



## Analisis Kekuatan Puntiran Pada Kapal Tongkang TK.Nelly 34 Akibat Konversi Muatan Dari Batubara Menjadi *Container*

Muhammad Akbar Ferbian<sup>1)</sup>, Ahmad Fauzan Zakki<sup>2)</sup>, Hartono Yudo<sup>3)</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 : [ferbian.akbar@gmail.com](mailto:ferbian.akbar@gmail.com), [ahmadfzakki@yahoo.com](mailto:ahmadfzakki@yahoo.com), [hartonoyudo@gmail.com](mailto:hartonoyudo@gmail.com)

### Abstrak

*Pontoon atau kapal tongkang adalah kapal dengan karakteristik lambung datar atau kotak, biasanya kapal ini digunakan untuk memuat batubara. Penelitian ini melakukan perhitungan analisis kekuatan puntiran pada kapal tongkang TK. Nelly 34 akibat konversi muatan dari batubara menjadi peti kemas. Perbandingan kekuatan puntiran kapal ketika muatan batubara dan peti kemas menjadi fokus penelitian ini. Perhitungan kekuatan momen puntir mengacu pada kriteria regulasi yang berlaku. Metode yang digunakan yaitu metode elemen hingga dengan bantuan software dan sesuai aturan regulasi Biro Klasifikasi Indonesia. Analisis yang dilakukan merupakan kekuatan puntiran akibat ombak pada kapal. Peletakan boundary condition dilakukan dengan dua variasi pertama pada sekat midship dan sekat buritan. Kekuatan puntiran kapal tongkang menghasilkan tegangan maksimal sebesar 19,30 MPa yang terjadi pada frame 6 tepatnya terdapat di ujung sekat buritan model merupakan hasil analisis kondisi IV. Defleksi kapal terbesar menghasilkan nilai 1,065 cm yang terjadi pada frame 36 tepatnya terdapat diujung sekat haluan kapal merupakan hasil analisis kondisi I. Hasil analisis kekuatan puntiran pada kapal TK. Nelly 34 akibat konversi muatan dari batubara menjadi container telah memenuhi kriteria regulasi Biro Klasifikasi Indonesia.*

*Kata Kunci : Kapal Tongkang, Kekuatan Puntiran Kapal, Tegangan, Defleksi*

### 1. PENDAHULUAN

Kapal tongkang atau yang biasa dikenal dengan sebutan *pontoon* merupakan jenis kapal dengan karakteristik lambung datar atau kotak besar yang mengapung. Kapal tongkang biasanya dapat membawa muatan atau barang dan sebagai dermaga apung,[1]. Kapal tongkang bergerak dengan ditarik oleh kapal tunda/tug boat.

Kapal tongkang TK. Nelly – 34 telah dimodifikasi akibat konversi muatan dari muatan batubara menjadi muatan *container* yang merupakan permintaan dari owner kapal sendiri. Berkaitan dengan perubahan muatan pada tongkang TK. Nelly – 34, terjadi perubahan penyebaran pembebanan pada *deck* yang menyebabkan perubahan karakteristik kekuatan konstruksi tongkang,[2]. Karakteristik kekuatan konstruksi dipengaruhi oleh tegangan (*stress*) yang terjadi, penentuan intensitas tegangan sangat penting untuk menentukan kemampuan bahan

untuk menahan gaya tersebut dan untuk melihat terjadinya deformasi,[3].

Kapal dalam pelayarannya akan mengalami berbagai macam hal. Kapal juga akan mengalami puntiran. Puntiran pada kapal terjadi akibat peletakan barang atau muatan yang tidak simetris terhadap bidang *centre line*, hal ini berpengaruh pada kekuatan kapal,[4]. Kapal yang berada di atas gelombang akan mengalami beban simetris terhadap bidang diametral kapal sehingga kapal mengalami tekanan air dari bagian bawah kanan dan bagian bawah kiri belakang,[5].

Perhitungan kekuatan puntiran kapal biasanya dilakukan pada kapal dengan bukaan palkah yang lebar,[6]. Terdapat penelitian sebelum ini mengenai perhitungan puntiran kapal *container*, perhitungan yang dilakukan yaitu dengan menghitung kekuatan puntiran menggunakan metode yang bersumber dari Rankine tiga dimensi. Dalam perhitungan puntir yang dilakukan yaitu berupa kondisi kapal pada gelombang reguler,[7].

Penelitian selanjutnya berupa perhitungan puntiran kapal *container* bangunan baru,[8]. Penelitian tersebut membahas tentang perhitungan puntiran kapal dengan perhitungan momen puntir kapal menggunakan *rules* berbeda yaitu *rules* DNV-GL dan NK sebagai variasi penelitian. Penelitian serupa tentang puntiran kapal pada tahun yang sama juga ditemukan, yang mana membahas kekuatan puntir longitudinal kapal general cargo yang dimodifikasi menjadi kapal kontainer dengan perhitungan momen puntir statis dan momen puntir gelombang,[9].

Penelitian lain tentang puntiran kapal dengan menghitung kekuatan tekuk dan kekuatan puntir kapal dari model kapal skala yang dibandingkan dengan model kapal sebenarnya. Penelitian ini membuktikan bahwa perbandingan model skala dan model sebenarnya memiliki hasil serupa,[10]. Penelitian tentang puntiran kapal juga dilakukan dengan melakukan perhitungan kekuatan puntiran kapal *container* 10000 TEU,[11]. dimana mencari karakteristik kegagalan puntir pada kapal, kemudian mengetahui hubungan kekuatan puntir maksimum antara gelagar secara global dan gelagar tunggal.

Berdasarkan uraian diatas, penulis ingin melakukan penelitian mengenai kekuatan puntir pada kapal tongkang 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 kekuatan tegangan ijin material sesuai dengan aturan yang berlaku.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut: 1) Mengetahui tegangan maksimum puntiran kapal sesuai dengan aturan BKI. 2) Mengetahui nilai besaran puntiran pada Kapal Tongkang TK. Nelly-34. 3) Mengetahui perbandingan kekuatan puntiran Kapal Tongkang TK. Nelly-34 sebelum dan setelah mengalami konversi muatan.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan banyak manfaat dan wawasan mengenai puntiran yang terjadi pada kapal.

## 2. METODE

### 2.1. Objek Penelitian

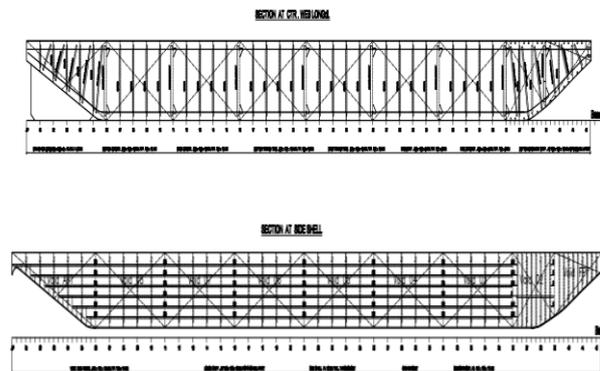
Kapal Tongkang TK. Nelly – 34 merupakan kapal milik perusahaan PT. Pelayaran Nelly Dwi Putri Tbk. Kapal ini semula merupakan kapal yang mengangkut muatan berupa batubara, namun dikarenakan permintaan *owner* atas dasar keterbutuhan dilapangan, maka muatan tersebut dikonversi menjadi muatan petikemas. Tidak ada perubahan berarti pada konstruksi kapal ini. Tipe konstruksi pada kapal TK. Nelly – 34 merupakan

konstruksi memanjang. Gambar 1 dan 2 menunjukkan gambar kapal TK Nelly dan *profile construction* dari kapal TK. Nelly-34. Berikut adalah data ukuran utama kapal TK. Nelly – 34 :

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



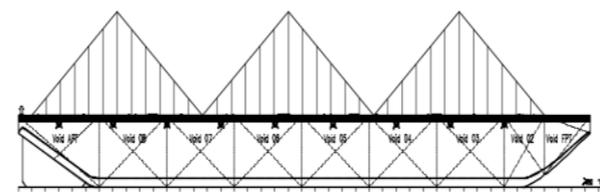
Gambar 1. Tongkang Nelly



Gambar 2. *Profile Construction* Kapal TK. Nelly 34

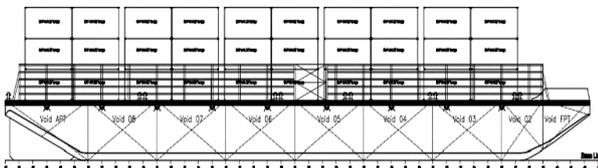
### 2.2. Pembebanan kapal

Kapal tongkang TK. Nelly – 34 sebelumnya digunakan untuk 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. Gambar 3 menunjukkan kondisi kapal pada saat memuat batubara.



Gambar 3. Beban Gunung Batubara

Kapal ini kemudian mengalami konversi muatan, muatan yang diangkat adalah peti kemas, dengan susunan muatan atau *stowage plan* pada gambar 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 4 menunjukkan kondisi kapal pada saat mengangkat muatan petikemas.



Gambar 4. Beban Peti Kemas TK. Nelly – 34

Penelitian ini memiliki 2 variasi pembebanan dan peletakkan *boundary condition*. Penelitian ini akan dilakukan dengan model kapal yang akan dibuat sepanjang 54 m atau sepanjang sekat buritan hingga sekat haluan. Peletakkan *boundary condition* pada penelitian ini, ada dua peneMPatan yaitu pada sekat midship dan sekat hauan kapal. Nilai beban yang digunakan untuk perhitungan momen puntir dari variasi beban ditunjukkan pada tabel 1 :

Tabel 1. Variasi Pembebanan Pada Model Kapal

Jenis Muatan	Jumlah Muatan	Berat (ton)
Peti kemas	98 peti kemas	2352 ton
Batubara	1,8 gunungan	2463 ton

### 2.3. Puntiran

Puntiran terjadi akibat adanya gaya yang bekerja berlawanan arah terhadap kedua ujungnya,[12]. Untuk menghitung tegangan ( $\tau_{max}$ ) pada benda berongga adalah :

$$T = \frac{Tc}{Ip} \quad (1)$$

Dimana,;

T = Momen Torsi (Nm/Nmm)

Tc = Jarak Lengan Dari pusat Sumbu (Jari-jari) (m/mm)

Ip = Inersia (m<sup>4</sup>/mm<sup>4</sup>)

Perhitungan inersia sendiri dibedakan menjadi dua jenis yaitu inersia pada benda pejal dan benda berongga.

### 2.4. Puntiran pada kapal

Puntiran terjadi akibat adanya gaya yang bekerja berlawanan arah terhadap kedua ujung

benda tersebut,[13]. Puntiran pada kapal terjadi akibat peletakkan barang yang tidak simetris terhadap bidang centre line, akibat kesalahan peletakkan beban atau kekuatan ombak yang berasal dari laut, [14].

Perhitungan momen puntir kapal didapatkan dari rules BKI Rules for Hull vol. II 2019, dimana merupakan rumus perhitungan momen puntir maksimum yang mungkin terjadi pada kapal,[15]. Berikut perhitungan momen tersebut :

$$MWT = L \cdot B^2 \cdot C_b \cdot C_o \cdot C_l \cdot [0,11 + (\sqrt{a^2 + 0,012})] \quad (2)$$

$$a = \{\sqrt{(T/L)}\} * (C_n \cdot Zq/B) \quad (3)$$

$$C_n = [1 + 0,15 L/B] \quad (4)$$

Zq = Jarak antara shear centre dengan (0,2BxH/T) dari double bottom.

### 2.5. Perhitungan Momen puntir kapal

Perhitungan momen puntir kapal dibagi menjadi dua. Perhitungan yang menjadi fokus penelitian ini, yakni perhitungan berdasarkan beban dari muatan berupa peti kemas dan muatan batubara. Adapun perhitungan momen puntir masing-masing beban yang ada menggunakan persamaan (2), sebagai berikut :

$$L = 54 \text{ m}$$

$$B = 21,34 \text{ m}$$

$$H = 4,88 \text{ m}$$

$$T = 4,1 \text{ m}$$

$$C_b = 0,89$$

$$C_o = 6,26$$

$$C_l = 0,424$$

$$a = \{\sqrt{(T/L)}\} * (C_n \cdot Zq/B) \\ = \{\sqrt{(4,1/54)}\} * (1,38 \cdot 0,9/21,34) \\ = 0,383$$

$$C_n = [1 + 0,15 \cdot L/B] \\ = [1 + 0,15 \cdot 54/21,34] \\ = 1,38$$

$$Zq = 0,9$$

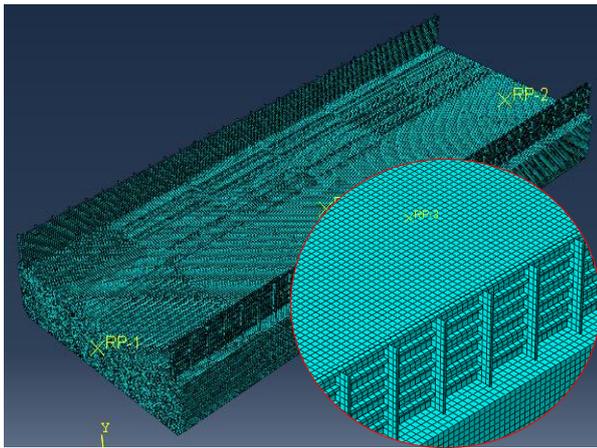
$$MWT = \\ = (54) \cdot (21,34^2) \cdot (0,89) \cdot (6,26) \cdot (0,424) \\ \cdot [0,11 + (\sqrt{0,38 + 0,012})] \cdot (9,8067) \\ = 17231,0891 \text{ kNm} \\ = 17231089,1 \text{ Nm}$$

### 2.6. Pembuatan Model dan Meshing

Permasalahan-permasalahan *engineering* dapat diselesaikan dengan berbagai cara, salah satu cara penyelesaiannya yakni dengan menggunakan metode elemen hingga yang menggunakan perhitungan numerik, [16]. Pada penelitian ini,

konstruksi yang dimodelkan yakni *cargohold* (ruang muat) sepanjang 54 m atau sepanjang sekat haluan hingga sekat buritan dikarenakan pada bagian kapal tersebut merupakan titik kritis, sedangkan pertimbangan lain dilakukan untuk mempermudah pemodelan.

Pemodelan kapal menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software Abaqus Cae* sehingga menjadi *multi degree of freedom system*. Pada tahap pertama dalam metode ini berupa pembuatan model atau objek benda sesuai geometri dengan data gambar konstruksi kapal yang ada. Tahap kedua yakni melakukan proses *meshing* dengan menggunakan elemen 2D. Proses *meshing* pada model dengan membuat ukuran elemen sebesar 0.2 m dengan total 186532 elemen. Gambar 5 menunjukkan hasil proses *meshing* model *cargo hold* kapal TK. Nelly-34.



Gambar 5. Geometri *Hull* Kapal Setelah Proses *Meshing*.

## 2.7. Pendefinisian Material

Kapal TK. Nelly 34 menggunakan jenis material kapal berupa material baja standar BKI dengan notasi KI-A36. material tersebut yang juga didefinisikan ada model. Dengan nilai sebagai berikut.

<i>Modulus Elastisity</i>	= 200 Gpa
<i>Shear Modulus</i>	= 79,3 Gpa
<i>Poisson Ratio</i>	= 0,26
<i>Density</i>	= 7850 kg/m <sup>3</sup>
<i>Yield</i>	= 250 MPa
<i>Ultimate Stress</i>	= 400 MPa

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Penentuan *Boundary Condition*

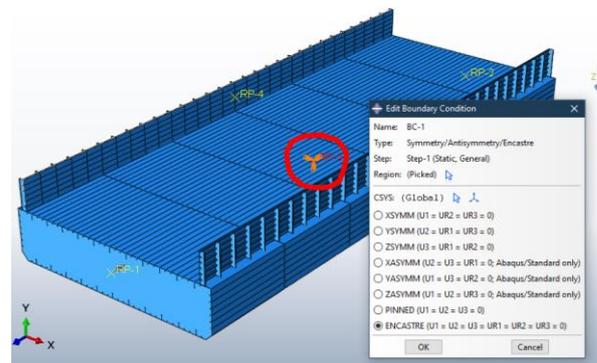
Pembuatan model kapal dalam *software* harus selesai terlebih dahulu kemudian langkah selanjutnya menentukan *boundary condition* yang akan digunakan sebagai tumpuan *fix* (tranlasi dan rotasi sumbu *x,y,z fix*). Peletakan *boundary*

*condition* berada di *midship* kapal dan juga pada ujung sekat haluan kapal. Elemen di kedua sekat, yaitu sekat buritan dan sekat buritan kapal juga dibuat rigid. Dalam hal ini kita melakukan analisa linier statis, maka kita asumsikan ketika kapal atau model diberi beban maksimal dalam keadaan diam dilaut.

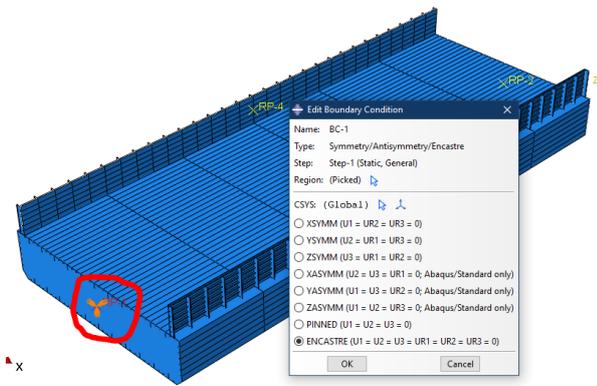
Tabel 2. *Boundary condition*.

Kondisi	Sumbu X	Translasi Sumbu Y	Sumbu Z
Titik Independen pada Ujung Belakang	Fix	Fix	Fix
Titik Independen pada Ujung Depan	Fix	Fix	Fix

Penentuan *boundary condition* sangat mempengaruhi proses *finite element* terutama pada struktur kapal. *Boundary condition* didefinisikan pada sekat *midship* kapal. Keterangan 'fix' pada Tabel 2 menunjukkan bahwa sumbu tersebut terkunci. Hasil analisis akan sangat dipengaruhi oleh penentuan peletakan *boundary condition*. Berikut peletakan *boundary condition* pada *software Abaqus CAE*. Gambar 6 dan 7 menunjukkan letak posisi *boundary condition* pada model kapal.



Gambar 6. *Boundary condition* pada posisi sekat *midship*

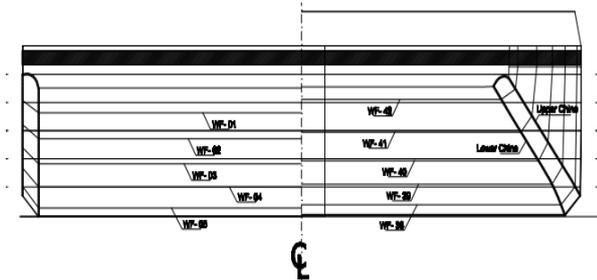


Gambar 7. *Boundary condition* pada posisi sekat buritan

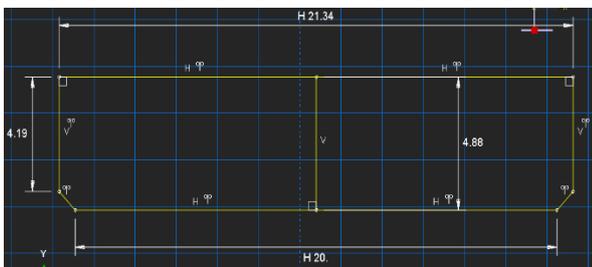
### 3.2. Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk mengetahui tingkat keakuratan dari sebuah geometri *finite element* yang telah dibuat sebelumnya. Salah satu metode yang bisa dilakukan yaitu dengan menyesuaikan geometri kapal yang sesungguhnya dengan geometri model kapal pada *software FEA*.

Gambar 8 dan 9 menunjukkan bahwa pembuatan model telah menyesuaikan data ukuran utama kapal yang ada serta adanya penambahan ukuran profil yang juga telah disesuaikan. Tabel 3 menjelaskan persamaan ukuran pada model dan data ukuran kapal.



Gambar 8. *Lines plan* kapal TK. Nelly-34



Gambar 9. Sketsa *body plan* *cargohold* dalam *software FEA* kapal TK. Nelly-34

Berikut data yang disesuaikan antara model dan data ukuran yang sesungguhnya :

Data	Kapal	Model
<b>Panjang cargo hold</b>	54 m	54 m
<b>Lebar kapal</b>	21.34 m	21.34 m
<b>Tinggi geladak</b>	4.88 m	4.88 m

#### a. Perhitungan Analitik

Perhitungan secara analitik yaitu dengan menggunakan pendekatan rumus defleksi mekanika teknik. Adapun rumus perhitungan defleksi yaitu sebagai berikut.

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

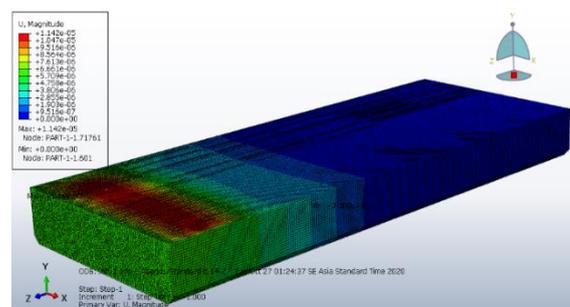
F yaitu *Force* (N), L adalah Panjang model (mm), E adalah Modulus Elastisitas (MPa) dan I adalah Inersia (mm<sup>4</sup>). Sehingga hasil perhitungannya yaitu sebagai berikut.

$$= \frac{1000 \times 27000^3}{3 \times 200000 \times 2754942198322}$$

$$= 0,01191 \text{ mm.}$$

#### b. Perhitungan Software

Perhitungan *software* yaitu perhitungan yang dibantu oleh *FEA software*, dengan penginputan sesuai dengan data asli guna mendapatkan nilai deformasi dengan pendekatan *FEA software*. Gambar 10 merupakan hasil perhitungan *software* untuk defleksi pada model.



Gambar 10. Perhitungan *Software* pada model kapal

Perhitungan *software* dilakukan dengan bantuan *software Abaqus CAE*, sesuai dengan model yang telah dibuat. Adapun hasil defleksinya yaitu 0,01142 mm.

Tabel 4. Hasil Validasi.

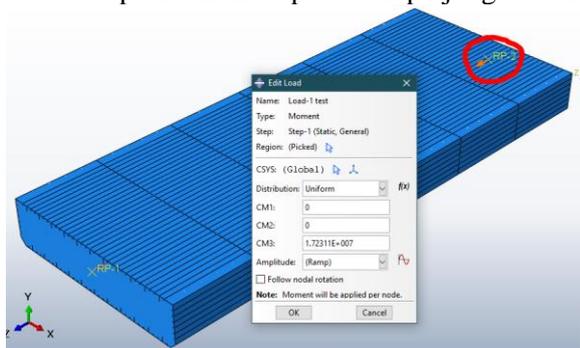
Hasil Analitik	Hasil Numerik	Error
0,01191 mm	0,01142 mm	4,1114 %

Berdasarkan hasil perbandingan antara perhitungan analitik dengan numerik diatas, didapatkan persentase *error* sebesar 4,114 %. Model sudah dikatakan tervalidasi, karena persentase *error* masih dibawah 10 %.

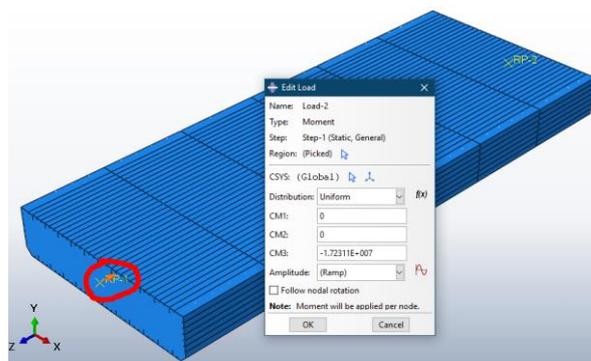
### 3.3. Peletakan Momen Puntir Pada Model

Data perhitungan momen puntir kapal yang didapatkan dari 2 variasi pembebanan dan variasi peletakan *boundary condition*, selanjutnya nilai momen akan diletakan pada ujung sekat buritan dan haluan. Peletakan momen untuk kedua ujung akan memiliki arah berbeda guna mendapatkan simulasi puntiran pada model kapal. Berikut peletakan momen pada model dalam *software Abaqus CAE* :

- a. Peletakan momen puntir kapal pada kondisi muatan Batubara terdapat 2 posisi yaitu pada sekat haluan dan sekat buritan. Nilai momen puntir yang diberikan sebesar  $\pm 17231089,1$  Nm untuk masing-masing titik. Gambar 11 dan 12 menunjukkan letak penempatan posisi momen pada setiap ujung model.

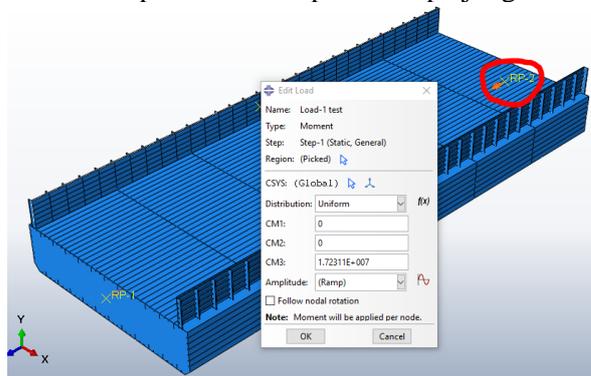


Gambar 11. Peletakan momen puntir pada posisi sekat haluan

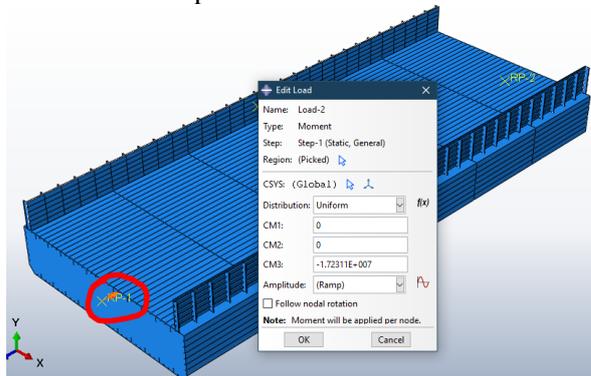


Gambar 12. Peletakan momen puntir kapal pada posisi sekat buritan

- b. Peletakan momen puntir kapal pada kondisi muatan Peti kemas terdapat 2 posisi yaitu pada sekat haluan dan sekat buritan. Nilai momen puntir yang diberikan sebesar  $\pm 17231089,1$  Nm untuk masing-masing titik. Gambar 13 dan 14 menunjukkan letak penempatan posisi momen pada setiap ujung model.



Gambar 13. Peletakan momen puntir kapal pada posisi sekat haluan



Gambar 14. Peletakan momen puntir kapal pada sekat buritan

### 3.4. Hasil Analisis Kondisi I

Kondisi I diasumsikan ketika kapal sedang memuat batubara dengan beban 2463 ton atau sekitar 1,8 gunung batubara. Variasi yang dilakukan adalah peletakan boundary condition. Peletakan *boundary condition* kondisi 1 diletakan pada posisi sekat buritan model.

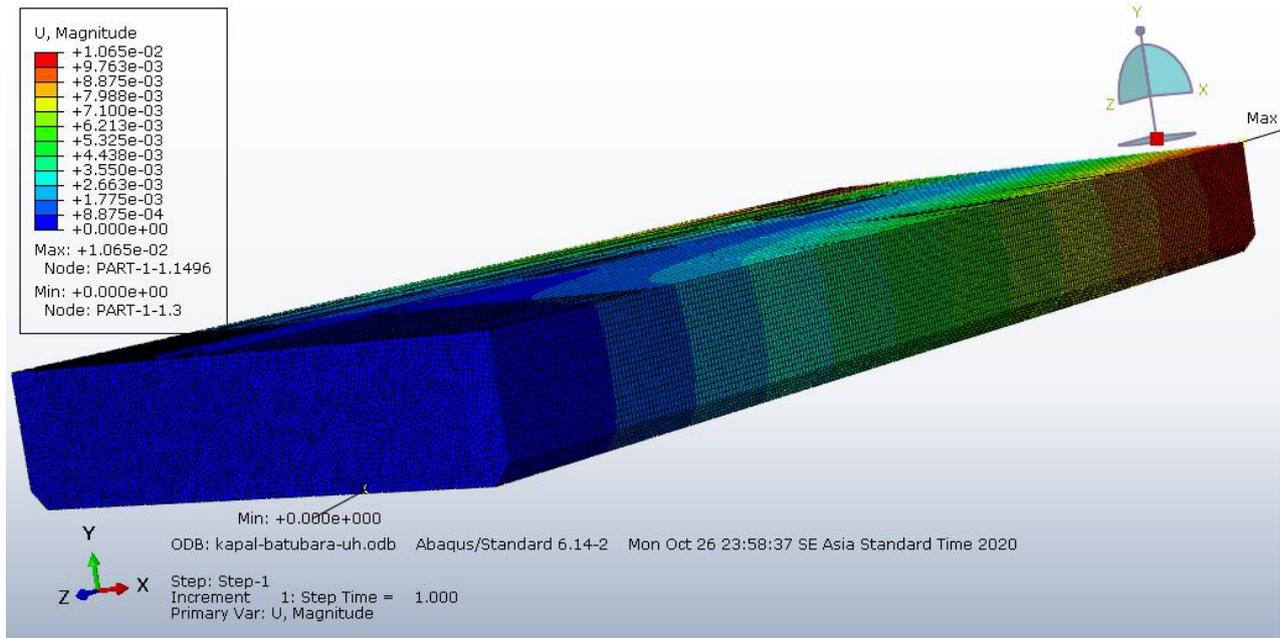
#### b. Distribusi Tegangan

Persebaran tegangan yang terjadi beserta nilai tegangan ditunjukkan pada gambar 16 . Tegangan maksimal terjadi pada ujung frame

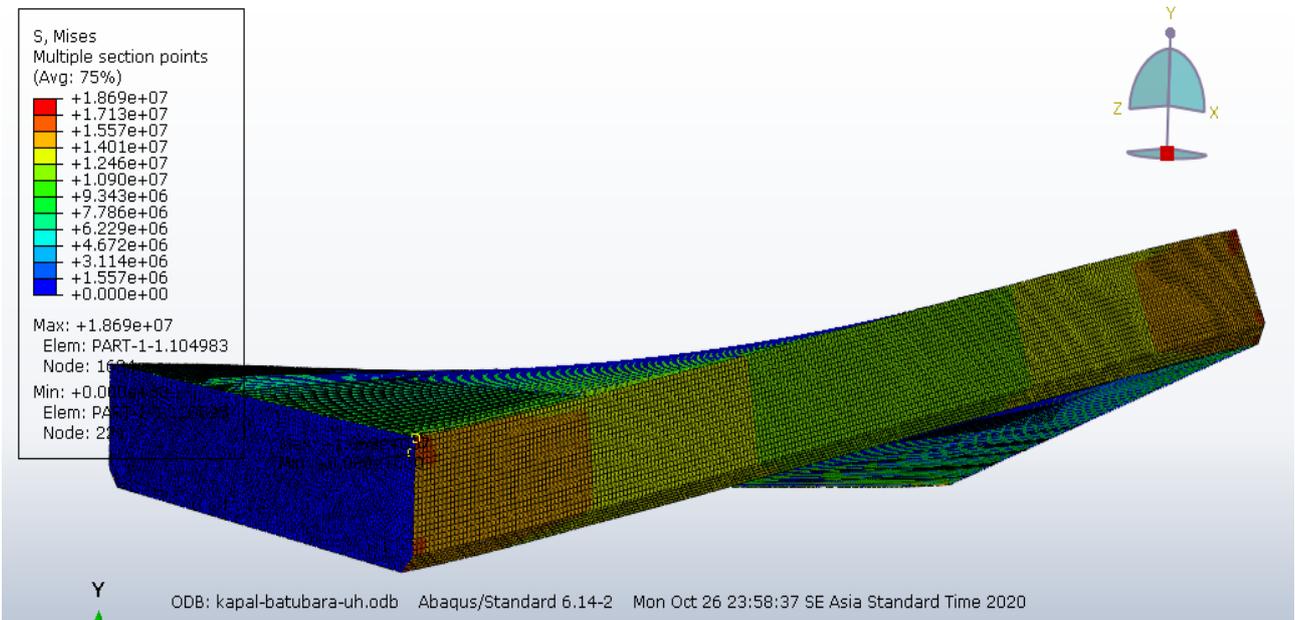
#### a. Defleksi

Persebaran defleksi yang terjadi dan nilai defleksi ditunjukkan pada gambar 15 . Defleksi maksimal terjadi pada kapal tongkang TK. Nelly-34 bagian *frame* 36 tepatnya sisi sekat haluan badan kapal pada *node* 1496 dengan nilai  $1,065 \times 10^{-2}$  m .

36 tepatnya pada ujung sekat haluan dan ujung haluan badan kapal pada *node* 1684 dengan nilai sebesar 18,69 MPa.



Gambar 15. Defleksi Kondisi I



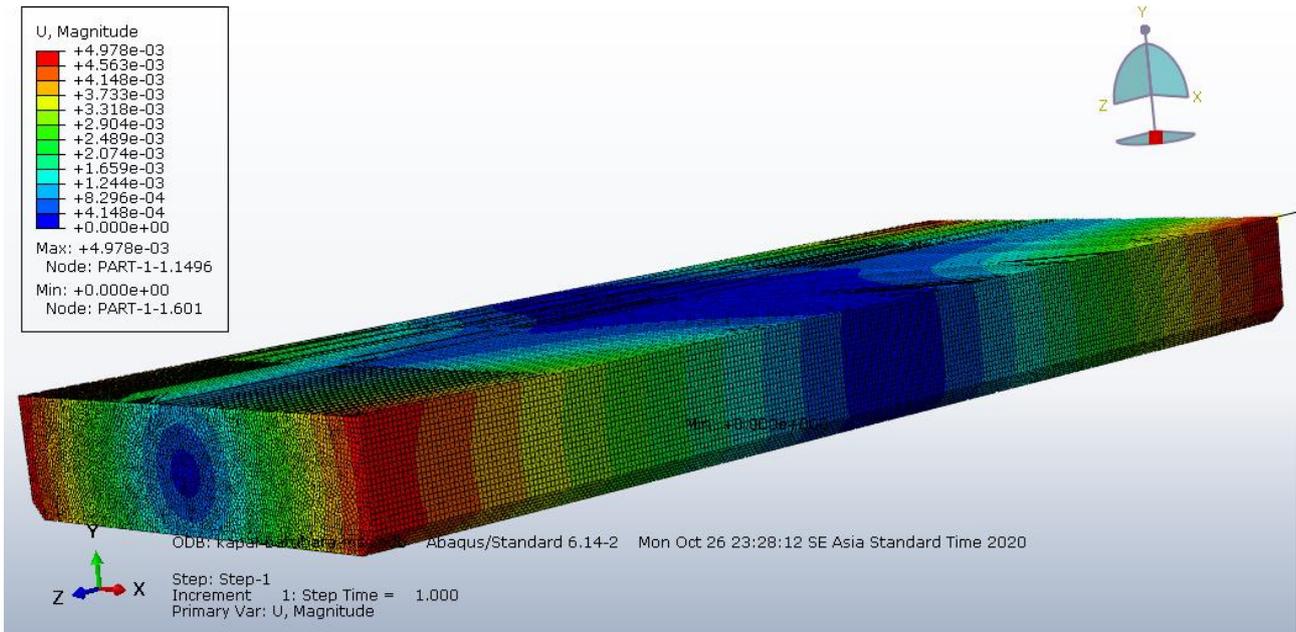
Gambar 16. Distribusi Tegangan Kondisi I.

### 3.5. Hasil Analisis Kondisi II

Kondisi II diasumsikan ketika kapal sedang memuat batubara dengan beban 2463 ton atau sekitar 1,8 gunung batubara. Variasi yang dilakukan adalah peletakan boundary condition. Peletakan *boundary condition* kondisi II diletakan pada posisi sekat *midship* model.

#### a. Defleksi

Persebaran defleksi yang terjadi dan nilai defleksi ditunjukkan pada gambar 17. Defleksi

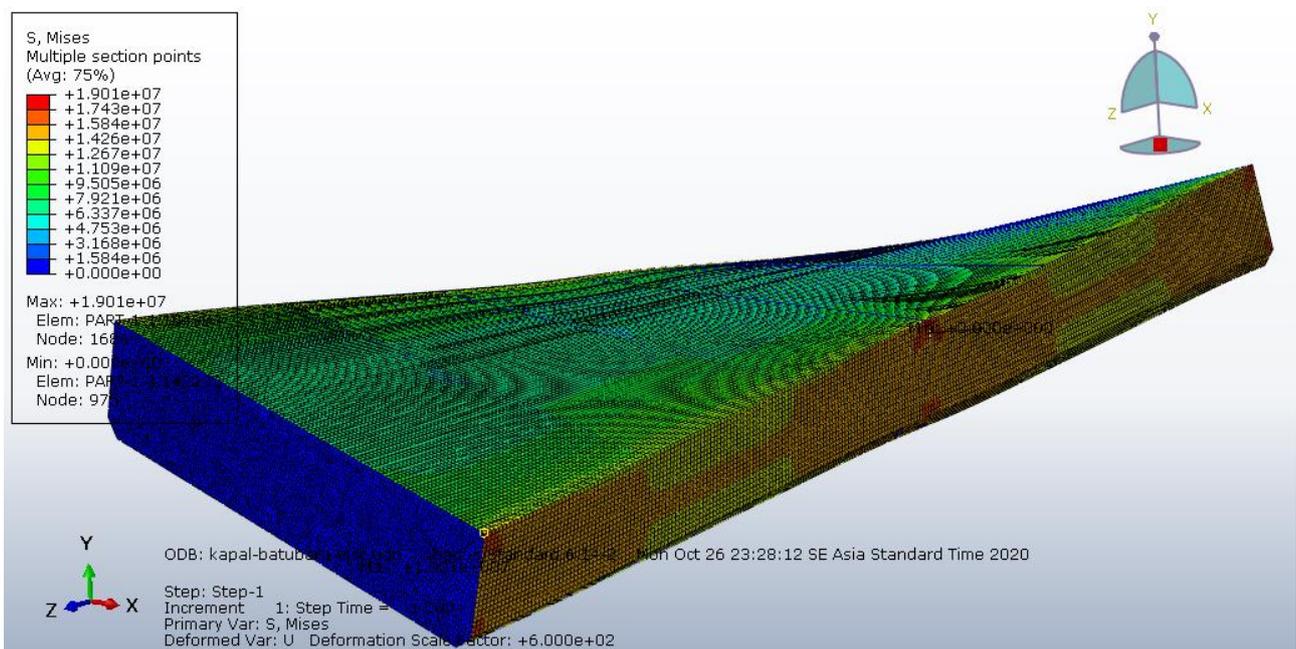


Gambar 17. Defleksi Kondisi II.

maksimal terjadi pada kapal tongkang TK. Nelly-34 bagian *frame* 6 tepatnya sisi sekat buritan badan kapal pada *node* 1496 dengan nilai  $4,978 \times 10^{-3}$  m .

#### b. Distribusi Tegangan

Persebaran tegangan yang terjadi beserta nilai tegangan ditunjukkan pada gambar 18 . Tegangan maksimal terjadi pada ujung *frame* 36 tepatnya pada ujung sekat haluan dan ujung haluan badan kapal pada *node* 1684 dengan nilai sebesar 19,01 Mpa.



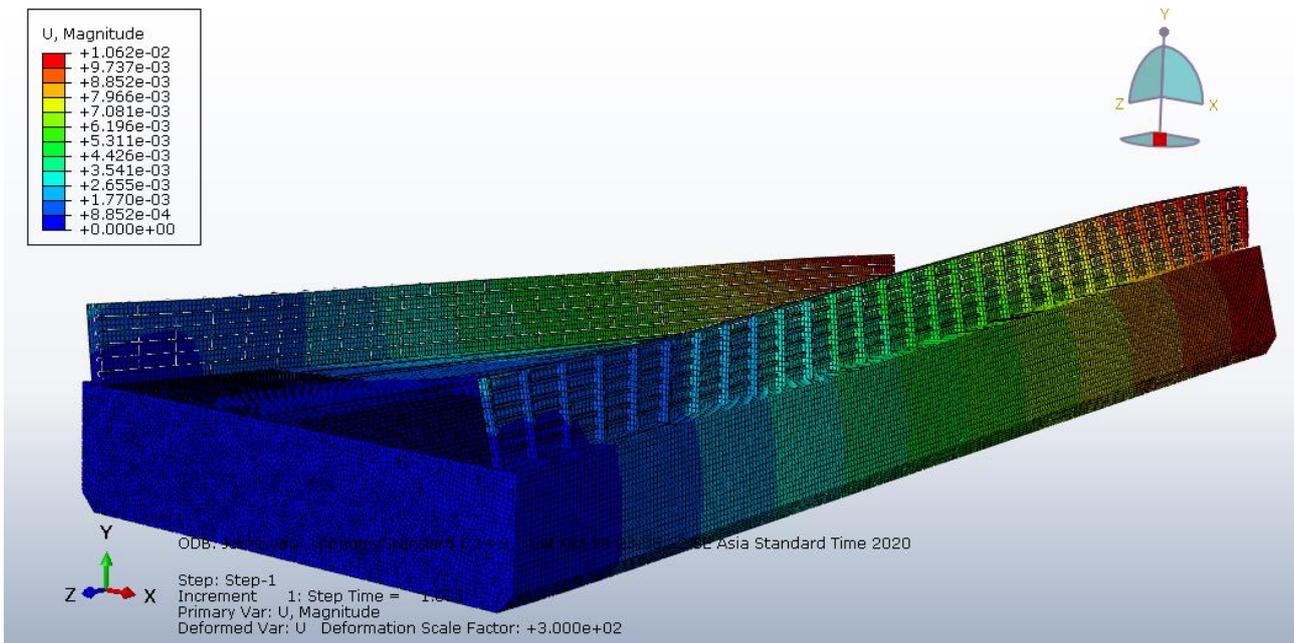
Gambar 18. Distribusi Tegangan Kondisi

### 3.6. Hasil Analisis Kondisi III

Kondisi III diasumsikan ketika kapal sedang memuat peti kemas dengan beban 98 *container* atau 2358 ton beban. Variasi yang dilakukan adalah peletakan *boundary condition*. Peletakan *boundary condition* kondisi III diletakan pada posisi sekat buritan model.

#### a. Defleksi

Persebaran defleksi yang terjadi beserta nilai defleksi terdapat pada gambar 19 .

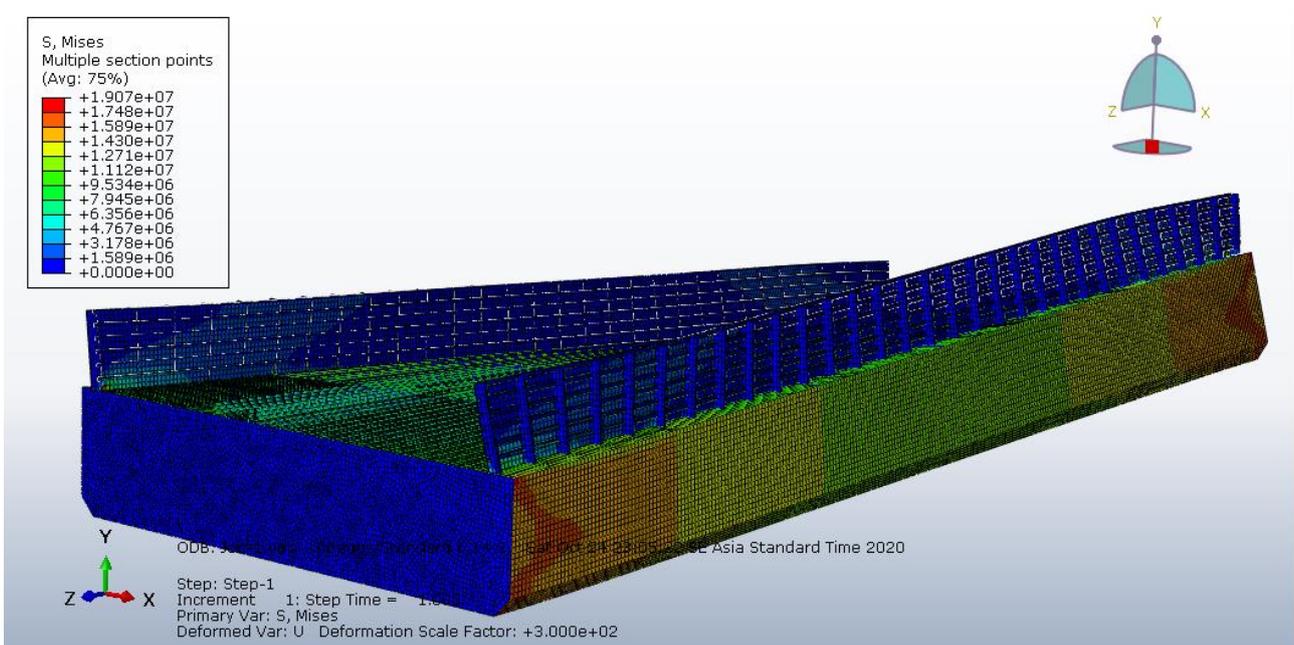


Gambar 19. Defleksi Kondisi III.

Defleksi maksimal terjadi pada kapal tongkang TK. Nelly-34 bagian *frame 6* tepatnya sisi sekat buritan badan kapal pada *node 1496* dengan nilai  $1,062 \times 10^{-2}$  m .

#### b. Distribusi Tegangan

Persebaran tegangan yang terjadi beserta nilai tegangan ditunjukkan pada gambar 20 . Tegangan maksimal terjadi pada ujung *frame 36* tepatnya pada ujung sekat haluan dan ujung haluan badan kapal pada *node 765* dengan nilai sebesar 19,07 MPa.



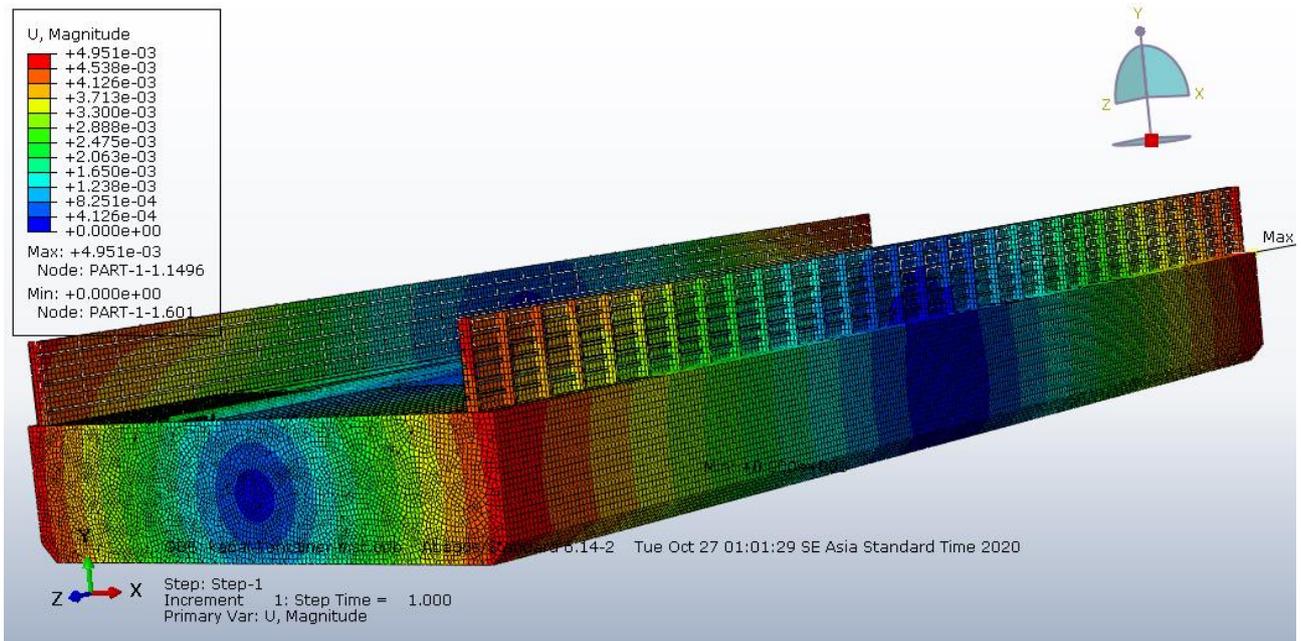
Gambar 20. Distribusi Tegangan Kondisi III.

### 3.7. Hasil Analisis Kondisi IV

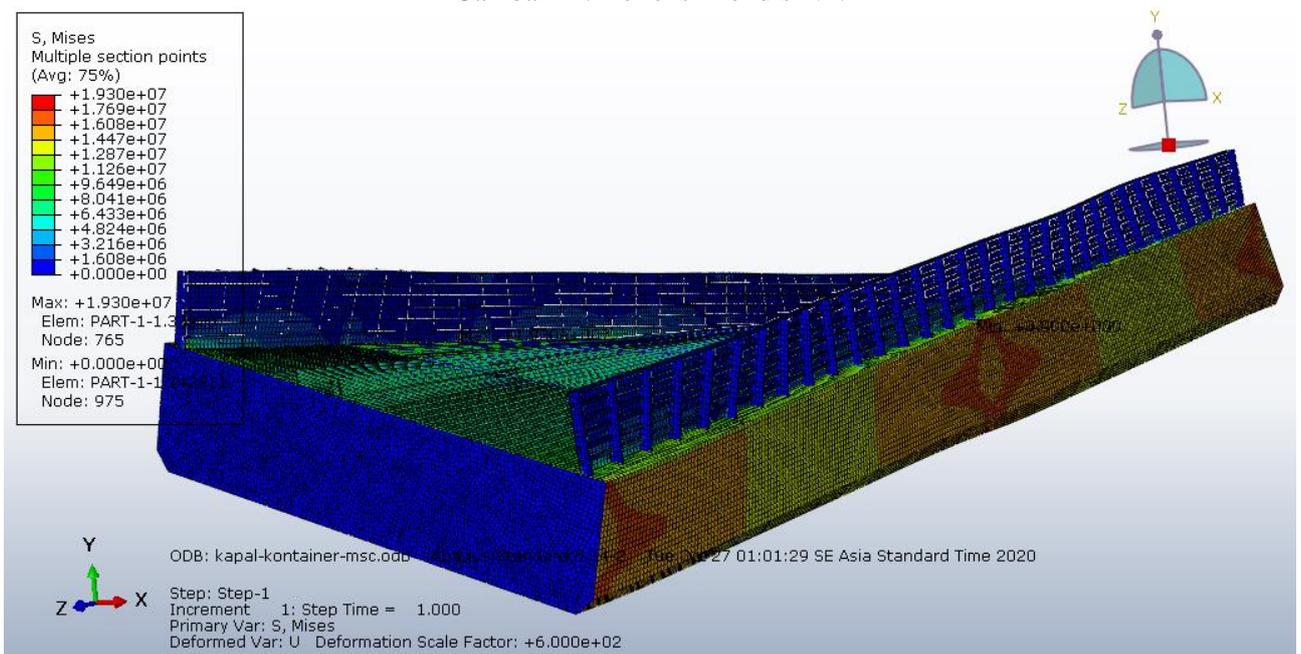
Kondisi IV diasumsikan ketika kapal sedang memuat peti kemas dengan beban 98 *container* atau 2358 ton beban. Variasi yang dilakukan adalah peletakan *boundary condition*. Peletakan *boundary condition* kondisi IV diletakan pada posisi sekat *midship* model.

#### a. Defleksi

Persebaran defleksi yang terjadi beserta nilai defleksi terdapat pada gambar 21 . Defleksi maksimal terjadi pada kapal tongkang TK. Nelly-34 bagian *frame 6*



Gambar 21. Defleksi Kondisi VI.



Gambar 22. Distribusi Tegangan Kondisi VI.

tepatnya sisi sekat buritan badan kapal pada *node* 1496 dengan nilai  $4,951 \times 10^{-2}$  m .

#### b. Distribusi Tegangan

Persebaran tegangan yang terjadi beserta nilai tegangan ditunjukkan pada gambar 22 . Tegangan maksimal terjadi pada ujung *frame* 36 tepatnya pada ujung sekat haluan kapal pada *node* 765 dengan nilai sebesar 19,30 MPa.

### 3.8. Perbandingan Hasil Analisis Struktur

Tabel 5. Rangkuman Hasil Analisis.

No	Jenis Kondisi	$\sigma$ maks (N/m)	$\delta$ maks (m)
1	Kondisi I	$1,836 \times 10^7$	$1,065 \times 10^{-2}$
2	Kondisi II	$1,901 \times 10^7$	$4,978 \times 10^{-3}$
3	Kondisi III	$1,907 \times 10^7$	$1,062 \times 10^{-2}$
4	Kondisi IV	$1,930 \times 10^7$	$4,951 \times 10^{-3}$

Tabel 5 diatas merupakan rangkuman hasil analisis semua kondisi. Kekuatan tegangan terbesar terjadi pada kondisi IV, yaitu ketika kapal sedang kondisi muatan Petikemas, yang bernilai  $1,930 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup> atau 19,30 MPa, kemudian defleksi terbesar terjadi pada kondisi I, dengan nilai  $1,065 \times 10^{-2}$  m atau 0,01065 m. Kondisi I, yaitu ketika kapal kondisi muatan batubara tegangan yang dihasilkan sebesar  $1,836 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup> atau 18,36 MPa menjadi tegangan maksimal terkecil diantara 4 kondisi yang lain. Defleksi maksimal yang terjadi dengan nilai sebesar  $1,065 \times 10^{-2}$  m atau 1,650 cm yaitu pada kondisi I. Defleksi maksimal kondisi I dengan nilai sebesar  $4,951 \times 10^{-3}$  m atau 0,4951 cm menjadi defleksi maksimal terkecil dibanding 4 kondisi lainnya.

### 3.9. Pengecekan Kekuatan material

Pengecekan dilakukan dengan cara membandingkan tegangan maksimal dengan tegangan ijin material sesuai aturan atau regulasi Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Dalam tabel 4 telah dirangkum perbandingan kekuatan material dengan regulasi BKI yang berlaku dibawah ini.

Tabel 6. Tegangan ijin

No	Jenis Kondisi	$\sigma$ maks (MPa)	$\Sigma$ ijin (MPa)	Status
1	Kondisi I	18,36	235	Memenuhi
2	Kondisi II	19,01	235	Memenuhi
3	Kondisi III	19,07	235	Memenuhi
4	Kondisi IV	19,30	235	Memenuhi

Tegangan ijin maksimal material sesuai pada BKI Volume II Section 2 sebesar 235 MPa. Pada tabel diatas, dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa model kapal tongkang TK. Nelly 34 yang melakukan konversi muatan dari batubara menjadi *container* telah memenuhi persyaratan regulasi klasifikasi yang berlaku dalam hal ini BKI.

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis perhitungan kekuatan puntiran konstruksi pada model *cargo hold* kapal tongkang TK. Nelly 34 akibat konversi muatan dari batubara menjadi *container* pada 4 kondisi kapal yang telah dilakukan didapatkan hasil kekuatan

tegangan paling maksimum terjadi pada saat kondisi IV, kapal tongkang sedang membawa muatan petikemas dan peletakan *boundary condition* diletakan pada sekat *midship*. Tegangan yang dihasilkan sebesar  $1,930 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup> atau 19,30 MPa, terjadi pada ujung frame 36 tepatnya pada ujung sekat haluan.

Kondisi I muatan batu bara dengan peletakan *boundary condition* pada sekat buritan, yaitu ketika kapal kondisi muatan batubara tegangan yang dihasilkan sebesar  $1,836 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup> atau 18,36 MPa menjadi tegangan maksimal terkecil diantara 4 kondisi yang lain.

Defleksi maksimal yang terjadi dengan nilai sebesar  $1,065 \times 10^{-2}$  m atau 1,650 cm yaitu pada kondisi I yang memuat beban batu bara dengan peletakan *boundary condition* disekat buritan. Defleksi maksimal kondisi IV yang memuat peti kemas dengan peletakan *boundary condition* pada sekat *midship* dengan nilai sebesar  $4,951 \times 10^{-3}$  m atau 0,4951 cm menjadi defleksi maksimal terkecil dibanding 4 kondisi lainnya.

Dari hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa kriteria kekuatan tongkang sudah memenuhi kriteria kekuatan regulasi BKI dan untuk muatan peti kemas menghasilkan defleksi yang lebih kecil dibandingkan muatan sebelumnya yaitu batubara. Kemudian konversi muatan yang dilakukan dari batubara menjadi *container* masih dalam kriteria regulasi BKI.

## 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 Dosen pembimbing 1 dan Dosen pembimbing 2, serta rekan-rekan yang sudah membantu dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Priyanda, A. Santoso, and Amiadji, "Kajian Teknis Perubahan Kapal Tongkang Menjadi Kapal *Container* Untuk Mendukung Percepatan Tol laut," no. August, 2016.
- [2] A. Ostapenko and Y. Chen, "Maximum Strength Of Ship Hulls," 1982.
- [3] C. Deley, *Engineering 5003 – Ship Structures I*. St. John's, 2015.
- [4] J. K. Paik, A. K. Thayamballi, P. T. Pedersen, and Y. Il Park, "Ultimate strength of ship hulls under torsion," *Ocean Eng.*, vol. 28, no. 8, pp. 1097–1133, 2001.
- [5] A. Mathai, G. J. P, and M. J. Jin, "Ultimate Torsional Strength Analysis of Container

- Ship,” Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 3, pp. 512–518, 2013.
- [6] H. Sun and C. G. Soares, “An experimental study of ultimate torsional strength of a ship-type hull girder with a large deck opening,” *Mar. Struct.*, vol. 16, pp. 51–67, 2003.
- [7] K. Iijima, T. Shigemi, R. Miyake, and A. Kumano, “A practical method for torsional strength assessment of container ship structures,” *Mar. Struct.*, vol. 17, no. 5, pp. 355–384, 2004.
- [8] R. B. Daichi, A. F. Zakki, and G. Rindo, “Studi Kasus Puntiran Pada Konstruksi Bangunan Baru Kapal Kontainer Sunship Eurocoaster,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 4, 2017.
- [9] Irwan, G. Sitepu, and Hamzah, “Analisis Kekuatan Puntiran *Longitudinal* Kapal Yang Dimodifikasi Dari *General Cargo* Ke Kontainer,” FT Universitas Hasanuddin, 2017.
- [10] C. Wang, J. Wu, and D. Wang, “Design similar scale model of a 10,000 TEU container ship through combined ultimate longitudinal bending and torsion analysis,” *Appl. Ocean Res.*, vol. 88, pp. 1–14, 2019.
- [11] Q. Wang, C. Wang, J. Wu, and D. Wang, “Investigations on the torsional failure characteristics of the global hull,” vol. 198, 2019.
- [12] E.P. Popov, *Mechanics of materials*, vol. 18, no. 1. 2010.
- [13] Suparmin, “Analisis Perilaku Torsi Pada Penampang Sirkular , Non Sirkular , *Open Section* , Dan Tubular,” Politeknik Negeri Medan, vol. 4, no. 1, pp. 275–279, 2005.
- [14] J. S. Wu and C. Sen Ho, “Analysis of Wave-Induced Horizontal-and-Torsion-Coupled Vibrations of a Ship Hull.,” *J. Sh. Res.*, vol. 31, no. 4, pp. 235–252, 1987.
- [15] B. K. Indonesia, *Rules for Hull (Pt.1, Vol.II) 2019 ed.*, vol. II. 2019.
- [16] A. F. Zakki, *Metode Elemen Hingga*. 2014.