini, konstruksi *geladak* mendapat pembebanan secara vertikal, searah dengan *y-axis* yakni berupa pembebanan dari muatan. Pembebanan didefinisikan *linear static*, dengan sumbu ordinat yang tetap pada perhitungan numerik [7].

Dikarenakan yang menjadi perhatian bagi penulis adalah variasi pembebanan, maka dalam penelitian kali ini terdapat 3 *loading condition*, yang ditunjukkan pada tabel 1 :

Tabel 1. *Loading Condition*

Susunan Muatan	Jumlah Muatan	Total Berat (ton)
<i>Load Condition 1</i>	210 peti kemas	5040
<i>Load Condition 2</i>	147 peti kemas	3528
<i>Load Condition 3</i>	3 gunung batubara	4174

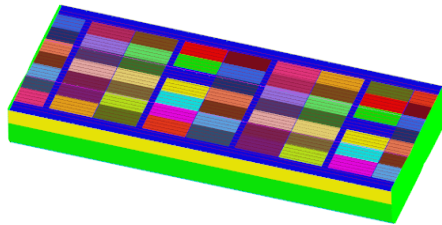
### 2.3. Pembuatan Model dan Meshing

Dalam menyelesaikan permasalahan *engineering*, salah satu cara penyelesaiannya yakni dengan metode elemen hingga yang menggunakan perhitungan numerik [8].

Pada penelitian kali ini, konstruksi yang dimodelkan yakni sepanjang badan kapal. Permodelan menggunakan *software* elemen hingga dengan menggunakan elemen tipe *mixed mesh* (*trias and quad elements*).

Tahap pertama dalam pembuatan model berupa pembuatan geometri sesuai dengan gambar konstruksi kapal yang ada. Setelah membuat geometri, langkah selanjutnya yakni menggunakan fitur *midsurface* pada *software*, sehingga geometri yang sudah terbentuk akan berubah menjadi

surface. Tahap kedua yakni melakukan proses *meshing* dengan menggunakan elemen 2D. Dikarenakan perbandingan antara panjang dan tinggi dengan lebar sebuah geometri yang terlalu jauh, maka dipilihlah elemen 2D [9] yang akan diinput nilai ketebalan sesuai gambar konstruksi yang ada dengan *input property* yaitu *PSHELL*.



Gambar 2. Geometri *Hull* Kapal Setelah Proses *Meshing*

## 2.4. Pendefinisian Material

Pada penelitian ini, jenis material yang digunakan yaitu material baja standar BKI dengan notasi KI-A36 [13], dengan nilai sebagai berikut.

<i>Modulus Elastisitas</i>	= 200 Gpa
<i>Shear Modulus</i>	= 79,3 Gpa
<i>Poisson Ratio</i>	= 0,3
<i>Density</i>	= 7850 kg/m <sup>3</sup>
<i>Yield</i>	= 250 Mpa
<i>Ultimate Stress</i>	= 400 Mpa

## 2.5. Pendefinisian Beban

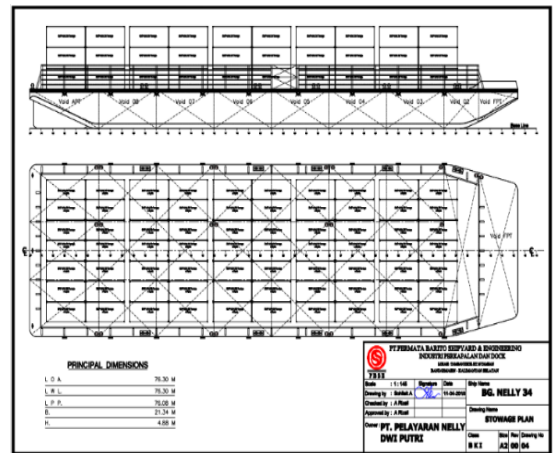
Pada penelitian ini terdapat 3 macam beban yang diinputkan, yakni beban dari muatan berupa peti kemas, muatan berupa batubara, serta tekanan hidrostatik kapal. Adapun perhitungan tiap beban yang ada yaitu sebagai berikut.

$$W = m \times g \quad (1)$$

### a. Beban Peti Kemas *Stowage Plan I*

$$\begin{aligned} W_{cl} &= \text{Berat peti kemas} \times \text{gravitasi} \\ &= 72000 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= 705600 \text{ N} \end{aligned}$$

Dalam penginputan beban menggunakan fitur *pressure* untuk menginput beban pada tiap luasan peti kemas dengan membagi *pressure* dengan jumlah elemen agar *pressure* tersebar merata pada tiap elemen sesuai dengan luasan peti kemas. Dengan luasan per 1 peti kemas sebesar 14786400 mm<sup>2</sup>, maka *input pressure* adalah sebesar 0,0477 N/mm<sup>2</sup> per 1 peti kemas.



Gambar 2. *Stowage Plan I* TK. Nelly – 34.

### b. Beban Peti Kemas *Stowage Plan II*

Dikarenakan ada perbedaan peletakan susunan muatan peti kemas, maka input beban peti kemas pada *stowage plan II* dibedakan berdasarkan letak dan jumlah susunannya.

- Untuk luasan pertama dengan jumlah peti kemas 7 unit, beban yang diinput adalah :

$$\begin{aligned} W_{cl} &= \text{Berat peti kemas} \times \text{gravitasi} \\ &= 24000 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= 235200 \text{ N} \end{aligned}$$

Dengan luasan per 1 peti kemas sebesar 14786400 mm<sup>2</sup>, maka *input pressure* adalah sebesar 0,0159 N/mm<sup>2</sup> per 1 peti kemas.

- Untuk luasan kedua dengan susunan 2 tumpukan dan jumlah peti kemas 14 unit, beban yang diinput adalah :

$$\begin{aligned} W_{cl} &= \text{Berat peti kemas} \times \text{gravitasi} \\ &= 48000 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= 470400 \text{ N} \end{aligned}$$

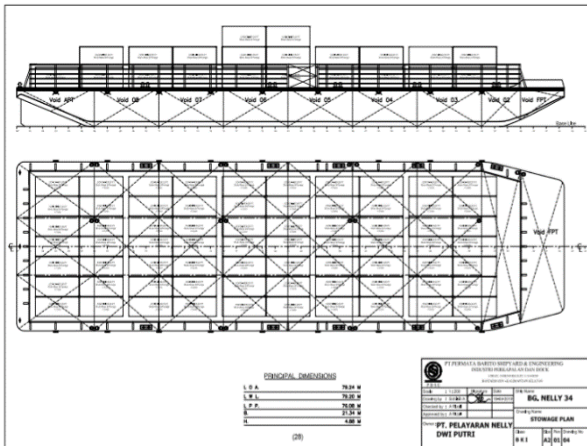
Dengan luasan per 1 peti kemas sebesar 14786400 mm<sup>2</sup>, maka *input pressure* adalah sebesar 0,03181 N/mm<sup>2</sup> per 1 peti kemas.

- Untuk luasan ketiga dengan susunan 3 tumpukan dan jumlah peti kemas adalah 21 unit, beban yang diinput adalah :

$$\begin{aligned} W_{cl} &= \text{Berat peti kemas} \times \text{gravitasi} \\ &= 72000 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= 705600 \text{ N} \end{aligned}$$

Dengan luasan per 1 peti kemas sebesar  $14786400 \text{ mm}^2$ , maka *input pressure* adalah sebesar  $0,0477 \text{ N/mm}^2$  per 1 peti kemas.

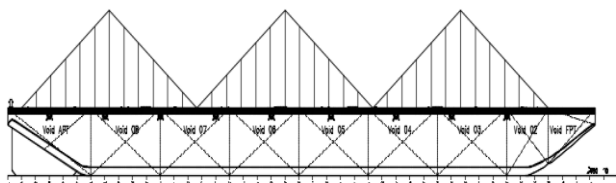
Seperti halnya pada *stowage plan I*, penginputan beban juga menggunakan fitur *pressure* untuk menginput beban pada tiap luasan peti kemas dengan membagi *pressure* dengan jumlah elemen, agar *pressure* tersebar merata pada tiap elemen sesuai dengan luasan peti kemas.



Gambar 3. *Stowage Plan II TK. Nelly - 34*

c. Beban Batubara

$$\begin{aligned}
 W_b &= \text{Berat total batubara x gravitasi} \\
 &= 4174000 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\
 &= 40905200 \text{ N.}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. Pembagian Gunungan Batubara

d. Tekanan Hidrostatik

Tekanan Hidrostatik adalah tekanan yang diberikan oleh air laut akibat adanya gaya gravitasi. Pada kasus kapal yang berada di air laut, tekanan hidrostatik dipengaruhi oleh massa jenis air laut ( $\rho$ ), gravitasi ( $g$ ) dan sarat kapal ( $h$ ). Dikarenakan muatan yang dibawa berbeda dan mengakibatkan tinggi sarat berbeda, maka tekanan hidrostatiknya pun berbeda, antara muatan batubara dan muatan peti kemas.

$$P = \rho \times g \times h \quad (2)$$

- Untuk muatan batubara dengan tinggi sarat 3,5 m, tekanan hidrostatiknya adalah:

$$\begin{aligned}
 P &= 1,025 \times 9,81 \times 3,5 \\
 P &= 35157,5 \text{ Pa} \\
 P &= 0,0351 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

- Untuk muatan peti kemas dengan *stowage plan I* dengan tinggi sarat 4,472 m, tekanan hidrostatiknya adalah:

$$\begin{aligned}
 P &= 1,025 \times 9,81 \times 4,472 \\
 P &= 4496,078 \text{ Pa} \\
 P &= 0,0496 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

- Untuk muatan peti kemas dengan *stowage plan II* dengan tinggi sarat 3,15 m, tekanan hidrostatiknya adalah:

$$\begin{aligned}
 P &= 1,025 \times 9,81 \times 3,15 \\
 P &= 31674,037 \text{ Pa} \\
 P &= 0,0316 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Penentuan *Boundary Condition*

Model *finite element* yang sudah dibentuk, selanjutnya diberi *boundary condition* yang akan digunakan sebagai tumpuan *fix* (translasi dan rotasi sumbu  $x,y,z$  *fix*). Peletakan *boundary condition* berada di *Neutral Axis* kapal, dengan cara membuat elemen rigid RBE2 di kedua sekat, yaitu sekat haluan dan sekat buritan. *Nodes* yang berada pada sekat sebagai *independent*, sedangkan tinggi *Neutral Axis* sebagai *dependent*. Adapun tinggi *Neutral Axis* pada kapal tongkang ini yaitu sebesar 1947,875 mm.

Tabel 2. Kondisi Batas (Translasi)

Lokasi	Sumbu	Sumbu	Sumbu
	x	y	z
Titik independen ujung belakang	Fix	Fix	Fix
Titik Independen ujung depan	Fix	Fix	Fix

Tabel 3. Kondisi Batas (Rotasi)

Lokasi	Sumbu	Sumbu	Sumbu
	x	y	z
Titik independen ujung belakang	-	-	-
Titik Independen ujung depan	-	-	Fix

Pada tabel 2 dan 3 merupakan *boundary condition* yang digunakan berdasarkan aturan dari *Korean Rules for Shipping : Rules for the*

*Classification of Steel Ships* [10]. Penentuan *boundary condition* sangat mempengaruhi proses *finite element* terutama pada struktur kapal. *Boundary condition* harus didefinisikan pada kedua ujung model, yaitu bagian depan dan belakang [11]. Keterangan 'fix' pada tabel 2 menunjukkan bahwa sumbu tersebut terkunci. Hasil analisis akan sangat dipengaruhi oleh penentuan peletakan *boundary condition*.

### 3.2. Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk mengetahui tingkat keakuratan dari sebuah geometri *finite element* yang telah dibuat sebelumnya. Salah satu metode yang dilakukan yaitu dengan membandingkan hasil antara perhitungan analitik dan numerik.

#### a. Perhitungan Analitik

Perhitungan secara analitik yaitu dengan menggunakan pendekatan rumus defleksi mekanika teknik, adapun rumus perhitungan defleksi yaitu sebagai berikut. [12]

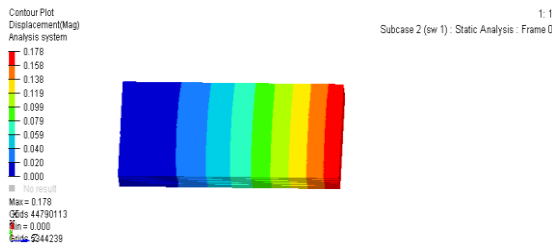
$$Defleksi = \frac{F \times L^3}{3 \times E \times I} \quad (3)$$

F yaitu *Force* (N), L adalah Panjang model (mm), E adalah Modulus Elastisitas (Mpa) dan I adalah Inersia (mm<sup>4</sup>). Sehingga hasil perhitungannya yaitu sebagai berikut.

$$= \frac{1000 \times 76300^3}{3 \times 200000 \times 434131740632}$$

$$= 0,1705 \text{ mm}$$

#### b. Perhitungan Software



Gambar 5. Perhitungan Software

Pada gambar 5 merupakan perhitungan *software* dilakukan dengan bantuan *software Altair HyperWorks*, sesuai dengan model yang telah dibuat. Adapun hasil defleksinya yaitu 0,178 mm.

Tabel 4. Hasil Validasi.

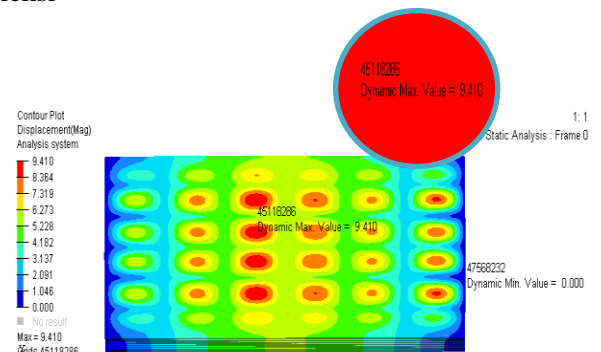
Hasil Analitik	Hasil Numerik	Error
0,1705 mm	0,178 mm	4,21 %

Pada tabel 4 merupakan hasil perbandingan antara perhitungan analitik dengan numerik diatas, didapatkan persentase *error* sebesar 4,21 %. Model sudah dikatakan valid, karena persentase *error* masih dibawah 10 %.

### 3.3. Hasil Analisis Kondisi I

Kondisi I diasumsikan ketika kapal sedang memuat peti kemas dengan susunan seperti pada *stowage plan I*. Beban yang ada hanya dari beban berat peti kemas dan tekanan hidrostatis kapal. Hasil analisa ini yakni pada saat kondisi air tenang.

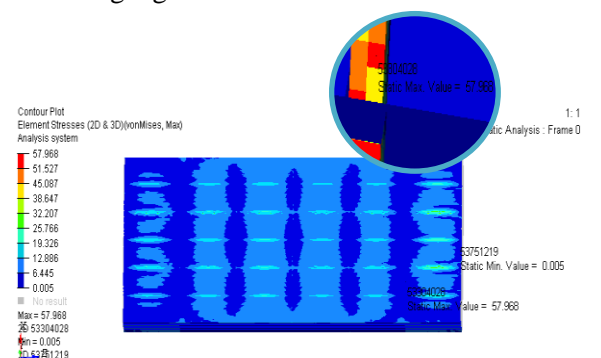
#### a. Defleksi



Gambar 6. Defleksi Kondisi I

Pada gambar 6 merupakan defleksi maksimal yang terjadi pada *frame 18* tepatnya pada *node 45118286* dengan nilai 9,410 mm.

#### b. Distribusi Tegangan



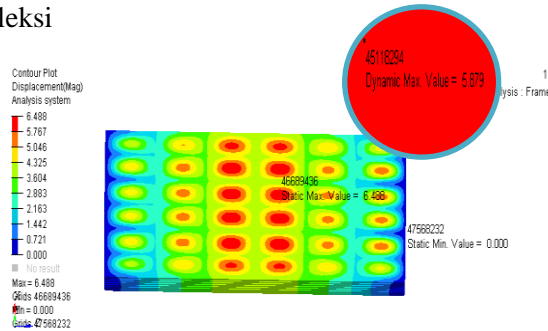
Gambar 7. Distribusi Tegangan Kondisi I.

Pada gambar 7 merupakan tegangan maksimal yang terjadi pada *frame 31* tepatnya pada *node 53304028* dengan nilai 57,968 Mpa.

### 3.4. Hasil Analisis Kondisi II

Kondisi I diasumsikan ketika kapal sedang memuat peti kemas dengan susunan seperti pada *stowage plan II*. Beban yang ada hanya dari beban berat peti kemas dan tekanan hidrostatis kapal. Hasil analisa ini yakni pada saat kondisi air tenang.

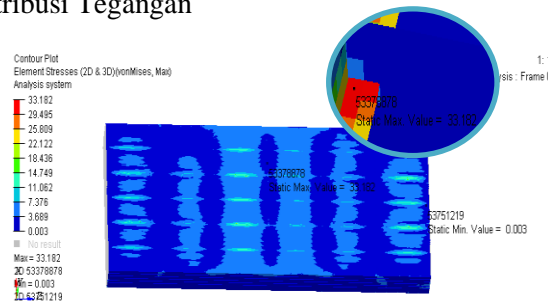
#### a. Defleksi



Gambar 8. Defleksi Kondisi II.

Pada gambar 8 merupakan defleksi maksimal yang terjadi pada *frame 19* tepatnya pada *node 45118294* dengan nilai 5,879 mm.

#### b. Distribusi Tegangan



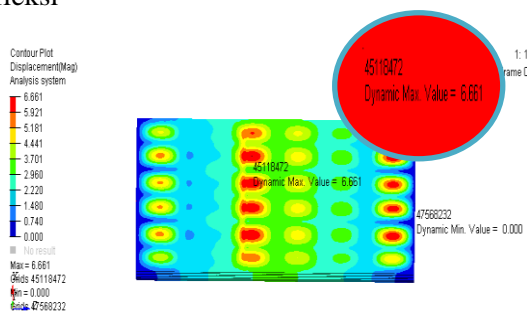
Gambar 9. Distribusi Tegangan Kondisi II.

Pada gambar 9 merupakan tegangan maksimal yang terjadi pada *frame 20* tepatnya pada *node 53378878* dengan nilai 33,182 Mpa.

### 3.5. Hasil Analisis Kondisi III

Kondisi I diasumsikan ketika kapal sedang memuat batubara. Beban yang ada hanya dari beban berat batubara dan tekanan hidrostatis kapal. Hasil analisa ini yakni pada saat kondisi air tenang.

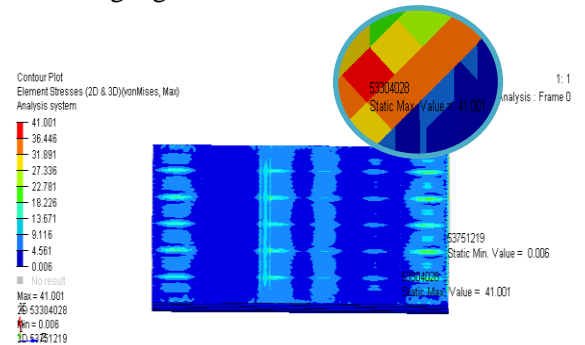
#### a. Defleksi



Gambar 10. Defleksi Kondisi III.

Pada gambar 10 merupakan defleksi maksimal yang terjadi pada *frame 17* tepatnya *node 45118472* dengan nilai 6,661 mm.

#### b. Distribusi Tegangan



Gambar 11. Distribusi Tegangan Kondisi III.

Pada gambar 11 merupakan tegangan maksimal yang terjadi pada *frame 31* tepatnya pada *node 53304028* dengan nilai 41,001 Mpa.

### 3.6. Rangkuman Hasil Analisis Struktur

Tabel 5. Rangkuman Hasil Analisis.

No	Jenis Kondisi	$\sigma$ maks (Mpa)	$\delta$ maks (mm)
1	Kondisi I	57,968	9,410
2	Kondisi II	33,182	5,879
3	Kondisi III	41,001	6,661

Pada tabel 5 merupakan rangkuman hasil analisis struktur dan didapatkan tegangan terbesar terjadi pada kondisi I, yaitu ketika kapal sedang memuat peti kemas dengan susunan seperti pada *stowage plan I*, yang bernilai 57,968 Mpa. Sedangkan defleksi paling besar terjadi pada kondisi I, memuat peti kemas dengan susunan seperti pada *stowage plan I*, dengan nilai 9,410 mm. Tegangan ijin pada struktur tongkang yaitu 150 Mpa [13], sesuai dengan yang terdapat pada BKI 2019 Volume II Section 8. B. 8. 2. 2. Berdasarkan tabel diatas, semua kondisi memenuhi kriteria kekuatan BKI.

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis perhitungan kekuatan konstruksi geladak pada tongkang TK. Nelly - 34 akibat perubahan muatan pada kondisi air tenang yang telah dilakukan didapatkan hasil yaitu: 1) Tegangan paling maksimum terjadi pada saat kondisi tongkang sedang membawa muatan peti kemas dengan *stowage plan I*. Tegangan maksimum didapatkan pada *frame 31* tepatnya pada *node 53304028* dengan nilai 57,968 Mpa, dan defleksi maksimal terjadi pada *frame 18* tepatnya

pada pada *node* 45118286 dengan nilai 9,410 mm. 2) Tegangan minimum terjadi pada saat kondisi tongkang sedang membawa muatan peti kemas dengan *stowage plan* II. Tegangan minimum didapatkan pada *frame* 20 tepatnya pada pada *node* 53378878 dengan nilai 33,182 Mpa, dan defleksi maksimal terjadi pada *frame* 19 tepatnya pada pada *node* 45118294 dengan nilai 5,879 mm. Dari hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa kriteria kekuatan tongkang sudah memenuhi kriteria kekuatan BKI. [13]

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Allah SWT yang selalu memberikan berkah dan rahmatnya, serta Orang Tua dan Keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan penulis, dan juga kepada pembimbing 1 dan pembimbing 2, serta rekan-rekan yang sudah membantu dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] U.M. Silalahi, H. Yudo, dan U. Budiarto, "Analisa Pengaruh Variasi Sarat Tongkang Terhadap Ekonomis Pemasukan (Income) Pengangkutan Muatan dan Operasional Tugboat," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 4, pp. 132-140, 2016.
- [2] N. Samson, E. Ogbonaya, and K. Ejabefio, "Stability Analysis for the Design of 5000-tonnes Offshore Worge Barge," *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 3, no. 9, pp. 849-857, 2013.
- [3] A. W. B. Santosa, A. Ubaidilah, and M. Fazjeri, "Perancangan Kapal Tongkang Sebagai Penyebrangan Masyarakat Di Sungai Bengawan Solo , Desa Jimbung Kabupaten Blora – Desa Kiringan Kabupaten Bojonegoro," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 9, no. 1, pp. 38–46, 2012.
- [4] B. A. Adietya dan B. Arifin., "Analisa Kekuatan Geladak Pada Ponton Batubara Prawiramas Puri Prima II 1036 DWT Dengan Software Berbasis Metode Elemen Hingga" *Jurnal Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro* Vol. 8. No. 1, pp 11-16, Februari 2011.
- [5] I.P.Mulyatno, B.A.Adietya, dan R.A.Maulana, "Strength Analysis of Peti kemas Geladak Construction MV. Sinar Demak Effect of Charges Peti kemas Using Finite Element Method" *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, vol 9. no. 1, pp 24-29, Jan. 2013.
- [6] L. Adnyani, N. Aisyah, S. Sulistijiono, R. Harahap, A. Dianiswara, and N. Nurmawati, "Analisa Kekuatan Deck BARGE NANIA 10070 DWT Dengan Dua Metode Pembebanan," *KAPAL : Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, vol.16, no.2, pp. 49-55, Jul. 2019.
- [7] D. Setyawan. 2018. "Kekuatan Struktur Kapal," Jakarta
- [8] Logan, Daryl L. 2007. *A First Course in the Finite Element Methode*. Canada. Chris Carson.
- [9] Brancheau, James E. 2015. *Practical Aspects of Finite Element Simulation: A Study Guide*. The HyperWoks Univerisity Team.
- [10] Korean Register Of Shipping. 2009. "Rules for the Classification of Steel Ships"
- [11] S. Haris and J. Amdahl, "Analysis of ship–ship collision damage accounting for bow and side deformation interaction", *Marine Structures*, Vol. 32, pp 18-28, July, 2013.
- [12] Popov, E.P. 1996. *Mekanika Teknik*. Erlangga. Indonesia.
- [13] B. K. Indonesia. 2018. *Rules For Hull*. Vol. II. Jakarta. Biro Klasifikasi Indonesia.