



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Studi Kasus Puntiran Pada Konstruksi Bangunan Baru Kapal Kontainer Sunship Eurocoaster

Rogit Billy Daichi¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki¹⁾, Good Rindo¹⁾

¹⁾ Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: billydaichi@gmail.com

Abstrak

Indonesia memiliki wilayah perairan yang sangat luas yaitu luas laut kedaulatan 3,1 juta km², dan luas laut ZEE (Zona Ekonomi Eksklusif) 2,7 juta km². Kapal adalah alat transportasi yang digunakan di laut untuk mengangkut barang ke berbagai pulau dan negara. Kemudian muncul kapal kontainer sebagai pengangkut muatan yang terkemas pada peti-peti kemas. Kapal ini mempunyai bukaan palkah yang lebar, maka harus diperhatikan besar tegangan kapal saat kapal berlayar. Puntiran terjadi akibat adanya gaya yang bekerja berlawanan arah terhadap kedua ujungnya. Dalam Pelayarannya kapal mengalami puntiran. Puntiran pada kapal terjadi akibat peletakan barang yang tidak simetris terhadap bidang centre line, hal ini berpengaruh pada kekuatan kapal, maka dari itu Konstruksi kapal dibuat sedemikian rupa sehingga barang yang ada didalamnya terjamin keamanan dari kerusakan dan lain-lain. Kapal yang diteliti adalah kapal kontainer bangunan baru Sunship Eurocoaster dan belum terdapat rules tentang puntiran pada BKI. Hasil analisa menggunakan program berbasis Metode Elemen Hingga. Dengan menggunakan Rules Germanischer Lloyd didapatkan tegangan maksimum (*von misse*) sebesar $3,12 \times 10^8$ N/m² pada respon I, $2,87 \times 10^8$ N/m² pada respon II, $2,48 \times 10^8$ N/m² pada respon III dan deformasi sebesar $9,62 \times 10^{-2}$ m pada respon I, $2,12 \times 10^{-1}$ m pada respon II, $3,11 \times 10^{-1}$ m pada respon III. Dengan menggunakan Rules Nippon Kaiji Kyokai didapatkan Tegangan maksimal (*von misse*) sebesar $2,99 \times 10^8$ N/m² terjadi pada respon I, $2,75 \times 10^8$ N/m² pada respon II, $2,37 \times 10^8$ N/m² pada respon III dan deformasi sebesar $9,20 \times 10^{-2}$ m pada respon I, $2,03 \times 10^{-1}$ m pada respon II, $2,97 \times 10^{-1}$ m pada respon III.

Kata Kunci : kapal kontainer, puntiran, *von misse*, deformasi, BKI, Germanischer Lloyd, Nippon Kaiji Kyokai, metode elemen hingga

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki wilayah perairan yang sangat luas yaitu luas laut kedaulatan 3,1 juta km², dan luas laut ZEE (Zona Ekonomi Eksklusif) 2,7 juta km². Alat transportasi yang digunakan untuk melewati perairan tersebut maka dibutuhkan kapal, oleh karena itu peranan kapal sangatlah penting. Kapal adalah alat transportasi yang digunakan di laut dengan alat penggerak berupa tenaga mesin, tenaga manusia, dan bantuan alam.

Kapal yang dimaksud mengangkut barang yang sudah diatur di dalam peti-peti(kontainer). Muatan peti kemas disamping didalam palkah juga diletakkan diatas dek dengan pengikatan yang kuat,

sehingga petikemas tersebut tidak bergeser dari tempatnya semula pada saat berlayar.

Dengan adanya lebar palkah kapal yang sangat besar, maka harus diperhatikan besar tegangan kapal saat kapal berlayar. Dalam Pelayarannya kapal mengalami puntiran. Puntiran pada kapal terjadi akibat peletakan barang yang tidak simetris terhadap bidang centre line, hal ini berpengaruh pada kekuatan kapal

Harapannya dengan penelitian puntiran kapal ini dapat menjadi acuan dalam menentukan kekuatan struktur kapal kontainer.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sejarah Kapal Kontainer.

Penggunaan Kontainer secara terencana dimulai pada tahun 1955. Saat itu, Malcom P. McLean, seorang pengusaha angkutan truk dari North Carolina, Amerika Serikat, membeli dan mengubah sebuah kapal tanker sisa Perang Dunia II sehingga mampu mengangkut Kontainer. Kapal yang diberi nama Ideal X tersebut digunakan untuk mengangkut seluruh truk trailer berikut seluruh muatan di dalamnya. Memindahkan Peti Kemas dari kendaraan langsung ke kapal tanpa terlebih dahulu harus membongkar isinya, merupakan cara yang lebih sederhana dan lebih cepat.

Ide Malcom didasarkan pada teori bahwa efisiensi dapat ditingkatkan melalui konsep "intermodalism", yaitu wadah yang sama, dengan isi muatan yang sama, dapat diangkut oleh moda angkutan yang berbeda-beda, seperti kapal, truk dan kereta api. Cara ini menyederhanakan dan mempercepat proses logistik secara keseluruhan. Dan, selanjutnya, penerapan "Intermodalism" atau pengangkutan antar moda menjadi kunci tumbuh pesatnya industri transportasi barang dan perdagangan internasional, seperti yang kita saksikan sekarang

2.2. Kapal Kontainer

Kapal yang digunakan untuk mengangkut barang yang sudah diatur di dalam peti-peti. Muatan peti kemas disamping didalam palkah juga diletakkan diatas dek dengan pengikatan yang kuat, sehingga petikemas tersebut tidak bergeser dari tempatnya semula pada saat berlayar.



Gambar 2.1 Kapal Kontainer EVERGREEN

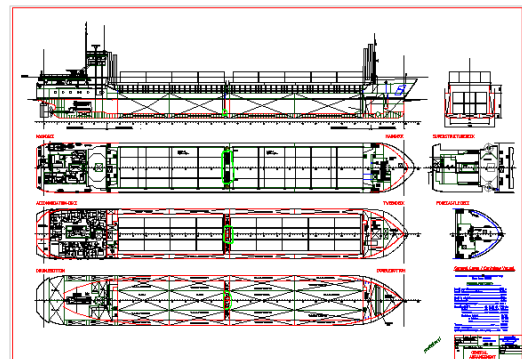
2.3. Kapal Kontainer Sunship Eurocoaster

Kapal ini adalah kapal cargo kontainer kelas 90 meter yang memiliki ukuran tonnage 1600 Gt dengan kontainer didalam lambung total 54 teus dan diatas palkah 36 teus. Proyek pembangunan kapal ini dimulai pada tahun 2015 oleh PT. Janata Marina Indah dan menggunakan desain dari eropa.

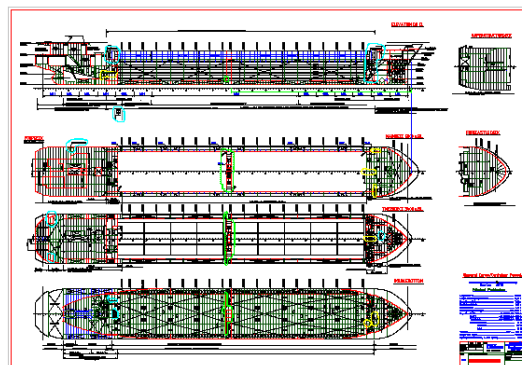
Kapal ini mempunyai ukuran utama (*principal dimensions*) sebagai berikut :

(Loa) : 89,60 meter

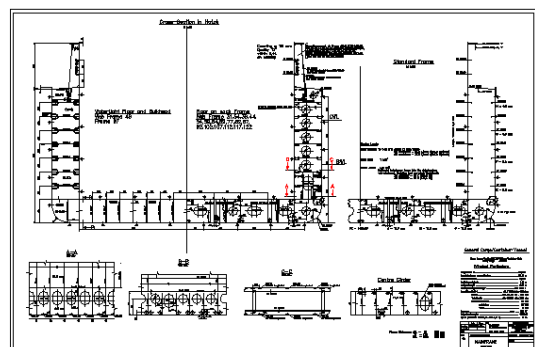
(Lpp) : 84,60 meter
 (B) : 11,65 meter
 (D) : 5,800 meter
 (T) : 4,400 meter
 Vs : 12 knots



Gambar 2.2 CAD Rencana Umum Kapal



Gambar 2.3 CAD Profil Umum Kapal



Gambar 2.4 CAD Midship Kapal

2.4. Puntiran

Puntiran terjadi akibat adanya gaya yang bekerja berlawanan arah terhadap kedua ujungnya . Untuk menghitung tegangan (τ_{max}) pada benda pejal menurut buku Engineering 500-3 Ship Structure adalah

$$\tau = \frac{Mx.r}{J}$$

Dimana

M = Momen Torsi (Nm/Nmm)

r = Jarak Lengan Dari Pusat Sumbu (Jari-jari) (m/mm)

$$J = \text{Momen Inersia (m}^4/\text{mm}^4)$$

Perhitungan inersia sendiri dibedakan menjadi dua jenis yaitu inersia pada open section dan inersia pada close section (Claude Daley-Ship Structures)

Momen Inersia pada *Close Section*

$$J : 2.3,14 . t . r^3$$

Momen Inersia pada *Open Section*

$$J : \frac{2}{3} . 3,14 . r . t^3$$

2.5. Sudut Pelintir Batang Melingkar

Untuk sudut pelintir suatu irisan dari sebuah poros dari bahan elastis linier sebagai berikut (E.P Popov , 1978)

$$\Theta = \int_A^B \frac{T_x dx}{I_{px} G}$$

Dimana

T_x = Momen Puntir

dx = Panjang / Jari-jari

I_{px} = Momen Inersia Kutub

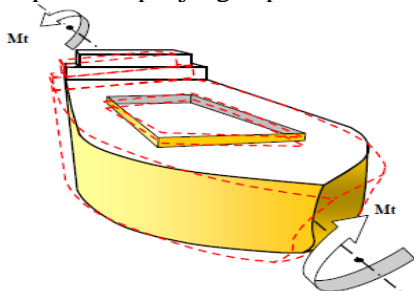
G = Modulus

2.6. Puntiran Pada Kapal

Dalam pelayarannya kapal juga mengalami puntiran . Puntiran pada kapal terjadi akibat peletakan barang yang tidak simetris terhadap bidang centre line , hal ini berpengaruh pada kekuatan kapal . 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.

Untuk mengetahui tegangan puntir di sepanjang kapal , maka kita harus melakukan

1. perhitungan resultant penyebaran gaya berat dan gaya tekan keatas pada setiap penampang lintang dengan jaraknya terhadap centre line disepanjang kapal .
2. perhitungan momen punter pada setiap penampang lintang.
3. Total momen punter pada penampang kapal yang merupakan penyebaran momen punter sepanjang kapal



Gambar 2.5 Kapal Kondisi Terpuntir

2.7. Rules Tentang Puntiran (torsional moment)

- a. Perhitungan Torsion Moment dengan Rules Germanischer Lloyd

Nilai maksimum torsion moment adalah :
 $M_{wt} : L.B^2.Cb.Co.Cl.[0,11+(\sqrt{a^2+0,012})]$

$a : \sqrt{(T/L) \times (Cn.Zq/B)}$

$Cn : [1+0,15 L/B]$

Zq : Jarak antara sheer dengan 0,2 B.H/T dari bottom .

- b. Perhitungan Torsion Moment dengan Rules Nippon Kaiji Kyokai

Nilai Maksimum Torsion moment adalah

$M_{st} : 0.23.L.Nr.Wc$

Nr : Jumlah baris maksimal kontainer secara memanjang

Wc : Berat rata-rata tiap 20ft kontainer , biasanya 100 KN

2.8. Teori Kegagalan Von Mises

Teori ini digunakan untuk memperkirakan tegangan luluh (yield stress) pada benda yang bersifat ulet (*ductile*). Teori kegagalan Von Mises dapat dituliskan sebagai berikut (Von Mises.R, 1913)

$$J_2 = k^2$$

Dimana k merupakan tegangan luluh (yield stress) material dalam geseran murni. Nilai geseran dari tegangan luluh ini ($\sqrt{3}$) kali lebih rendah dari pada tegangan tarik luluh dalam tegangan sederhana . Dan di dapat

$$k = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}}$$

Dimana σ_y adalah kekuatan luluh material . Jika kedua rumus diatas dikombinasikan maka dapat ditulis sebagai

$$\sigma_v = \sigma_y = \sqrt{3}J_2$$

2.9. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah sebuah metode yang menggunakan pendekatan numerik untuk menganalisa sebuah struktur sehingga mendapatkan solusi pendekatan dari suatu permasalahan , dimana setiap struktur yang akan dianalisa dibagi terlebih dahulu menjadi elemen-elemen kecil.

Ada beberapa jenis analisa yang digunakan dalam metode elemen hingga antara lain :

1. Analisa Linier Statis

Analisa linier statis merupakan analisa yang digunakan untuk mendefinisikan kondisi

struktur terhadap pembebanan yang linier atau searah (konstan).

2. Analisa Non Linier Statis

Jika suatu struktur material mengalami pembebanan di atas titik luluhnya (*yield point*), maka dapat didefinisikan bahwa hubungan antara tegangan dan regangan sudah tidak konstan lagi akan tetapi non linier.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Penelitian

Pengambilan data kapal di galangan Janata Marina Indah Semarang ,didapatkan data kapal kontainer Sunship Eurocoaster sebagai berikut:

- (Loa) : 89,60 meter
- (Lpp) : 84,60 meter
- (B) : 11,65 meter
- (D) : 5,800 meter
- (T) : 4,400 meter
- Vs : 12 knots

3.2. Pendekatan Permodelan

Tahap pendekatan permodelan merupakan pengolahan data dan dalam penelitian adalah untuk membuat pemodelan Kapal kontainer Sunship Eurocoaster lalu akan dilakukan analisa puntiran menggunakan metode elemen hingga dengan program bantu MSC NASTRAN-PATRAN, yang bertahap sebagai berikut:

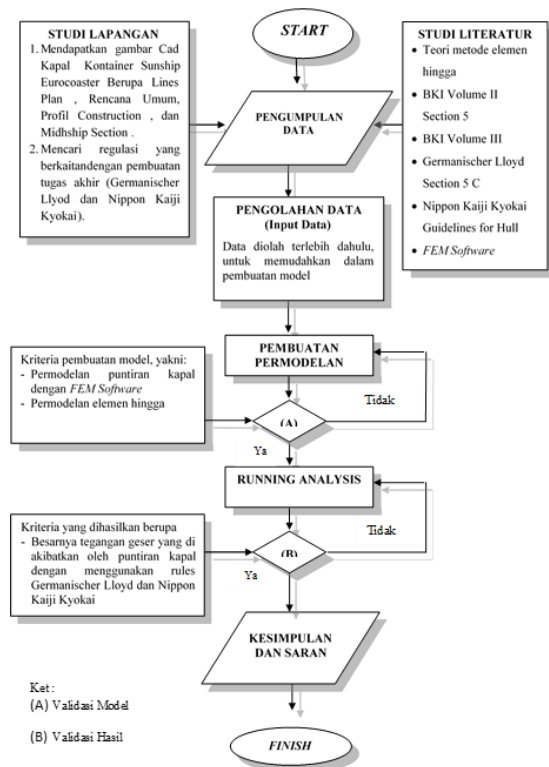
1. Pembuatan bentuk kapal kontainer Sunship Eurocoaster
2. Proses Analisa Model.

3.3. Analisa dan Pembahasan

Analisa bertujuan untuk mendapatkan kesimpulan tugas akhir sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Hasil pengolahan data berupa gambar model, hasil analisis, dan parameter – parameter mekanika yang dicari seperti besarnya tegangan maksimum akibat puntiran kapal dengan menggunakan rules Germanischer Lloyd dan rules Nippon kaiji Kyokai

3.4. Flow Chart Metodologi Penelitian

Flow chart Metodologi Penelitian



Gambar 4.1 Flow Chart

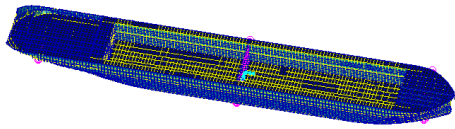
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penentuan Material

Tahap ini model ditentukan terlebih dahulu jenis elemen (material yang diuji) terkait dengan sifat-sifat yang dimiliki oleh material yang dianalisa. Material yang dimasukkan dalam model ini adalah baja Grade A dengan nilai *elastic modulus* $2.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$, *Poisson Ratio* 0,3, *shear modulus* $8 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$, *density* 7.85 ton/m^3 . Jenis elemen yang telah ditentukan kemudian diberi tebal sesuai material yang diuji. Penentuan material selesai setelah tebal material telah dimasukkan.

4.2. Pemodelan

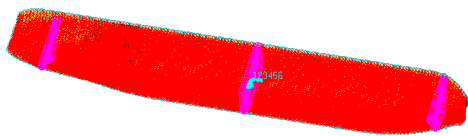
Pada bab ini dibahas mengenai studi kasus Puntiran pada kapal Kontainer Sunship Eurocoaster dengan menggunakan *software* MSC Patran kemudian disimulasikan agar diketahui hasil analisisnya dengan menggunakan program MSC Nastran. Hasil analisa didapatkan tegangan maksimal dan deformasi dengan menggunakan rules dari Germanischer Lloyd dan Nippon Kaiji Kyokai. Analisa yang digunakan adalah linier *static analisis* .



Gambar 4.2 Pemodelan dengan MSC Patran

4.3. Meshing

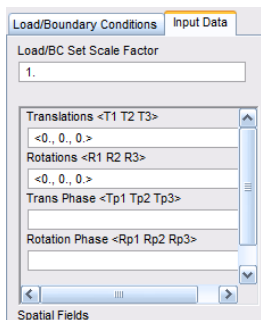
Tahap ini material yang telah dibuat model dibagi menjadi beberapa elemen (metode elemen hingga). Pembagian elemen dilakukan sesuai peletakan beam yang akan dibuat, maka harus sesuai dengan jarak gading kapal.



Gambar 4.3 Contoh Meshing

4.4. Kondisi Batas

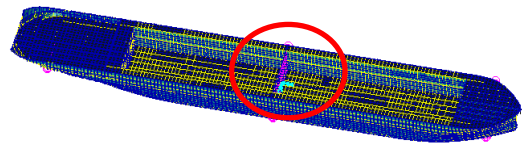
Untuk analisa linear statis, salah satu tahap yang harus dilakukan adalah menetapkan *Boundary Conditions*. *Boundary Conditions* merupakan tahap akhir dari suatu proses pemodelan elemen hingga, yaitu penentuan tumpuan sebelum model di analisa.



Gambar 4.4 Penentuan Kondisi Batas

Terdapat 3 *Boundary Conditions* untuk studi kasus Puntiran pada Kapal Kontainer Sunship Eurocoaster . Pada Respon I *Boundary Conditions* terletak pada bagian sekat midship kapal pada frame 72 , Pada Respon II *Boundary Conditions* terletak pada bagian sekat buritan kapal pada frame 29, Pada Respon III *Boundary Conditions* terletak pada bagian sekat haluan kapal pada frame 131 . Salah satu contoh peletakan *Boundary Condition* pada Respon I yaitu *Boundary Condition* diterapkan pada bagian sekat midship kapal pada frame 72 bisa dilihat pada gambar 4.5 , boundary condition memberikan respon yang berbeda terhadap respon struktur kapal yang diharapkan

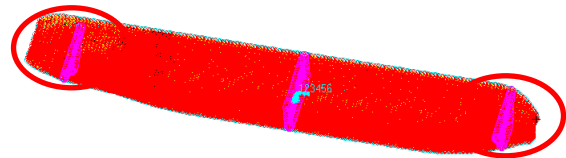
bisa menjadi pertimbangan dalam hasil analisa struktur kapal .



Gambar 4.5 *Boundary Condition* pada bagian tengah kapal.

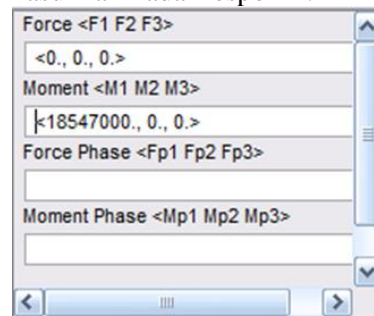
4.5 Penentuan Letak Torsional moment

Pada Respon I *torsion moment* terletak pada bagian sekat haluan kapal pada frame 131 dan pada bagian sekat buritan kapal pada frame 8 , Pada Respon II *torsion moment* terletak pada bagian sekat haluan kapal pada frame 131, Pada Respon III *torsion moment* terletak pada bagian sekat buritan kapal pada frame 8 . Salah satu contoh penentuan *torsional moment* kapal Sunship Eurocoaster Pada Respon I yaitu torsion moment diletakkan pada bagian sekat haluan pada frame 131 dan pada bagian sekat buritan kapal pada frame 8 . Peletakan torsion moment dapat dilihat pada gambar 4.6

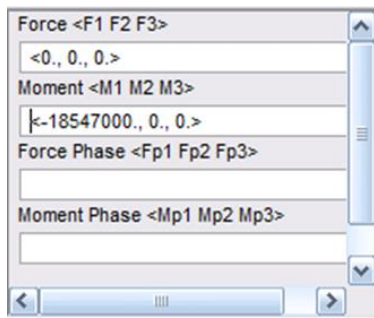


Gambar 4.6 Penentuan momen kapal

Salah satu contoh nilai torsion moment yang dimasukkan Pada Respon I .



Gambar 4.7 *Torsion Moment* pada sekat haluan kapal



Gambar 4.8 Torsion Moment pada sekat buritan kapal

4.6 Perhitungan Torsional Moment dengan Rules Germanischer Lloyd

1. Perhitungan Torsion Moment dengan Rules Germanischer Lloyd

Maksimum torsion moment adalah :

$$M_{wt} : L \cdot B^2 \cdot C_b \cdot C_o \cdot C_l \cdot [0,11 + (\sqrt{a^2 + 0,012})]$$

$$a : \sqrt{(L/T)} \cdot (C_n \cdot Z_q/B)$$

$$C_n : [1 + 0,15 L/B]$$

Z_q : Jarak antara sheer dengan 0,2 B.H/T dari bottom .

$$L : 89,60 \text{ m}$$

$$B : 11,65 \text{ m}$$

$$H : 5,80 \text{ m}$$

$$T : 4,40 \text{ m}$$

$$D_b : 0,90 \text{ m}$$

$$C_o : \{(L/25) + 4,1\}$$

$$: \{(89,60/25) + 4,1\}$$

$$: 7,684$$

$$C_l : \sqrt{(L/90)}$$

$$: \sqrt{(89,60/90)}$$

$$: 0,99777$$

$$a : \sqrt{(T/L)} \cdot (c_n \cdot z_q/B)$$

$$c_n : 1 + 0,15(L/B)$$

$$: 1 + 0,15(89,60/11,65)$$

$$: 2,1536$$

$$0,2B.H/T : 0,2 \cdot 11,65 \cdot 5,8 / 4,4$$

$$: 3,07$$

$$Z_q : \text{shear center} - d_b - 0,2B.H/T$$

$$: 5,8 - 0,9 - 3,0$$

$$: 1,83$$

$$a : \sqrt{(T/L)} \cdot (c_n \cdot z_q/B)$$

$$: \sqrt{(4,40/89,60)}$$

$$* (2,1536 \cdot 1,83 / 11,65)$$

$$: 0,074$$

$$M_{wt \text{ max}} : L \cdot B^2 \cdot C_b \cdot C_o \cdot C_l \cdot \{0,11 + \sqrt{(a^2 + 0,012)}\}$$

$$: 89,60 \cdot 11,65^2 \cdot 0,859 \cdot 7,684 \cdot 0,99777$$

$$* \{0,11 + \sqrt{(0,074^2 + 0,012)}\}$$

$$: 19389 \text{ KNm}$$

$$: 19389000 \text{ Nm}$$

4.7 Perhitungan Torsional Moment dengan Rules Nippon Kaiji Kyokai

Perhitungan maksimum torsion moment adalah :

$$M_{st} : 0,23 L N_r W_c$$

N_r : Jumlah baris maksimum kontainer secara memanjang

W_c : Berat rata-rata tiap 20 ft kontainer , biasanya 100KN

$$L : 89,60 \text{ m}$$

$$B : 11,65 \text{ m}$$

$$H : 5,80 \text{ m}$$

$$T : 4,40 \text{ m}$$

$$D_b : 0,90 \text{ m}$$

$$N_r : 9$$

$$W_c : 100 \text{ KN}$$

$$M_{st} : 0,23 L N_r W_c$$

$$: 0,23 * 89,60 * 9 * 100$$

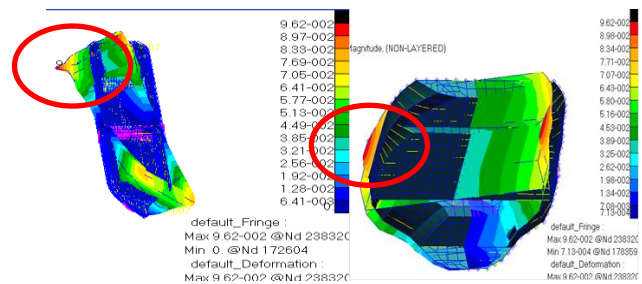
$$: 18547,2 \text{ KNm}$$

$$: 18547200 \text{ Nm}$$

4.8 Analisa dan Pembahasan Torsion Moment dengan menggunakan Rules Germanischer Lloyd dan Nippon Kaiji Kyokai

a. Hasil Analisa Puntiran Kapal Kontainer Sunship Eurocoaster menggunakan Rules Germanischer Lloyd .

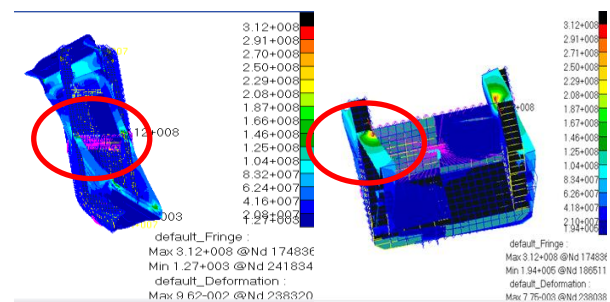
Respon Ia



Gambar 4.9 Hasil analisa kapal

Ditinjau dari fringe displacement translational pada model kapal kontainer Sunship Eurocoaster didapat nilai deformasi kapal sebesar $9,62 \times 10^{-2}$ m pada node 238320, yaitu frame 6 pada bagian maindeck buritan kapal .

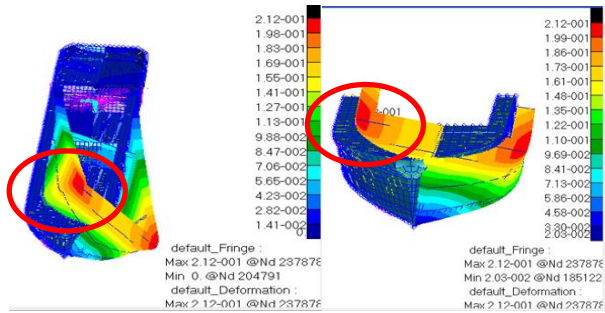
Respon Ib



Gambar 4.10 Hasil analisa kapal

Ditinjau dari tegangan maksimum (*von misses*) sebesar $3,12 \times 10^8$ N/m² terjadi pada node 174836 yaitu frame 73 pada bagian maindeck midship kapal .

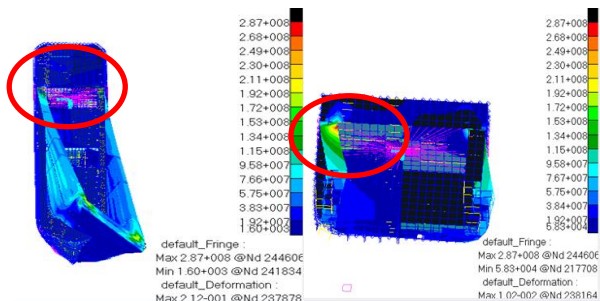
Respon IIa



Gambar 4.11 Hasil analisa kapal

Ditinjau dari fringe displacement translational pada model kapal kontainer Sunship Eurocoaster didapat nilai deformasi kapal sebesar $2,12 \times 10^{-1}$ m pada node 237878, yaitu frame 126 pada bagian maindeck buritan kapal.

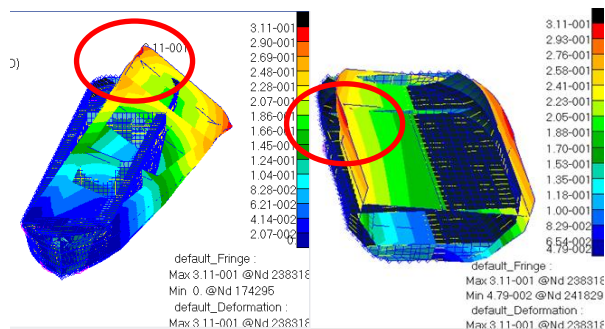
Respon IIb



Gambar 4.12 Hasil analisa kapal

Ditinjau dari tegangan maksimum (*von misses*) sebesar $2,87 \times 10^8$ N/m² terjadi pada node 244606 yaitu frame 30 pada bagian maindeck buritan kapal.

Respon IIIa

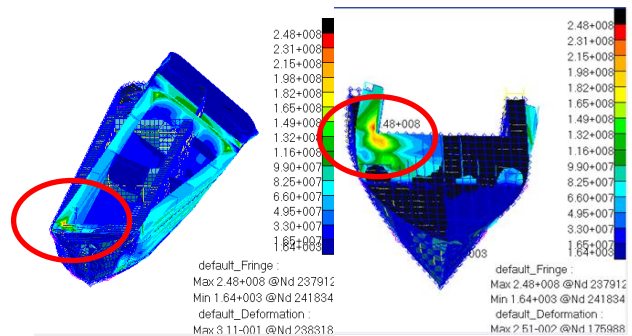


Gambar 4.13 Hasil analisa kapal

Ditinjau dari fringe displacement translational pada model kapal kontainer Sunship Eurocoaster didapat nilai deformasi kapal sebesar

$3,11 \times 10^{-1}$ m pada node 238318, yaitu frame 7 pada bagian maindeck buritan .

Respon IIIb

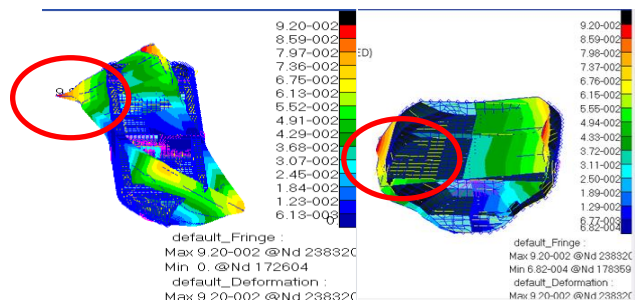


Gambar 4.14 Hasil analisa kapal

Ditinjau dari tegangan maksimum (*von misses*) sebesar $2,48 \times 10^8$ N/m² terjadi pada node 237912 yaitu frame 122 pada bagian maindeck haluan kapal.

b. Hasil Analisa Puntiran Kapal Kontainer Sunship Eurocoaster menggunakan Rules Nippon Kaiji Kyokai

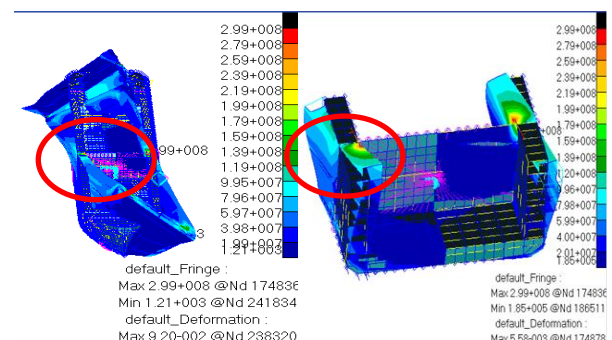
Respon Ia



Gambar 4.15 Hasil analisa kapal

Ditinjau dari fringe displacement translational pada model kapal kontainer Sunship Eurocoaster didapat nilai deformasi kapal sebesar $9,20 \times 10^{-2}$ m pada node 238320 , yaitu frame 6 pada bagian maindeck buritan kapal.

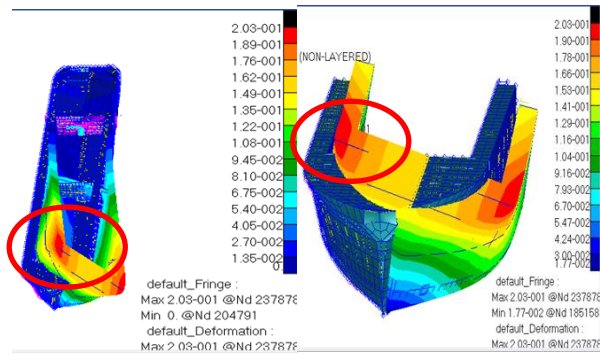
Respon Ib



Gambar 4.16 Hasil analisa kapal

Ditinjau dari tegangan maksimum (*von misses*) sebesar $2,99 \times 10^8$ N/m² terjadi pada node 174836 yaitu frame 73 pada bagian midship kapal.

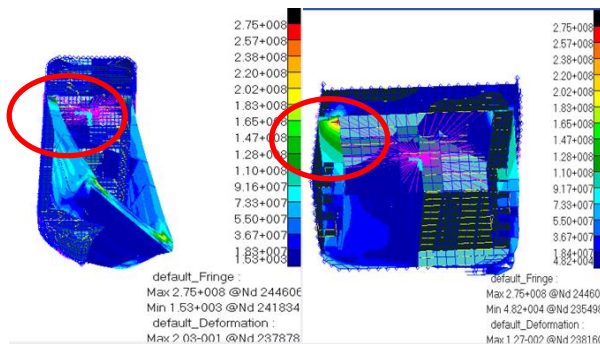
Respon IIa



Gambar 4.17 Hasil analisa kapal

Ditinjau dari fringe displacement translational pada model kapal kontainer Sunship Eurocoaster didapat nilai deformasi kapal sebesar $2,03 \times 10^{-1}$ m pada node 237878 , yaitu frame 126 pada bagian maindeck haluan kapal.

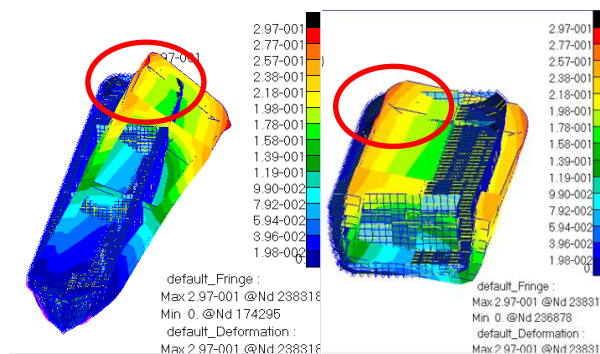
Respon IIIb



Gambar 4.18 Hasil analisa kapal

Ditinjau dari tegangan maksimum (*von misses*) sebesar $2,75 \times 10^8$ N/m² terjadi pada node 244606 yaitu frame 30 pada bagian maindeck buritan kapal.

Respon IIIa

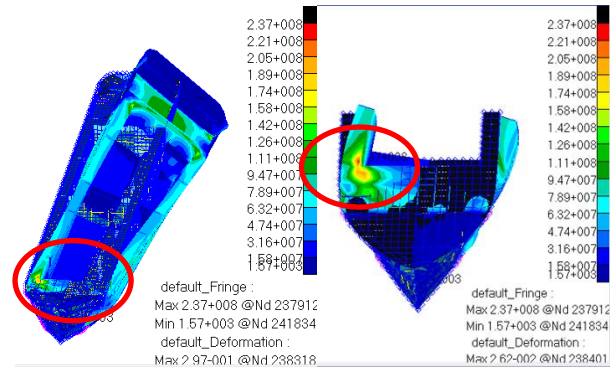


Gambar 4.19 Hasil analisa kapal

Ditinjau dari fringe displacement translational pada model kapal kontainer Sunship

Eurocoaster didapat nilai deformasi kapal sebesar $2,97 \times 10^{-1}$ m pada node 238318 , yaitu frame 7 pada bagian maindeck buritan kapal.

Respon IIIb



Gambar 4.20 Hasil analisa kapal

Ditinjau dari tegangan maksimum (*von misses*) sebesar $2,37 \times 10^8$ N/m² terjadi pada node 237912 yaitu frame 122 pada bagian maindeck haluan kapal.

4.9 Safety Factor

Faktor keamanan (Safety Factor) adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik dari beban luar, yaitu beban tekan maupun tarik. Sebelum menghitung *safety factor*, dicari terlebih dahulu nilai tegangan ijin yang didapatkan tidak melebihi dari 100/k (N/mm²) sesuai dengan ketentuan BKI Section 24 B.2.3.1. Untuk konstruksi lambung menggunakan baja grade B , untuk konstruksi bilga menggunakan baja grade D , untuk kontruksi kamar mesin menggunakan baja grade E .

Tabel 4.1 Faktor Material

Minimum yield stress ReH in N/mm ²	
235	1
315	0,78
355	0,72
390	0,68

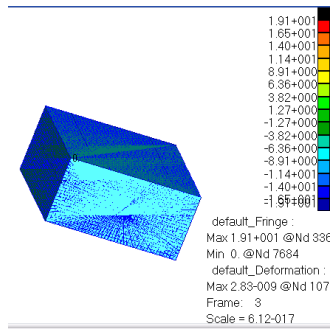
Material yang digunakan pada Kapal Kontainer Sunship Eurocoaster adalah baja Grade A yang mempunyai minimum yield (ReH) sebesar 235 N/mm² . Sehingga tegangan ijin maksimum adalah 100 N/mm² .

Tabel 4.2 Tegangan Max

Rules	Respon	Node	Tegangan Max (N/mm ²)	Tegangan Ijin (N/mm ²)	Keterangan
GL	IB	174836	312	100	Tidak Memenuhi
GL	IIB	244606	287	100	Tidak Memenuhi
GL	IIIB	237912	248	100	Tidak Memenuhi
NK	IB	174836	299	100	Tidak Memenuhi
NK	IIB	244606	275	100	Tidak Memenuhi
NK	IIIB	237912	237	100	Tidak Memenuhi

4.9 Validasi

a. Validasi Software



Gambar 4.21 Validasi

Perhitungan manual

Tabel 4.3 perhitungan validasi

Item	Desc	w	h	lo	a	y	ay	ay ²
1	deck	10	0,03	*	0,3	10	3	30
2	w.t.pl		4	0,23	0,17	8	1,36	10,9
3	side		10	2,5	0,3	5	1,5	7,5
4	bot	10	0,03	*	0,3	0	0	0
€				2,73	1,07		5,86	48,38

$$C = \frac{\epsilon ay}{a} = \frac{5,86}{1,07} = 5,48 \text{ m}$$

$$I_{\text{base}} = \epsilon Lo + \epsilon ay^2 = 2,73 + 48,38 = 51,1 \text{ m}^4$$

$$I_{\text{na}} = I_{\text{base}} - Ac^2 = 51,1 - 1,07 \cdot 5,48^2 = 19,0 \text{ m}^4$$

$$\tau = \frac{Qm}{It} = \frac{5 \text{ m}}{19,0,03} = 8,78 \text{ . m}$$

$$M = \int_0^s yt \, ds$$

Untuk s4 (wing tank)

$$M = 0,428 + 1,658 + \int_0^{s4} yt \, ds$$

$$Y = 0,52 - s4, \quad s4 = 0 > 6$$

$$M = 2,086 + 0,03 (0,52 s4 - s4^2/2)$$

$$= 2,086 + 0,0156 s4 - 0,015$$

$$= 1,64 \text{ (@s4=6)} \quad 2,09 \text{ (@s4 = 0,52 na)}$$

$$\tau = \frac{Qm}{It} = \frac{5 \cdot 2,09}{19,0,03} = 18,35$$

Tabel 4.4 Hasil validasi

validasi model	validasi perhitungan	koreksi	keterangan
19,1	18,35	96%	memenuhi

b. Validasi Model .

$$\tau = \frac{Mx.r}{J}$$

Dimana

Momen Inersia pada *Close Section*

$$J = 2 \cdot 3,14 \cdot t \cdot r^3$$

Tabel 4.5 Perhitungan Tegangan Max

Tegangan Max							
Respon	Rules	phi	r(m)	t(m)	J(m ⁴)	Mx(Nm)	tegangan(N/mm ²)
I	GL	3,14	1,21	0,007	0,07787782	19389000	3,01E+08
II	GL	3,14	1,3	0,007	0,09658012	19389000	2,61E+08
III	GL	3,14	1,4	0,007	0,12062624	19389000	2,25E+08
I	NK	3,14	1,21	0,007	0,07787782	18547200	2,88E+08
II	NK	3,14	1,3	0,007	0,09658012	18547200	2,50E+08
II	NK	3,14	1,4	0,007	0,12062624	18547200	2,15E+08

Tabel 4.6 Validasi Model dengan Perhitungan

Respon	Rules	validasi model(N/mm ²)	validasi perhitungan(N/mm ²)	koreksi	keterangan
GL	IB	3,12	3,01	96%	memenuhi
GL	IIIB	2,87	2,61	91%	memenuhi
GL	IIIB	2,48	2,25	91%	memenuhi
NK	IB	2,99	2,88	96%	memenuhi
NK	IIIB	2,75	2,5	91%	memenuhi
NK	IIIB	2,37	2,15	91%	memenuhi

c. Sudut Pelintir Kapal .

Untuk sudut pelintir pada suatu irisan dari sebuah poros dari bahan elastis linier sebagai berikut (E.P Popov , 1978)

$$\Theta = \int_A^B \frac{T x \, dx}{I p x G}$$

Dimana

Tx = Momen Puntir

dx = Panjang / Jari-jari

Ipx = Momen Inersia Kutub

G = Modulus

Tabel 4.7 Sudut Pelintir Kapal

perhitungan sudut puntir kapal									
rules	respon	θ	tx	dx	ipx	g	d	phi	derajat
gl	1	0,202523	19389000	38	45,87663	79300000	4,65	3,14	11,6096
gl	2	0,330432	19389000	62	45,87663	79300000	4,65	3,14	18,94198
gl	3	0,399716	19389000	75	45,87663	79300000	4,65	3,14	22,91368
nk	1	0,19373	18547200	38	45,87663	79300000	4,65	3,14	11,10555
nk	2	0,316086	18547200	62	45,87663	79300000	4,65	3,14	18,11958
nk	3	0,382362	18547200	75	45,87663	79300000	4,65	3,14	21,91885

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan Rules Germanischer Lloyd Tegangan maksimum (*von misses*) Kapal Kontainer Sunship Eurocoaster $3,12 \times 10^8$ N/m² pada respon I, $2,87 \times 10^8$ N/m² pada respon II, $2,48 \times 10^8$ N/m² pada respon III dan deformasi $9,62 \times 10^{-2}$ m pada respon I, $2,12 \times 10^{-1}$ m pada respon II, $3,11 \times 10^{-1}$ m pada respon III.
2. Dengan menggunakan Rules Nippon Kaiji Kyokai Tegangan maksimum (*von misses*) Kapal Kontainer Sunship Eurocoaster $2,99 \times 10^8$ N/m² pada respon I, $2,75 \times 10^8$ N/m² pada respon II, $2,37 \times 10^8$ N/m² pada respon III dan deformasi $9,20 \times 10^{-2}$ m pada respon I, $2,60 \times 10^{-1}$ m pada respon II, $2,97 \times 10^{-1}$ m pada respon III.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang dilakukan penulis masih dapat dilanjutkan lebih jauh. Beberapa saran dari penulis yang dapat dikembangkan lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Membuat variasi jarak gading, tebal plat, dan ukuran profil pada struktur kapal Sunship Eurocoaster.
2. Membuat analisa torsion moment dengan melibatkan gelombang sesuai dengan Rules Nippon Kaiji Kyokai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Claude Daley . “Ship Structure I , Faculty Of Engineering And Applied Science Memorial University St. John’s CANADA.
- [2] Herbert Becker , “A Broad View Of TorsionEffects In Ship” , SNAME , 1972..
- [3] Germanischer Lloyd “Longitudinal Strength” Section 5 C , Hamburg , 2016.
- [4] Nippon Kaiji Kyokai “Guidelines For Hull Girder Torsion Strength Assessment” , Tokyo 2015 .
- [5] Oktovianto, Rudi. 2011. “Analisa Tegangan Geser Pada Struktur Cincin Kapal Chemical Tanker 6200 DWT”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [6] Qaqa, Dwi. 2012. “Tegangan Geser Pada Struktur Kapal Kontainer”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya