

# KARAKTERISTIK KM. ZAISAN STAR AKIBAT PERUBAHAN MUATAN

Samuel<sup>1</sup>, Eko Sasmito Hadi<sup>1</sup>, Ario Restu Sratudaku<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>)Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia  
Email : undip\_samuel@yahoo.com

## Abstrak

KM. Zaisan Star yang semula merupakan kapal *general cargo* dimodifikasi menjadi kapal pengangkut kendaraan (*vehicle carrier*) dengan penambahan geladak pada ruang muat dan diatas geladak utama. Penelitian ini bertujuan mengetahui nilai stabilitas dan kekuatan memanjang kapal dari 32 simulasi kondisi karena pengaruh pengisian geladak muat dan kondisi pelayaran kapal. Perhitungan dan analisa pada penelitian ini dilakukan dengan metode pendekatan rumus stabilitas dan kekuatan memanjang kapal yang terintegrasi pada perangkat lunak pekapalan yang mengacu standar IMO [2] dan *Rules* BKI [1]. Hasil analisa stabilitas kapal pada semua kondisi menunjukkan nilai GZ terendah 1,103 m sedangkan kriteria minimumnya 0,200 m dan untuk nilai GM terendah 1,160 m, sedangkan nilai minimumnya 0,150 m. Pada analisa kekuatan memanjang kapal diperoleh nilai tegangan geladak kondisi air tenang 0,009 N/mm<sup>2</sup>, *sagging* 0,013 N/mm<sup>2</sup> dan *hogging* 3,40 N/mm<sup>2</sup> serta tegangan alas kondisi air tenang 0,020 N/mm<sup>2</sup>, *sagging* 0,029 N/mm<sup>2</sup> dan *hogging* 7,825 N/mm<sup>2</sup>, nilai tersebut tidak melebihi nilai tegangan ijin kapal 188,815 N/mm<sup>2</sup>. Perhitungan modulus penampang menunjukkan nilai modulus penampang geladak 831,990 m<sup>3</sup> dan alas 1913,974 m<sup>3</sup>, nilai tersebut memenuhi nilai modulus minimum kapal 0,1824 m<sup>3</sup>. Perhitungan momen inersia menunjukkan nilai momen inersia sebesar 2899,540 m<sup>4</sup>, nilai ini memenuhi nilai minimum momen inersia kapal 0,4103 m<sup>4</sup>.

**Kata kunci** : KM. Zaisan Star, *vehicle carrier*, modifikasi kapal, variasi pengisian geladak, Analisa Stabilitas, Analisa Kekuatan Memanjang

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomotif di Indonesia telah berkembang pesat dewasa ini. Kebutuhan akan kendaraan bermotor pun meningkat, sebagai negara kepulauan tentu dalam distribusi kendaraan bermotor di Indonesia menjadi suatu tantangan tersendiri. Selain pembuatan kapal baru, modifikasi merupakan salah satu alternatif yang sering menjadi pilihan di dunia perkapalan. [5] Selain biaya produksi lebih rendah keuntungan juga bisa lebih tinggi. Atas dasar tersebut maka untuk menjawab tantangan pengiriman kendaraan bermotor di Indonesia dengan jumlah yang lebih banyak dan *profitable* maka PT Zaisan Citra Mandiri melakukan modifikasi kapal pada KM. Zaisan Star, kapal yang semula merupakan kapal berjenis *general cargo* yang kemudian dilakukan perubahan menjadi kapal pengangkut kendaraan (*vehicle carrier*) yang bertujuan mengangkut kendaraan bermotor. Awalnya KM. Zaisan Star hanya memiliki 1 geladak ruang muat untuk operasionalnya kemudian dilakukan penambahan geladak pada

ruang muat dan diatas geladak utama sehingga total geladak muat menjadi ada empat ruangan.

Dengan jumlah geladak muat tersebut maka dapat dilakukan 32 simulasi variasi pengisian muatan pada tiap geladak dan kombinasinya serta kondisi pelayaran kapal. Atas dasar tersebut penelitian ini membahas tentang bagaimana pengaruh pengisian ruang muat kapal pada stabilitas dan kekuatan memanjang kapal. Dengan begitu maka akan didapatkan nilai stabilitas kapal dengan pengaruh posisi pengisian muatan yang bervariasi yang sesuai dengan peraturan IMO [2], selain itu juga didapatkan nilai kekuatan memanjang kapal dengan pengaruh pengaruh posisi muatan yang bervariasi yang sesuai dengan standar *Rules* BKI [1].

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Stabilitas Kapal

Menurut *Basic Ship Theory Vol. 1* [3] yang disebut stabilitas pada umumnya adalah kemampuan dari suatu benda yang melayang atau mengapung dan dimiringkan untuk

kembali berkedudukan tegak lagi. Stabilitas adalah persyaratan utama desain setiap kapal. Stabilitas pada umumnya adalah stabilitas pada sudut oleng antara 10°-15. Stabilitas ini ditentukan oleh 3 buah titik yaitu titik berat (*center of gravity*), titik apung (*center of buoyancy*) dan titik metasentra. Adapun pengertian dari titik-titik tersebut [4] adalah:

1. Titik berat (G) menunjukkan letak titik berat kapal, merupakan titik tangkap dari sebuah titik pusat dari sebuah gaya berat yang menekan kebawah. Besarnya nilai KG adalah nilai tinggi titik metasentra (KM) diatas lunas dikurangi tinggi metasentra (MG)
2. Titik apung (B) menunjukkan letak titik apung kapal, merupakan titik tangkap dari resultan gaya-gaya yang menekan tegak keatas dari bagian kapal yang tercelup.
3. Titik metasentra (M) merupakan sebuah titik semu dari batas dimana G tidak boleh melewati diatasnya agar kapal selalu mempunyai stabilitas yang positif (stabil).

## 2.2. Kekuatan Memanjang Kapal

Reaksi komponen struktural lambung kapal terhadap beban-beban eksternal lazim diukur dengan besarnya tegangan ataupun lendutan yang terjadi. Kriteria kinerja struktural dan analisa yang melibatkan tegangan biasa disebut kekuatan (*strength*), sementara pertimbangan lendutan disebut kekakuan (*stiffness*). Kemampuan sebuah struktur untuk menyangga beban yang diterima dapat diukur dari segi kekuatan ataupun kekakuan, ataupun keduanya sekaligus. Kekuatan komponen struktur dikatakan tidak memadai atau kegagalan struktur dikatakan telah terjadi apabila material struktur telah kehilangan kemampuan menopang beban melalui kepecahan, luluh, tekuk (*buckling*) atau mekanisme kegagalan lainnya dalam menghadapi beban-beban eksternal.

Dalam banyak hal, perhitungan kekuatan bagian konstruksi kapal didasarkan seluruhnya pada beban statis, seolah-olah kapal terapung di air tenang. Bahkan banyak biro klasifikasi [1] mendasarkan peraturannya pada perhitungan untuk kapal di air tenang semacam itu dengan tambahan yang ditentukan untuk beban-beban di laut bergelombang, atau meminta perhitungan momen lengkung kapal di atas

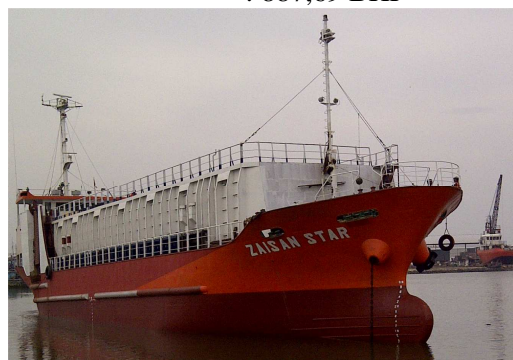
gelombang tetapi dalam keadaan diam. Cara-cara tersebut biasanya dimaksudkan sebagai patokan atau syarat minimum.

Tujuan perhitungan kekuatan memanjang adalah untuk menentukan tegangan yang di alami badan kapal sebagai suatu kesatuan pada arah memanjang. Tegangan ini diakibatkan oleh keadaan dimana berat kapal pada suatu titik sepanjang kapal tidak disangga oleh gaya tekan air ke atas yang sama bedarnya. Jika perbedaan penyebaran memanjang antara gaya berat dan gaya tekan semakin besar, maka pembebanan yang bekerja pada kapal makin besar juga. Penyebaran memanjang dari berat kapal ditentukan oleh keadaan muatan, sedangkan penyebaran gaya tekan ke atas ditentukan oleh keadaan gelombang. Pada umumnya perhitungan kekuatan memanjang dibuat berdasarkan keseimbangan statis antara gaya berat dan gaya tekan ke atas.

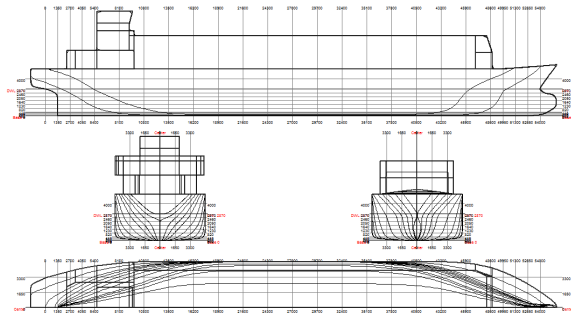
## 3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam pengerjaan penelitian ini, model kapal yang menjadi objek penelitian adalah KM. Zaisan Star. Kapal dengan kelas KI ini mempunyai ukuran utama (*principal dimensions*) sebagai berikut :

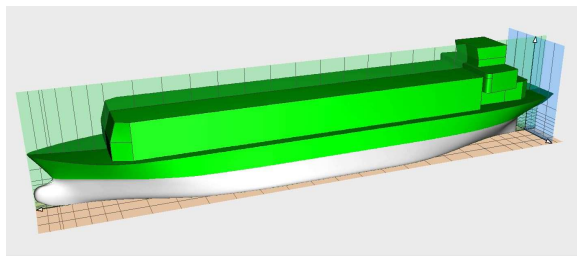
|                            |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|
| Loa                        | : 58,50 meter                   |
| Lpp                        | : 54,00 meter                   |
| B                          | : 9,90 meter                    |
| D                          | : 5,00 meter                    |
| T                          | : 2,87 meter                    |
| V <sub>s</sub>             | : 11,00 Knots                   |
| BHP <sub>Main Engine</sub> | : 900 PS ( <i>Pferd tärke</i> ) |
|                            | : 887,69 BHP                    |



Gambar 1. KM. Zaisan Star



Gambar 2. Linesplan KM Zaisan Star Hasil Re-Drawing



Gambar 3. Model 3-D KM Zaisan Star

Lines plan kapal KM. Zaisan Star di re-drawing dengan bantuan perangkat lunak *Delfship* yang mengikuti dari bentuk *linesplan* dari kapal aslinya. Perhitungan dan analisa stabilitas dan kekuatan memanjang kapal dilakukan dengan metode pendekatan rumus stabilitas kapal dan kekuatan memanjang kapal yang terintegrasikan pada perangkat lunak *Delfship*. Simulasi kondisi yang digunakan adalah kombinasi dari pengisian geladak dan kondisi pelayaran kapal.

Setelah hasil analisa stabilitas didapatkan dilakukan pembahasan hasil analisa dan membandingkan dengan kriteria standar pada aturan IMO [2], selain itu juga hasil analisa kekuatan memanjang kapal dan dilakukan pengecekan kekuatan kapal yang sesuai dengan aturan standar BKI [1]. Pengecekan kekuatan kapal ditinjau dari tegangan geladak, tegangan alas, modulus penampang dan momen inersia dari perhitungan pelat dan profil. Nilai-nilai tersebut dibandingkan dengan nilai standar [1]. Dalam pengecekan kekuatan memanjang kapal [2] rumus yang digunakan adalah :

- Perhitungan tegangan ijin kapal

$$\sigma_p = \frac{18,5}{\sqrt{\frac{L}{k}}} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1)$$

L = panjang kapal (m)

k = faktor material

Tabel 1. Simulasi kondisi

| No Cond.  | Fill % |       |         |         | Cons m. |
|-----------|--------|-------|---------|---------|---------|
|           | Car 1  | Car 2 | Motor 1 | Motor 2 |         |
| 1 I       | 0      | 0     | 0       | 0       | 100     |
| 2 II      | 100    | 0     | 0       | 0       | 100     |
| 3 III     | 0      | 100   | 0       | 0       | 100     |
| 4 IV      | 0      | 0     | 100     | 0       | 100     |
| 5 V       | 0      | 0     | 0       | 100     | 100     |
| 6 VI      | 100    | 100   | 0       | 0       | 100     |
| 7 VII     | 100    | 0     | 100     | 0       | 100     |
| 8 VIII    | 100    | 0     | 0       | 100     | 100     |
| 9 IX      | 0      | 100   | 100     | 0       | 100     |
| 10 X      | 0      | 100   | 0       | 100     | 100     |
| 11 XI     | 0      | 0     | 100     | 100     | 100     |
| 12 XII    | 100    | 100   | 100     | 0       | 100     |
| 13 XIII   | 0      | 100   | 100     | 100     | 100     |
| 14 XIV    | 100    | 100   | 0       | 100     | 100     |
| 15 XV     | 100    | 0     | 100     | 100     | 100     |
| 16 XVI    | 100    | 100   | 100     | 100     | 100     |
| 17 XVII   | 0      | 0     | 100     | 0       | 50      |
| 18 XVIII  | 0      | 0     | 0       | 100     | 50      |
| 19 XIX    | 100    | 0     | 100     | 0       | 50      |
| 20 XX     | 100    | 0     | 0       | 100     | 50      |
| 21 XXI    | 0      | 100   | 100     | 0       | 50      |
| 22 XXII   | 0      | 100   | 0       | 100     | 50      |
| 23 XXIII  | 0      | 0     | 100     | 100     | 50      |
| 24 XXIV   | 100    | 100   | 100     | 100     | 50      |
| 25 XXV    | 0      | 0     | 100     | 0       | 10      |
| 26 XXVI   | 0      | 0     | 0       | 100     | 10      |
| 27 XXVII  | 100    | 0     | 100     | 0       | 10      |
| 28 XXVIII | 100    | 0     | 0       | 100     | 10      |
| 29 XXIX   | 0      | 100   | 100     | 0       | 10      |
| 30 XXX    | 0      | 100   | 0       | 100     | 10      |
| 31 XXXI   | 0      | 0     | 100     | 100     | 10      |
| 32 XXXII  | 100    | 100   | 100     | 100     | 10      |

Dalam pengecekan kekuatan memanjang kapal [2] rumus yang digunakan adalah :

- Perhitungan tegangan ijin kapal

$$\sigma_p = \frac{18,5}{\sqrt{\frac{L}{k}}} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1)$$

L = panjang kapal (m)

k = faktor material

- Perhitungan modulus penampang minimum

$$W_{\min} = k \times C \times L^2 \times B \times (Cb + 0,7) \times 10^{-6} \quad [\text{m}^3] \quad (2)$$

W = Modulus Penampang (m<sup>3</sup>)

C = c<sub>0</sub>

= koefisien gelombang

$$= \left[ \frac{L}{25} + 4,1 \right] \times c_{RW} \quad (3)$$

$c_{RW}$  = koefisien jangkauan dinas  
 $B$  = lebar kapal (m)  
 $C_b$  = koefisien blok  
 $k$  = faktor material

- Perhitungan momen inersia minimum

$$J = 3 \times 10^{-2} \times W \times \frac{L}{k} \quad [\text{m}^4] \quad (4)$$

$J$  = momen inersia ( $\text{m}^4$ )  
 $W$  = modulus ( $\text{m}^3$ )  
 $k$  = faktor material

Dengan membandingkan dengan hasil pada analisa dengan bantuan perangkat lunak maka dapat ditarik kesimpulan pengaruh dari simulasi pengisian ruang muat pada stabilitas kapal dan kekuatan memanjang kapal.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

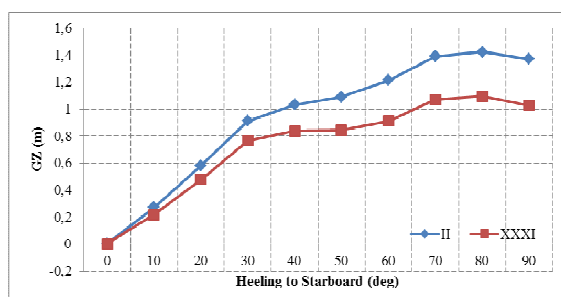
### 4.1. Stabilitas Kapal

Sebagai persyaratan yang wajib tentunya stabilitas kapal harus mengacu pada aturan yang telah diakui seperti IMO [2]. Dalam perhitungan stabilitas ini, kapal diasumsikan dengan 32 kondisi yang menggambarkan kondisi operasional kapal yang mungkin. Penentuan stabilitas kapal ini menggunakan kriteria-kriteria [2] yang telah tersedia dalam perangkat lunak.

Berikut adalah hasil analisa stabilitas kapal :

Tabel 2. Hasil analisa perhitungan stabilitas

| Criteria | Req (m) | Max   |           | Min   |           |
|----------|---------|-------|-----------|-------|-----------|
|          |         | Cond. | Value (m) | Cond. | Value (m) |
| GZ       | 0,200   | II    | 1,426     | XXXI  | 1,103     |
| GM       | 0,150   | I     | 1,513     | XXXII | 1,160     |



Gambar 4. Kurva GZ Pada Kondisi II dan XXXI

Tabel 3. Hasil Analisa Perhitungan Periode Oleng Dan Momen Kopel Kapal

| Criteria                | Max   |          | Min   |          |
|-------------------------|-------|----------|-------|----------|
|                         | Cond. | Value    | Cond. | Value    |
| T (s)                   | XXXII | 8,065    | II    | 7,053    |
| Righting Moment (ton.m) | VI    | 1388,831 | XXVI  | 1023,084 |

Jadi dapat disimpulkan bahwa stabilitas KM. Zaisan Star pada tiap kondisi baik pada saat muatan diisi pada posisi geladak paling atas maupun kombinasinya memiliki momen pengembalik yang besar. Selain itu model kapal ini juga mempunyai nilai area yang lebih besar dari pada batas minimum yang diatur IMO [2] untuk nilai ketinggian maksimum saat kebanjiran yang mengakibatkan tenggelamnya kapal. Dari hasil perhitungan menyatakan bahwa nilai GZ, sudut GZ maksimum, dan nilai GM diatas standart dari IMO [2] yang mengindikasikan bahwa KM. Zaisan Star mempunyai kemampuan balik yang baik.

Karena tujuan dari modifikasi KM. Zaisan Star adalah menghasilkan keuntungan (*profit*) sehingga diharapkan pada saat pelayaran kapal terisi penuh namun tetap aman dari segi stabilitas kapal. Dalam pengisian muatan KM. Zaisan Star ditinjau dari nilai GZ dapat direkomendasikan pengisian geladak dengan mengisi geladak paling bawah (*car deck 1*) terlebih dahulu, kemudian *car deck 2* lalu *motorcycle deck 2* dan terakhir *motorcycle deck 1*.

### 4.2. Analisa Kekuatan Memanjang kapal

Berbeda dengan analisa stabilitas kapal yang harus mengacu pada rules IMO [2], analisa kekuatan memanjang kapal mengacu pada *rules* dari badan klasifikasi dimana dalam penelitian ini klasifikasi yang digunakan adalah Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) [1]. Namun, sama dengan halnya pada analisa stabilitas pada perhitungan kekuatan memanjang kapal diasumsikan dengan 32 kondisi yang menggambarkan kondisi operasional kapal yang mungkin. Pengecekan kekuatan memanjang kapal ini menggunakan perhitungan standar [1].

Berikut adalah hasil analisa kekuatan memanjang berdasarkan pada tiap-tiap kondisi :

1. Kondisi Air Tenang (*Still Water*)

Nilai moment terbesar terdapat pada kondisi I dengan nilai  $1,706 \times 10^3$  ton.m dan nilai terendah terdapat pada

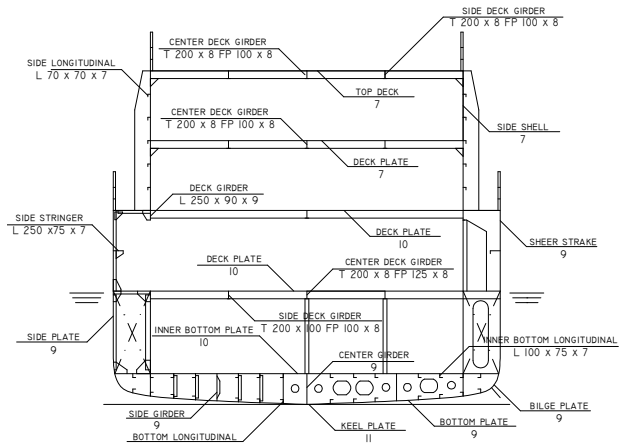
kondisi XXXII dengan nilai  $1,514 \times 10^3$  ton.m.

2. Kondisi *Sagging*

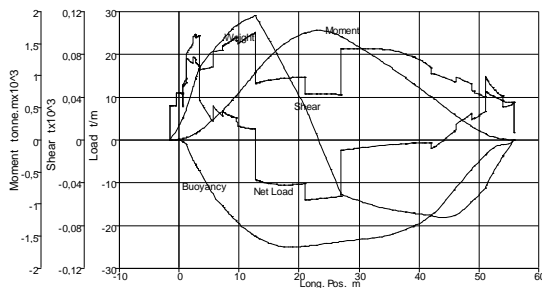
Nilai moment terbesar terdapat pada kondisi I dengan nilai  $2,471 \times 10^3$  ton.m dan nilai terendah terdapat pada kondisi XXXII dengan nilai  $2,252 \times 10^3$  ton.m.

3. Kondisi *Hogging*

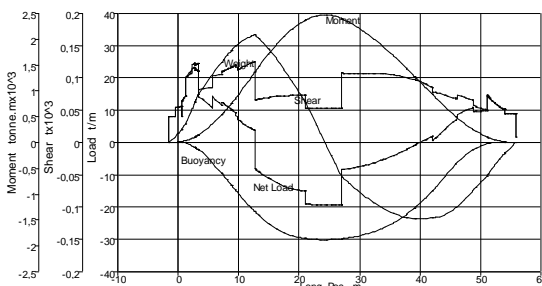
Nilai moment terbesar terdapat pada kondisi I dengan nilai  $661,080 \times 10^3$  ton.m dan nilai terendah terdapat pada kondisi XXXII dengan nilai  $514,797 \times 10^3$  ton.m.



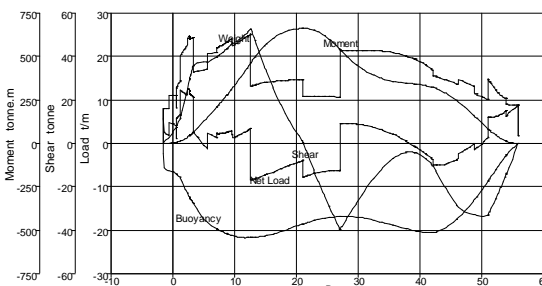
Gambar 8. Gambar *midship section* KM Zaisan Star [6]



Gambar 5. Kurva Kondisi I pada Air Tenang



Gambar 6. Kurva Kondisi I pada *Sagging*



Gambar 7. Kurva Kondisi I pada *Hogging*

Perhitungan modulus penampang kapal dihitung dengan menghitung luas, titik berat dan momen inersia dari pelat dan profil yang termasuk dalam anggota kekuatan memanjang kapal.

Berdasarkan hasil perhitungan modulus penampang pada KM Zaisan Star didapatkan nilai momen inersia ( $I_{na}$ ) sebesar  $289954030080,329 \text{ cm}^4$  atau  $2899,5403 \text{ m}^4$ , nilai modulus penampang alas ( $W_{Bottom}$ ) sebesar  $831989614,906 \text{ cm}^3$  atau  $831,9896 \text{ m}^3$  dan nilai modulus penampang geladak ( $W_{Deck}$ ) sebesar  $1913973769,882 \text{ cm}^3$  atau  $1913,9738 \text{ m}^3$ .

4.2.1. Pengecekan Kekuatan Memanjang Kapal

Berikut adalah hasil perhitungan dan pengecekan kekuatan memanjang kapal berdasarkan standar BKI [1] :

- a. Perhitungan dan pengecekan tegangan
  - Pada Kondisi Air Tenang
 

Dari hasil momen kondisi air tenang didapat  $M_{max}$  sebesar  $170600000 \text{ kg.cm}$ , Sehingga pada geladak  $\sigma_{Deck}$  sebesar  $0,08913 \text{ kg/cm}^2$  atau  $0,0087 \text{ N/mm}^2$  dan pada *bottom*  $\sigma_{Bottom}$  sebesar  $0,2051 \text{ kg/cm}^2$  atau  $0,0201 \text{ N/mm}^2$
  - Pada Kondisi *Sagging*

Dari hasil momen kondisi *Sagging* didapat  $M_{max}$  sebesar  $247100000 \text{ kg.cm}$ , sehingga pada geladak (dalam hal ini kondisi geladak mengalami beban tekan)  $\sigma_{Deck}$  sebesar  $0,1291 \text{ kg/cm}^2$  atau  $0,0127 \text{ N/mm}^2$  dan pada *bottom* (dalam hal ini kondisi alas mengalami beban tarik)  $\sigma_{Bottom}$   $0,2970 \text{ kg/cm}^2$  atau  $0,0291 \text{ N/mm}^2$
  - Pada Kondisi *Hogging*

Dari hasil momen kondisi *hogging* didapat  $M_{max}$  sebesar  $6610800000 \text{ kg.cm}$ , sehingga pada geladak (dalam

hal ini kondisi geladak mengalami beban tarik)  $\sigma_{Deck}$  sebesar 34,5397 kg/cm<sup>2</sup> atau 3,3849 N/mm<sup>2</sup> dan pada *bottom* (dalam hal ini kondisi alas mengalami beban tekan)  $\sigma_{Bottom}$  sebesar 79,4577 kg/cm<sup>2</sup> atau 7,7869 N/mm<sup>2</sup>

Perhitungan Tegangan Ijin Kapal [1] nilai  $\sigma_p$  sebesar 188,8148 N/mm<sup>2</sup>, sehingga dari ketiga tegangan [1] pada semua kondisi maka nilai  $\sigma_{Deck}$  maupun nilai  $\sigma_{Bottom}$  tidak melebihi nilai  $\sigma_p$  sehingga memenuhi standar [1].

- b. Perhitungan dan Pengecekan Modulus  
Modulus penampang kapal [1] tidak boleh kurang dari  $W_{min}$  sebesar 0,1824 m<sup>3</sup>. Pada modulus Penampang Kapal dari Perhitungan Pelat dan Profil ( $W_{Kapal}$ ) dihasilkan  $W_{Deck}$  sebesar 1913973769,8818 cm<sup>3</sup> atau 1913,9738 m<sup>3</sup> dan pada  $W_{Bottom}$  sebesar 831989614,9063 cm<sup>3</sup> atau 831,9896 m<sup>3</sup>. Sehingga jika nilai minimum modulus [1] tersebut dibandingkan dengan perhitungan modulus pelat dan profil maka nilai  $W_{Pelat\&Profil}$  lebih besar dari  $W_{min}$  sehingga nilai ini memenuhi standar [1].
- c. Perhitungan dan Pengecekan Momen Inersia  
Momen inersia [1] tidak boleh kurang dari 0,4103 m<sup>4</sup>. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai  $I_{na}$  sebesar 289954030080,329 cm<sup>4</sup> atau 2899,5403 m<sup>4</sup>. Sehingga dari momen inersia [1] tersebut dibandingkan dengan perhitungan pelat dan profil maka nilai  $I_{na}$  lebih besar dari nilai minimum sehingga nilai ini memenuhi standar [1].

Hasil perhitungan untuk tegangan, modulus dan momen inersia dari KM Zaisan Star semuanya memenuhi syarat yang ditentukan *BKI 2013 Volume II Rules for Hull* [1].

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu analisa pengaruh pengisian geladak terhadap stabilitas dan kekuatan memanjang kapal KM Zaisan Star, diperoleh kesimpulan bahwa:

1. Analisa menunjukkan bahwa stabilitas pada semua kondisi dinyatakan memenuhi standar kriteria[2]. Hasil

analisa stabilitas kapal menunjukkan nilai GZ tertinggi terdapat pada kondisi II dengan 1,426 m dan terendah pada kondisi XXXI dengan 1,103 m sedangkan kriteria minimum adalah 0,200 m.

2. Berdasarkan Hasil Perhitungan, menunjukkan bahwa nilai tegangan, modulus dan momen inersia pada semua kondisi dinyatakan memenuhi standar [1]. Pada analisa kekuatan memanjang kapal diperoleh nilai tegangan geladak kondisi air tenang 0,0087 N/mm<sup>2</sup>, *sagging* 0,0127 N/mm<sup>2</sup> dan *hogging* 3,3849 N/mm<sup>2</sup> serta tegangan alas kondisi air tenang 0,0201 N/mm<sup>2</sup>, *sagging* 0,0291 N/mm<sup>2</sup> dan *hogging* 7,7869 N/mm<sup>2</sup>, nilai tegangan geladak maupun tegangan alas tidak melebihi nilai tegangan ijin kapal 188,8148 N/mm<sup>2</sup>.

### 5.2. Saran

Adapun saran dan rekomendasi penulis untuk penelitian lebih lanjut antara lain:

1. Perlu dilakukan suatu penelitian lebih lanjut tentang kekuatan struktur kapal KM Zaisan Star yang telah dimodifikasi ruang muatnya.
2. Perlu untuk melakukan analisa menggunakan metode pendekatan lainnya atau metode pendekatan elemen seperti *finite element*.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biro Klasifikasi Indonesia. 2013. *Rules For The Clasification and Construction of Seagoing Steel Ships : Rules For Hull V.2*. Jakarta : Biro Klasifikasi Indonesia.
- [2] International Maritime Organization. 2002. *Code on Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments 2002 Edition*, International Maritime Organization, London.
- [3] Rawson, K.J., E.C. Tupper. 2001. *Basic Ship Theory fifth edition Volume I*. Butterworth Heinemann, Oxord British.
- [4] Santoso, IGM, Sudjono, YJ. 1983. *Teori Bangunan Kapal*. Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Indonesia.
- [5] PT. Pelayaran Nasional Indonesia. 2013. *Camar (Caraka Maritim) Edisi*

- 19 Tahun 2013*. PT Pelayaran Nasional Indonesia, Jakarta.
- [6] PT. Zaisan Citra Mandiri. 2013. *Gambar Teknik KM Zaisan Star*. PT. Zaisan Citra Mandiri, Jakarta.