

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapal Kontainer

Menurut Capt. Suzdayan M. Mar, kapal kontainer merupakan sebuah kapal yang dirancang dengan khusus untuk memuat kontainer. Biasanya pada kapal jenis ini akan dilengkapi dengan peralatan untuk dudukan serta penahan kontainer (*container base cone*) yang sering disebut sepatu kontainer. Demikian juga untuk bagian geladak harus cukup kuat untuk menahan kontainer yang diangkutnya. Kapal kontainer ditunjukkan seperti pada Gambar 2.1 berikut (Haryanto,2020).



Gambar 2. 1 Kapal Kontainer

(Sumber: Buku *Ship Knowledge*,2003)

2.2. Kekuatan Kapal

Kekuatan kapal merupakan salah satu aspek terpenting dalam mendesain suatu kapal. Kekuatan kapal berkaitan dengan kemampuan struktur kapal dalam menahan beban yang bekerja pada kapal (beban internal kapal dan beban eksternal).

Salah satu parameter kekuatan yang paling penting adalah kekuatan memanjang (*longitudinal strength*) pada kapal. Kekuatan memanjang ini dipengaruhi oleh tekanan membujur yang terjadi pada badan kapal dimana jika di Indonesia telah diatur oleh Biro Klasifikasi Indonesia.

2.2.1. Kekuatan Konstruksi Memanjang Kapal

Salah satu persyaratan klasifikasi untuk kapal dengan panjang lebih dari 65 m adalah kekuatan memanjang (*longitudinal strength*). Kekuatan memanjang (*longitudinal strength*) kapal mengacu pada perhitungan kekuatan kapal secara membujur untuk menopang beban muatan dan beban kapal itu sendiri saat berlayar di perairan tenang atau bergelombang.

Saat kapal berlayar di laut lepas, kondisi lingkungan akan menjadi kendala yang akan menguji kekuatan konstruksi kapal tersebut. Mulai dari kerasnya ombak yang akan menabrak kapal yang akan membuat konstruksi kapal bergerak liar. Suatu saat haluan kapal akan terangkat sebelum kemudian dihempaskan hingga tenggelam ke dalam air. Jika pengaruh inersia diabaikan, maka beban yang bekerja pada kapal hanya berasal dari gravitasi dan tekanan air. Sangat mustahil untuk ditemui suatu kondisi dimana gravitasi dan tekanan air saling menghilangkan atau disebut juga kondisi ideal. Bahkan pada air tenang, gravitasi dan tekanan air akan memiliki nilai yang berbeda dan perbedaan tersebut akan semakin besar pada perairan yang bergelombang. Hal ini akan mengakibatkan perbedaan beban di sepanjang badan kapal yang menyebabkan badan kapal melengkung. Jika hal ini terjadi berulang – ulang maka akan menimbulkan kerusakan pada struktur kapal.

Untuk mencegah hal tersebut, perlu diperhatikan kondisi dimana puncak gelombang ada di bagian tengah kapal atau disebut juga kondisi hogging dan yang kedua ketika puncak gelombang ada di bagian ujung kapal atau kondisi sagging seperti ilustrasi yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 (Hidayat,2017).



Gambar 2. 2 Kondisi *Sagging* dan *Hogging*

(Sumber: Djatmiko,2012)

2.3. Faktor Keamanan

Faktor keamanan adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik dari beban luar, yaitu berupa beban tekan maupun tarik. Suatu gaya yang dibutuhkan agar tingkat optimal bahan terjadi di dalam menahan beban eksternal sampai akhirnya menjadi patah/pecah disebut dengan beban *ultimate* (*ultimate load*). Kekuatan *ultimate* (*ultimate strength*) atau tegangan *ultimate* (*ultimate stress*) dari suatu bahan akan didapatkan dengan membagi beban *ultimate* tersebut dengan luas penampang. Untuk desain bagian-bagian struktur tingkat tegangan disebut tegangan ijin (*allowable stress*) dibuat lebih rendah daripada kekuatan *ultimate* yang diperoleh dari pengujian “statis”. Ini penting untuk berbagai pertimbangan (Yunanto, 2013). Suatu perbandingan (*ratio*) yang penting dapat ditulis seperti persamaan 2.1 di bawah ini:

$$FS = \frac{Yield\ Strength}{Working\ Stress} \quad (2.1)$$

Pebandingan di atas disebut dengan faktor keamanan (*safety factor*) dimana hasil perbandingan tersebut tidak kurang dari satu. (Yuwantoro, 2019).

2.4 Pembebanan Pada Kapal

Suatu kapal diciptakan dengan tujuan untuk mengangkut barang dan penumpang melalui perariran dan juga untuk dapat bekerja pada saat berlabuh dan *docking*, kapal mendapat beban yang tetap saat dalam kondisi diam, akan tetapi pada waktu berlayar dan bekerja beban yang diterima selalu berubah-ubah. Perubahan beban tersebut ada yang terjadi dengan cepat, namun ada juga yang terjadi secara perlahan-lahan. Beban yang diterima oleh kapal kontainer adalah beban-beban statis yang diasumsikan berasal dari pembebanan *container* yang ditumpuk. Adapun jenis-jenis beban yang bekerja pada kapal antara lain:

- a. Beban statis, adalah beban yang berubah apabila berat total kapal berubah, sebagai akibat kegiatan bongkar muat, pemakaian bahan bakar, atau perubahan kapal itu sendiri. Pembebanan statis ini merupakan jenis pembebanan yang bersifat tetap, dalam hal ini adalah pembebanan dengan asumsi besarnya tidak berubah.
- b. Beban dinamis, beban yang nilainya berubah terhadap waktu dengan frekuensi tertentu yang menimbulkan respon getaran terhadap struktur kapal.
- c. Beban tumbuk, beban yang terjadi akibat *slamming* atau pukulan gelombang pada lunas, haluan, atau bagian kapal lainnya termasuk masuknya air diatas geladak (Damanik, 2016).

2.5 Tegangan

Tegangan merupakan suatu perbandingan antara beban yang diberikan terhadap luas penampang, atau dapat dituliskan oleh persamaan 2.2 berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

Dimana:

σ = Tegangan (N/m² atau Pascal)

F = Gaya (N)

A = Luas Penampang (m²)

Jika gaya tersebut tegak lurus terhadap permukaan benda (luas yang akan diperhitungkan), maka tegangan itu disebut sebagai tegangan normal. Jika gaya yang terjadi ke benda berarah tangensial terhadap permukaan benda, maka tegangan tersebut adalah tegangan geser. Lalu apabila gaya tersebut menyebabkan benda mengalami pertambahan panjang, maka tegangan itu disebut tegangan *tensile*. Sebaliknya jika gaya menyebabkan berkurangnya panjang benda maka tegangan tersebut disebut tegangan kompresional. Terdapat berbagai macam jenis tegangan yaitu tegangan puntir, tegangan normal, tegangan tarik, tegangan tekan dan tegangan lengkung.

2.5.1 Tegangan Ijin

Tegangan yang mengakibatkan suatu konstruksi mengalami deformasi yang besar, dimana deformasi yang terjadi tersebut merupakan batas konstruksi masih aman dalam mengatasi beban yang terjadi atau yang bekerja itulah yang disebut tegangan ijin. Kriteria konstruksi disebut masih aman jika tegangan maksimum pada konstruksi tersebut lebih kecil dibandingkan dengan nilai tegangan ijin yang telah ditentukan. Berdasarkan *rules* BKI Vol II *Section* 5.C.1.1 untuk mencari tegangan ijin dapat dihitung menggunakan persamaan 2.3 (BKI, 2019).

$$\sigma_p = C_s \times \sigma_{p0} \tag{2.3}$$

Dimana:

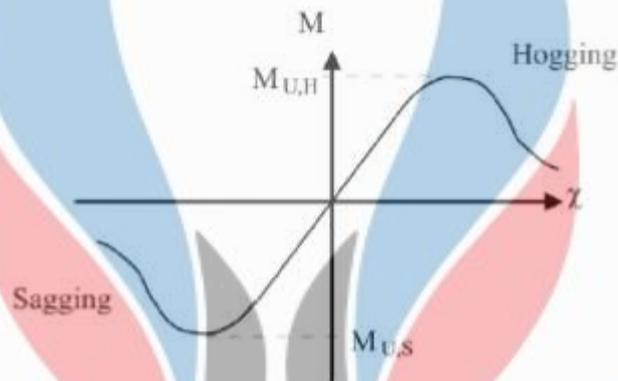
σ_p = Tegangan memanjang kapal yang diijinkan (N/mm²)

$$C_s = 0.5 + \frac{5}{3} \cdot \frac{x}{L} \quad \text{untuk } 0 \leq x/L < 0,30$$
$$= 1,0 \quad \text{untuk } 0,30 \leq x/L \leq 0,70$$
$$= \frac{5}{3} \left[1,3 - \frac{x}{L} \right] \quad \text{untuk } 0,70 < x/L \leq 1,0$$

$$\sigma_{p0} = 18,5 \frac{\sqrt{L}}{k} \quad \text{untuk } L \leq 90 \text{ m}$$
$$= \frac{175}{k} \quad \text{untuk } L \geq 90 \text{ m}$$

2.6 Momen Lentur Vertikal

Momen lentur terjadi ketika gaya terjadi pada suatu struktur dari suatu titik acuan tertentu hingga menyebabkan efek lentur (*bending*) pada struktur tersebut. Jika tidak ada penahan pada struktur, maka akan menyebabkan struktur berputar pada titik tertentu. Adapun hubungan antara kekuatan batas momen lentur dan kelengkungan seperti terlihat pada Gambar 2.3 berikut (BKI, 2019):



Gambar 2. 3 Grafik Kekuatan Momen Lentur dan Kelengkungan

(Sumber: BKI, 2019).

2.6.1 Momen Lentur Vertikal Pada Kondisi Air Tenang

Adapun nilai momen lentur gelombang vertikal pada kondisi air tenang (M_{sw}) dapat dihitung menggunakan persamaan 2.8 berikut (BKI, 2019):

$$M_{sw} = n_1 \times c_0 \times L^2 \times B \times (0,123 - 0,015C_B) \quad (2.4)$$

Dimana:

$$n_1 = 1,07 \times [1 + 15 \times \left(\frac{n}{10^5}\right)^2] \leq 1,2$$

n = jumlah maksimum peti kemas 20 feet (TEU) dengan berat G yang dapat diangkut kapal

C_0 = koefisien gelombang

L = panjang kapal

B = lebar kapal

C_b = koefisien blok

2.6.2 Momen Lentur Vertikal Pada Kondisi Bergelombang

Momen lentur pada kondisi bergelombang disebabkan akibat gelombang paling dominan terhadap struktur terpuung. Berdasarkan rules BKI Vol II Section 5.B.3.1, perhitungan beban gelombang vertikal dapat dihitung menggunakan persamaan 2.9 berikut (BKI, 2019):

$$M_{WV} = L^2 \times B \times C_o \times C_I \times C_L \times C_M \quad (2.5)$$

Dimana:

L = panjang kapal (m)

B = lebar kapal (m)

C_o = koefisien gelombang

C_I = kondisi *sagging* atau *hogging*

C_{IH} = 0.19 C_b kondisi *hogging*

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

C_L = koefisien panjang

C_M = faktor distribusi

2.6.3 Momen Total Lentur Vertikal

Momen total lentur vertikal dalam analisis kekuatan struktur kapal terdiri dari beban pada air tenang (M_{sw}) untuk skenario pembebanan statis dan penjumlahan beban pada air tenang (M_{sw}) dan beban akibat gelombang (M_w) untuk skenario pembebanan statis dan dinamis. Menjumlahkan momen lentur vertikal pada air tenang dan momen lentur vertikal akibat gelombang untuk mendapatkan nilai ekstrim dari momen lentur vertikal.

Ketika kapal berada pada puncak gelombang, kapal mengalami momen lentur dan gaya geser yang disebut *hogging*. Ketika kapal berada di lembah gelombang, kapal mengalami momen lentur dan gaya geser yang disebut *sagging*. Kombinasi beban statis dan dinamis (M_t) untuk menganalisa kekuatan kapal terhadap momen lentur vertikal dihitung dengan penjumlahan momen lentur vertikal pada air tenang dan momen lentur vertikal akibat gelombang seperti persamaan 2.6 di bawah ini:

$$M_T = M_{SW} + M_{WV} \quad (2.6)$$

Dimana:

M_T = Momen total lentur vertikal

M_{SW} = Momen lentur vertikal pada kondisi air tenang

M_{WV} = Momen lentur vertikal pada kondisi bergelombang

Kemudian, momen batas kapal kontainer (M_u) harus dihitung dengan metode *NLFEA* atau metode *buckling* dan harus memenuhi kriteria seperti persamaan 2.7 di bawah ini:

$$\gamma_R \leq \frac{M_u}{M_T} \quad (2.7)$$

Dimana M_t adalah momen lentur vertikal total dan γ_R adalah faktor keamanan untuk kekuatan batas lentur vertikal yaitu 1,2 untuk kondisi *sagging* dan 1,2 untuk kondisi *hogging* (BKI, 2019).

2.7 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan suatu metode numerik yang cocok untuk digunakan dengan komputer digital, dengan metode ini suatu *elastic* kontinum akan dibagi-bagi (*discretized*) menjadi beberapa substruktur (elemen) yang kemudian defleksi dari tiap titik (*node*) akan dihubungkan dengan pembebanan, properti material, *property geometric* dan lain-lain menggunakan matriks. Metode ini telah diterapkan secara luas untuk menyelesaikan berbagai persoalan mekanika dengan geometri yang kompleks. Beberapa hal yang membuat metode ini favorit adalah karena secara komputasi sangat efisien, memberikan solusi yang cukup akurat terhadap permasalahan yang kompleks dan untuk beberapa permasalahan (Alam, 2005).

2.8 Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai acuan terhadap pengerjaan tugas akhir ini ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

| No | Nama | Judul | Tahun | Hasil Penelitian |
|----|---|---|-------|--|
| 1. | Imam Pujo. M, Berlian AA, Rachmat Alif Maulana | <i>Srength Analysis of Container Deck Construction MV. Sinar Demak Efect of Charges Container Using Finite Element Method</i> | 2012 | <p>1. Karakteristik tegangan pada <i>container deck</i> MV. Sinar Demak dalam beberapa variasi kondisi dengan menggunakan <i>software</i> berbasis elemen hingga adalah untuk kondisi air tenang tegangan maksimum terjadi pada <i>node</i> 88218 tepat pada gading no 6 sebesar 184 N/mm², pada kondisi <i>hogging</i> tegangan maksimum terjadi pada <i>node</i> 88218 tepat pada gading no 6 sebesar 184 N/mm², dan pada kondisi <i>sagging</i> tegangan maksimum terjadi pada <i>node</i> 89696 tepat pada gading no 23 sebesar 247 N/mm².</p> <p>2. Tegangan Maksimum terbesar terjadi pada kondisi <i>container deck</i> dengan muatan pada posisi <i>sagging</i> yaitu senilai 247 N/mm² terjadi pada <i>node</i> 89696 tepat pada gading no 23.</p> <p>3. <i>Safety factor</i> yang dihasilkan kondisi air tenang dari kekuatan material sebesar 2,17 dan dari</p> |

| No | Nama | Judul | Tahun | Hasil Penelitian |
|----|--|--|-------|--|
| | | | | <p>perhitungan BKI sebesar 1,55. Untuk <i>safety factor</i> yang dihasilkan kondisi <i>hogging</i> dari kekuatan material sebesar 2,17 dan dari perhitungan BKI sebesar 1,55. Dan untuk <i>safety factor</i> yang dihasilkan kondisi <i>sagging</i> dari kekuatan material sebesar 1,61 dan dari perhitungan BKI sebesar 1,157.</p> |
| 2. | Imam Pujo Mulyatno, Anggriawan Pratama | Analisa Kekuatan Konstruksi <i>Car deck</i> Pada Kapal KM. Dharma Ferry 3 Dengan Metode Elemen Hingga. | 2011 | <p>1. Karakteristik tegangan pada <i>car deck</i> KM. Dharma Ferry 3 pada kondisi <i>car deck</i> tanpa muatan adalah 0,1444 N/mm², untuk kondisi <i>car deck</i> dengan muatan adalah 28,7 N/mm², untuk kondisi <i>hogging</i> adalah 358 N/mm², dan untuk kondisi <i>sagging</i> adalah 482 N/mm².</p> <p>2. Tegangan maksimum terbesar terjadi pada kondisi <i>car deck</i> dengan muatan kendaraan pada posisi <i>sagging</i> yaitu senilai 482 N/mm² dimana daerah paling kritis terjadi pada <i>node</i> 52. Tegangan ini tergolong tidak aman karena setelah dibandingkan dengan tegangan ijin (σ ijin) berdasarkan <i>rules</i></p> |

| No | Nama | Judul | Tahun | Hasil Penelitian |
|----|--|---|-------|--|
| | | | | <p>BKI sebesar 216 N/mm^2 memiliki faktor keamanan (<i>safety factor</i>) sebesar 0,44 (memiliki faktor keamanan dibawah 1).</p> <p>Setelah dilakukan penambahan ketebalan pelat menjadi 26 mm dan penambahan REH material menjadi 390 N/mm^2, maka tegangan maksimum dapat diperkecil menjadi sebesar 323 N/mm^2 dimana daerah paling kritis terjadi pada <i>node</i> 52. Tegangan ini aman karena setelah dibandingkan dengan tegangan ijin (σijin) berdasarkan <i>rules</i> BKI sebesar $323,23 \text{ N/mm}^2$ memiliki faktor keamanan (<i>safety factor</i>) sebesar 1,01 (memiliki faktor keamanan diatas 1).</p> |
| 3 | Aziz Mukhsin, Imam Pujo Mulyatno, Sarjito Joko Sisworo | Analisa Kekuatan Memanjang Konstruksi <i>Car Deck</i> Akibat Penambahan <i>Deck</i> Pada Ruang Muat Kapal Motor | 2016 | <p>1. Berdasarkan kondisi pembebanan yang direncanakan setelah dilakukan analisa diperoleh nilai tegangan maksimal/<i>maximum stress</i> terbesar yang terjadi pada sistem konstruksi <i>car deck</i> kapal motor zaisan star 411 <i>DWT</i> adalah pada kondisi</p> |

| No | Nama | Judul | Tahun | Hasil Penelitian |
|----|------------|----------|-------|--|
| | Zaisan | Star 411 | | pembebanan I senilai 42 Mpa. |
| | <i>DWT</i> | Dengan | | Pada kondisi pembebanan II |
| | Metode | Elemen | | senilai 16,6 Mpa. Pada kondisi |
| | Hingga. | | | pembebanan III pada 26 Mpa. |
| | | | | Pada kondisi gelombang |
| | | | | <i>hogging</i> senilai 32,5 Mpa. Pada |
| | | | | kondisi gelombang <i>sagging</i> |
| | | | | senilai 42,1 Mpa. Dan pada |
| | | | | kondisi gelombang air tenang |
| | | | | senilai 37 Mpa. |
| | | | | 2. Berdasarkan kedua hasil |
| | | | | perhitungan <i>safety factor</i> yaitu |
| | | | | menurut kriteria bahan dan |
| | | | | standart BKI (Indonesia) |
| | | | | tersebut dapat disimpulkan |
| | | | | bahwa sistem konstruksi <i>car</i> |
| | | | | <i>deck</i> dinyatakan aman |
| | | | | (memenuhi) dalam pembebanan |
| | | | | terhadap beban muatan dan |
| | | | | terhadap gelombang air laut |
| | | | | setelah dilakukan analisa karena |
| | | | | memenuhi persyaratan <i>safety</i> |
| | | | | <i>factor</i> yaitu nilai <i>safety factor</i> |
| | | | | harus lebih dari 1 (satu). |

Dalam penelitian terkait kekuatan *deck* kapal, diketahui bahwa tegangan maksimum terbesar terjadi pada kondisi gelombang *sagging*. Kemudian berdasarkan hasil perhitungan *safety factor* dapat disimpulkan bahwa sistem konstruksi *deck* yang tidak memenuhi persyaratan terjadi pada kondisi gelombang *sagging*. Solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan ini yaitu

www.itk.ac.id

dengan melakukan penebalan pelat yang digunakan dan peningkatan nilai *REH*. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan mengganti jenis kapal yang diteliti sehingga akan diperoleh hasil kekuatan *deck* untuk jenis kapal yang berbeda dan dapat diketahui persamaan atau perbedaan dengan hasil penelitian sebelumnya.



www.itk.ac.id