

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Accommodation Work Barge*

Accommodation Work Barge atau disingkat *AWB* merupakan jenis kapal tongkang kerja yang tidak memiliki alat penggerak sendiri yang pada prinsipnya dipakai sebagai tempat akomodasi bagi karyawan perusahaan yang bergerak dibidang pengeboran minyak lepas pantai maupun perusahaan lainnya yang bergerak dibidang kemaritiman. Kapal *AWB* ini dibuat agar dapat menampung lebih dari 36 orang termasuk ABK. Kapal *AWB* ini dapat melayani akomodasi bagi karyawan perusahaan saat kapal telah ditambatkan, oleh karena itu kapal ini cenderung diam dan baru dapat dipindahkan dengan bantuan Tugboat (American Bureau of Shipping, 2014). Adapun kapal *AWB* yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 sebagai berikut.



Gambar 2.1 *Accommodation Work Barge*

2.2 *Safety Factor*

Faktor keamanan adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik menerima beban dari luar, yaitu beban tekan maupun tarik. Gaya yang diperlukan agar terjadi tingkat optimal bahan di dalam menahan beban dari luar akhirnya menjadi pecah disebut dengan beban ultimate (*ultimate load*). Dengan membagi beban *ultimate* ini dengan luas penampang, kita akan memperoleh kekuatan *ultimate* (*ultimate strength*) atau tegangan *ultimate* (*ultimate stress*) dari suatu bahan. Untuk desain bagian – bagian struktur tingkat tegangan disebut tegangan ijin (*allowable stress*) dibuat benar – benar lebih rendah dari pada kekuatan ultimate yang diperoleh dari pengujian “*statis*”. Hal ini penting untuk berbagai pertimbangan. Besar

gaya yang dapat bekerja pada bangunan yang dirancang jarang diketahui secara pasti. Karena tegangan dikalikan luas sama dengan gaya, maka tegangan ijin dari *ultimate* dapat diubah dalam bentuk gaya atau beban yang diijinkan dan *ultimate* yang dapat ditahan oleh sebuah batang. Suatu perbandingan (ratio) yang penting dapat ditulis :

$$FS = \frac{\sigma_{Ultimate}}{\sigma_{Ijin}} \quad (2.1)$$

Perbandingan ini disebut faktor keamanan (*factor of safety*) dan harus lebih besar dari satu. Faktor ini identik dengan perbandingan antara tegangan *ultimate* dengan tegangan ijin batang tarik (Wahyu Dwi Yuanto, 2013).

23 Konsep Pembebanan

Analisa *fracture mechanics* merupakan bentuk analisa lokal dari sebuah struktur. Pembebanan yang bekerja pada analisa ini adalah pembebanan lokal yang diambil dari hasil analisa global suatu suatu struktur secara keseluruhan. Oleh karena itu dibutuhkan pemahaman yang baik mengenai pembebanan secara global bangunan lepas pantai. Pada penelitian ini, pembebanan global untuk beban lingkungan yang ditinjau adalah hanya beban gelombang (dua puncak gelombang pada kedua ujung barge dan satu puncak gelombang pada mid-ship).beban dapat digolongkan sebagai berikut.

2.3.1 Beban Statis

Beban statis adalah beban yang tidak berubah besarnya maupun arahnya atau beban yang perubahannya sedikit sekali. Beban semacam ini biasanya dapat ditentukan dan dihitung dengan teliti. Yang termasuk dalam beban jenis ini adalah gaya tarik bumi pada massa badan dan permesinan kapal, pada massa muatan kapal, gaya tekan air keatas, gaya reaksi tanah pada waktu kapal kandas, gaya reaksi balok lunas pada waktu kapal dilimungkan dan lain-lain. Sedangkan beban statis quasi semu adalah beban yang berubah besarnya maupun arahnya secara lambat atau perubahannya tersebut terjadi dalam selang waktu yang jauh lebih besar dari waktu getar badan kapal ataupun bagian-bagiannya. Yang termasuk dalam jenis beban ini adalah :

- a) Beban akibat perubahan tekanan air keatas pada air yang bergelombang. jika kecepatan maju kapal searah dan hampir sama besarnya dengan kecepatan maju gelombang.
- b) Beban yang dialami pada saat kapal diluncurkan.
- c) Beban akibat dorongan baling-baling dan porosnya pada beban kapal

sewaktu kapal berlayar.

- d) Beban tarik pada waktu kapal ditunda dan lain-lain.

2.3.2 Beban Dinamis

Beban Dinamis dalam hal ini perubahan terjadi dengan cepat, beban yang berubah dengan cepat ini disebut beban dinamis. Dalam hal ini, beban yang terjadi tidak hanya disebabkan oleh akibat gaya tarik bumi saja, tetapi juga beban inersia. Beban inersia adalah beban yang timbul akibat massa kapal dan muatannya mendapatkan percepatan yang bukan percepatan gaya tarik bumi. Pada umumnya beban dinamis menimbulkan getaran, baik pada badan kapal secara menyeluruh maupun pada bagian seperti sekat, pelat sisi dan sebagainya. Yang termasuk beban jenis ini adalah :

- a) Beban daMParan daMParan ombak pada anak kapal bergerak maju dengan cepat melawan arah gelombang
- b) Beban yang terjadi waktu tubrukan
- c) Beban yang terjadi pada saat benturan dengan kapal lain atau dermaga
- d) Beban dinamis ini lebih berbahaya daripada beban statis maupun beban statis semu, sebab dapat menimbulkan retak atau patah akibat kelelahan materialnya (Malruhu, 2011).

24 Tegangan (*Stress*)

Tegangan didefinisikan sebagai tahanan terhadap gaya-gaya luar. Ini diukur bentuk dalam bentuk gaya per satuan luas. Tegangan menunjukkan kekuatan gaya yang menyebabkan perubahan bentuk benda. Tegangan (*stress*) didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada benda dengan luas penampang benda. Dalam praktek “tegangan” sering memberikan dua pengertian : (1) gaya per satuan luas, (2) tegangan total adalah gaya total pada suatu bidang (Jensen, 1983).

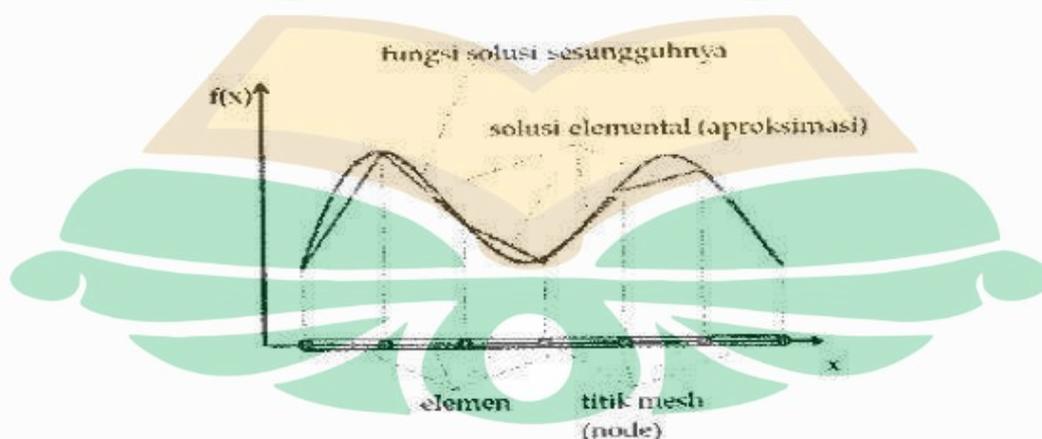
$$\sigma = \frac{\text{gaya}}{\text{luas permukaan}} = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

Dimana F adalah suatu gaya yang bekerja tegak lurus terhadap potongan, sedangkan A merupakan luas yang bersangkutan. Selain itu tegangan normal dapat menghasilkan tegangan tarik (*tensile stress*), tegangan tekan (*compressive stress*) dan tegangan geser (*shearing stress*) (Popov, 1978).

25 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah suatu metode numerik yang cocok di gunakan dengan komputer digital, dengan metode ini suatu *elastic kontinum* dibagi-bagi (*discretized*) menjadi beberapa substruktur (*elemen*) yang kemudian dengan menggunakan matriks, defleksi dari tiap titik (*node*) akan dihubungkan dengan pembebanan, properti material, *property geometric* dan lain-lain. Metode elemen hingga telah digunakan 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).

Proses inti *MEH* adalah membagi problem yang kompleks menjadi bagian-bagian kecil atau elemen-elemen dari mana solusi yang lebih sederhana dapat dengan mudah diperoleh. Solusi dari setiap elemen jika digabungkan akan menjadi solusi problem secara keseluruhan. Gambar 2.5 menjelaskan cara kerja *MEH* di mana solusi suatu problem yang kompleks diaproksimalkan oleh solusi elemen. Untuk mendapatkan solusi elemental, *MEH* menggunakan fungsi interpolasi untuk mengaproksimalkan solusi elemen. Untuk contoh ini suatu fungsi linear yang sederhana dipergunakan sebagai fungsi interpolasi. Setelah solusi setiap elemen diperoleh, dengan menggabungkan solusi-solusi elemen maka solusi keseluruhan problem dapat diperoleh. Dengan menggunakan fungsi polinomial seperti fungsi kuadratik sebagai fungsi interpolasi, solusi yang lebih akurat bisa diperoleh (Hajar Isworo, 2018). Adapun Aproksimasi solusi keseluruhan diperoleh dari gabungan solusi-solusi elemen dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Aproksimasi solusi keseluruhan diperoleh dari gabungan solusi-solusi elemen

2.6 Regangan

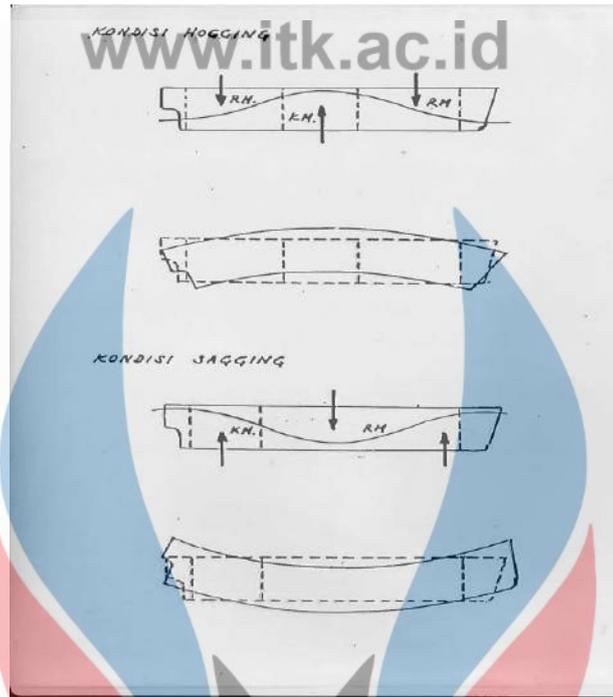
Regangan merupakan perubahan relatif ukuran atau bentuk suatu benda yang mengalami tegangan. Regangan dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang benda terhadap panjang benda mula-mula. Selain itu regangan menjadi tolok ukur seberapa jauh benda tersebut berubah bentuk. Perpanjangan per satuan luas disebut regangan (*strain*). Ia adalah besaran yang tidak berdimensi, tetapi lebih baik kita memberinya memiliki dimensi meter per meter atau m/m. Kadang - kadang regangan diberikan dalam bentuk proses. Besaran regangan ϵ sangat kecil, kecuali untuk beberapa bahan seperti karet. Bila regangan tersebut diketahui, maka deformasi total dari pembebanan aksial adalah ϵL (Popov,1987).

2.7 Kekuatan Memanjang Kapal

Ketika kapal berlayar di laut lepas, keadaan lingkungan akan menjadi suatu hambatan yang akan menguji kekuatan struktur kapal tersebut. Mulai dari kerasnya ombak yang akan menabrak kapal yang akan membuat struktur kapal bergerak liar. Suatu saat haluan kapal akan terangkat ke atas sebelum kemudian diheMPaskan hingga terbenam oleh permukaan air.

Jika kita mengabaikan efek inersia, maka beban yang bekerja pada kapal hanya berasal dari dua jenis saja yaitu gravitasi dan tekanan air. Kondisi ideal dimana gravitasi dan tekanan air akan saling menghilangkan merupakan suatu kondisi yang mustahil ditemui. Bahkan ketika berada di air tenang, gravitasi dan tekanan air akan mempunyai nilai yang berbeda dan perbedaannya akan semakin besar pada perairan yang tidak tenang. Hal ini akan menyebabkan perbedaan beban sepanjang badan kapal yang membuat badan kapal menjadi melengkung. Jika hal ini terus terjadi berulang – ulang maka akan menimbulkan kegagalan pada struktur kapal.

Untuk mencegah hal ini, 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 2.3 sebagai berikut.

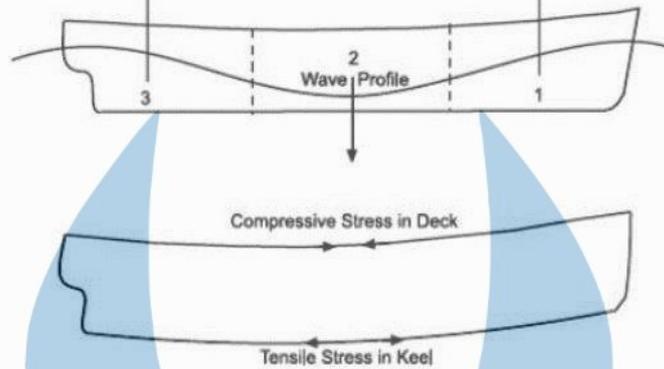


Gambar 2.3 Pendistribusian beban pada kapal dalam kondisi bergelombang (dokumen.com, 2015).

Salah satu parameter yang paling penting dalam membangun kapal adalah *longitudinal strength* (kekuatan memanjang). Kekuatan kapal ini berhubungan pada kemampuan struktur kapal untuk bertahan oleh beban yang ditimbulkannya, baik berupa beban internal maupun eksternal, yang diperkirakan oleh adanya pengaruh tekanan memanjang pada lambung kapal (Norman Yasser Arrazi, 2015).

2.7.1 Kondisi *Sagging*

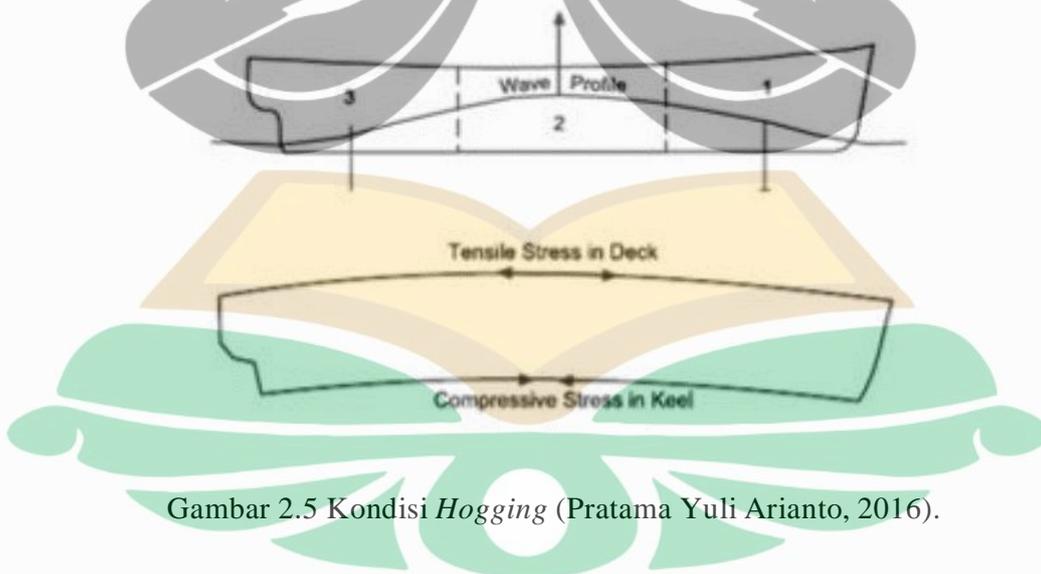
Apabila muatan dipusatkan pada bagian tengah kapal, sehingga kapal tertekan pada bagian tengahnya yang mengakibatkan bentuk kapal hampir menyerupai huruf “U”. *Sagging* juga bisa terjadi karena adanya dua puncak gelombang yang berada di bagian depan dan belakang kapal, sehingga gaya ke atas kapal lebih besar pada bagian depan dan belakang namun pada bagian tengah kapal mengalami gaya ke bawah yang lebih besar. Kondisi kapal yang mengalami *sagging* seperti terlihat pada Gambar 2.4 di bawah ini:



Gambar 2.4 Kondisi *Sagging* (Pratama Yuli Arianto, 2016).

2.7.2 Kondisi *Hogging*

Apabila muatan dipusatkan pada bagian depan dan belakang kapal, sehingga kapal tertekan pada bagian ujung-ujungnya yang mengakibatkan bentuk kapal hampir menyerupai huruf “n”. *Hogging* juga bisa terjadi karena adanya satu puncak gelombang yang berada di tengah kapal, sehingga gaya ke atas kapal lebih besar pada bagian tengah kapal namun pada bagian depan dan belakang kapal mengalami gaya ke bawah yang lebih besar. Kondisi Kapal yang mengalami *Hogging* seperti terlihat pada Gambar 2.5 di bawah ini:



Gambar 2.5 Kondisi *Hogging* (Pratama Yuli Arianto, 2016).

Syarat keseimbangan benda terapung adalah resultan gaya berat sama dengan resultan gaya tekan ke atas dengan arah berlawanan dan terletak disatu garis vertikal. Pemeriksaan kekuatan kapal diawali dengan perhitungan untuk

kondisi kapal di air tenang, kemudian dilanjutkan untuk keadaan bergelombang (Budie Santosa, 2013).

2.8 Fresh Water

Menurut buku yang berjudul permesinan bantu yang disusun oleh BP3IP (2005), bahwa *fresh water generator* adalah pembuat air tawar dengan jalan menguapkan air laut didalam penguapan (evaporator) dan uap air laut tersebut di dinginkan dengan cara pengembunan (*kondensasi*) di dalam pengembun (destilasi/kondensor) sehingga menghasilkan air kondensasi yang disebut *fresh water*. *Fresh Water Generator*, merupakan salah satu pesawat bantu yang penting diatas kapal. Hal ini di karenakan dengan menggunakan FWG dapat menghasilkan air tawar yang dapat digunakan untuk minum, masak, mencuci dan bahkan menjalankan mesin penting lainnya yang menggunakan air tawar sebagai media pendingin. Pesawat pembuat air tawar pada kapal yang umumnya digunakan adalah dengan metode evaporasi yaitu penguapan air laut dengan memanfaatkan panas dari air pendingin mesin utama. Suhu air pendingin yang keluar dari jacket water 70 C dimanfaatkan untuk memanaskan air laut yang ditampung dalam *fresh water generator*, agar terjadi penguapan, *fresh water generator* divakumkan sehingga untuk menguapkan air laut cukup dengan temperatur 60 C selanjutnya uap air laut diembunkan sehingga terbentuk air tawar. Untuk menjamin agar kebutuhan air tawar dikapal terpenuhi maka perencanaan air tawar dikapal harus diperhitungkan dengan cermat, disamping ituantisipasi terjadi kerusakan harus selalu diutamakan dengan cara perawatan *fresh water generator* secara berkala sesuai dengan buku petunjuk dan penyediaan suku cadang yang memadai dari segi kualitas dan kuantitas (Rachmat, 2006).

2.8.1 Komponen Utama *Fresh Water*

Pada suatu kapal agar pembuatan air tawar dapat memproses air tawar sesuai kapasitas *fresh water generator* yang telah ditentukan , maka perlu memerlukan komponen-komponen utama yang mendukung kelancaran proses destilasi (Sujanto,1982). Beberapa komponen *fresh water generator* dijelaskan dibawah ini:

a. *Evaporator Heat Exchanger*

Evaporator Heat Exchanger Merupakan bagian dari *Fresh Water Generator* yang berfungsi untuk menguapkan air laut dengan menggunakan pemanas yang bersumber dari air tawar pendingin jacket mesin induk atau menggunakan uap.

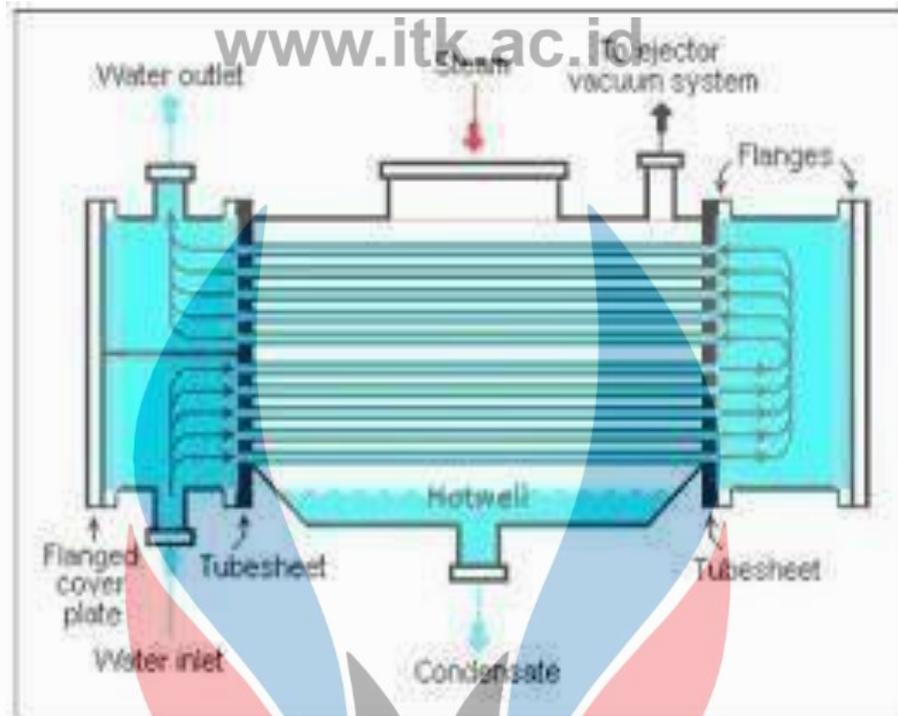
Seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 *Evaporator*

b. *Kondensor*

Sama seperti *evaporator*, kondensor juga terdiri dari pipa – pipa *heat exchanger* atau pipa – pipa pemindah panas yang terletak pada bejana pemisah yang tertutup, juga separator sheel yang berfungsi untuk mengubah bentuk gas/uap menjadi bentuk cair dengan proses kondensasi. Dalam kondensor diperlukan media pendingin yaitu air laut. Ditinjau dari pemakaiannya kondensor dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu *Main Condensor* (kondensor utama) dan *Auxiliary Condensor* (kondensor bantu). Sedangkan ditinjau secara pokok dari bahan pendingin untuk mengondensasikan uap menjadi cair, kondensor dapat dibedakan menjadi 2, yaitu *Direct contact condenser* (dimana bahan pendingin berhubungan langsung dengan zat yang akan dikondensasikan), dan *surface condensor* disini bahan pendingin tidak langsung bersentuhan dengan zat yang akan dikondensasikan, melainkan dipisahkan oleh suatu pemisah seperti dinding pipa atau plat. Seperti yang ditunjukkan Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 Kondensor

c. Ejector Pump

Adalah suatu pompa yang digunakan untuk menurunkan tekanan di bawah tekanan atmosfer (*vacuum pressure*) pada pesawat *Fresh Water Generator*, yang dengan menghisap air laut yang diteruskan ke pipa water ejector dengan tekanan air laut yang tinggi. Dengan aliran air laut yang tinggi tekanannya, maka udara dan brine dapat ikut terhisap keluar dari *evaporator* dan *kondensor*. Sehingga didalam ruangan *Fresh Water Generator* menjadi vakum dan kerak garam/brine ikut bersama hisapan air laut pada water ejector. Air laut tekanan dari *ejector pump* selain ke ejector, juga dialirkan menuju *Heater/Evaporator* yang akan dipanaskan (*Feed Water*).

2.9 Mooring Winch

Mooring Winch adalah bagian dari sistem anchor mooring yang digunakan selama operasi mooring untuk menahan kapal di tempatnya di dermaga atau perlengkapan serupa. *Mooring Winch* dioperasikan dalam beberapa cara dan dipasang di geladak kapal pada posisi-posisi penting. Derek tambat mengamankan ujung kapal dari jalur tambat, menyediakan penyesuaian panjang tali tambat dan mengkompensasi perubahan dalam aliran udara dan pasang surut. Persyaratan umum untuk derek tambat kapal diatur dalam

Standar ISO 3730 dan 7825. Derek dapat dikategorikan menurut jenis kontrolnya (pengencangan otomatis atau manual), jenis penggerak (uap, hidrolik atau elektrik), dengan jumlah drum yang terkait dengan setiap penggerak, menurut jenis drum (terbelah, tidak terbelah) dan jenis remnya. dan aplikasi rem (band, cakram, sekrup mekanis, menggunakan pegas), seperti Gambar 2.8 sebagai berikut.



Gambar 2.8 Mooring Winch

- a. *Mooring Winch* tegangan otomatis, *winch* tegangan sendiri adalah *Winch* yang dirancang untuk naik secara otomatis setiap kali tegangan garis turun di bawah nilai yang telah ditentukan sebelumnya. Demikian juga, mereka membayar jika tegangan garis melebihi nilai yang telah ditentukan sebelumnya. Penggunaan derek tegangan sendiri tidak disarankan kecuali untuk tambat yang dipasang pada 90° ke sumbu kapal.
- b. *Mooring Winch* tegangan manual, *Winch* manual selalu membutuhkan seseorang untuk menangani kontrol untuk naik atau turun.
- c. *Mooring Winch drum non-split*, *Winch drum* yang tidak terbelah biasanya ditemukan di kapal yang lebih kecil. Seringkali sulit untuk menggulung dan menyimpan kawat pada *drum* seperti itu dengan memuaskan; ketika kabel ditangani langsung dari *drum*, putaran terakhir dari lapisan luar saat di bawah tegangan cenderung menggigit lapisan bawah. Hal ini dapat mengakibatkan kemungkinan kerusakan kabel dan kesulitan saat melepaskan saluran. Untuk mengurangi masalah ini, *winch* dengan *drum non-split* harus ditempatkan pada jarak yang cukup dari fairlead untuk memastikan kabel dapat digulung dengan

benar.

- d. *Mooring Winch* drum terpisah , *winch* dengan drum dibagi dengan lensa berlekuk menjadi bagian tegangan dan bagian penyimpanan garis. (WARTSILA, 2020).

2.10 Penelitian Terdahulu

Sebelum penelitian ini dilakukan, sebelumnya telah terdapat penelitian serupa yang berkaitan dengan *Kekuatan Konstruksi Double bottom*, penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Nama Penulis dan Tahun Publikasi	Judul
1	Nugroho Septianda Oktaparo, S.T. “Analisis <i>Fatigue</i> Konstruksi <i>Sideboard</i> Kapal Tongkang Dengan <i>Software</i> Berbasis Elemen Hingga”, 2020	Permasalahan : Tongkang adalah jenis kapal yang memiliki lambung berbentuk datar, biasa digunakan untuk mengangkut muatan dalam jumlah besar seperti kayu, batubara, pasir dan lain-lain. Pada muatan curah, kapal tongkang menggunakan dinding penahan tanah untuk menahan muatan pada geladak atas tongkang, yang dikenal dengan nama <i>sideboard</i> Metode : <i>Software</i> berbasis elemen hingga Hasil : Metode analisis menggunakan aplikasi berbasis elemen hingga dengan memvariasikan tinggi muatan batubara terhadap <i>sideboard</i> pada ketinggian 2.24m, 2,60m dan 2,96m. Dalam penelitian ini diperoleh hasil bahwa batubara pada ketinggian 2.24m memiliki nilai tegangan maksimum sebesar 79.25 MPa dan umur kelelahan selama 81.16 tahun. Batubara pada ketinggian 2.60m terhadap <i>sideboard</i> memiliki tegangan maksimum sebesar 110.11 MPa dan umur kelelahan 24.72 tahun. Batubara pada ketinggian 2.96m terhadap <i>sideboard</i> memiliki nilai tegangan maksimum sebesar 146.80 MPa dan umur kelelahan 9.28 tahun.
2	Airin Tabriz Zahra, “Analisis Kekuatan Memanjang Pada <i>Bottom</i> Kapal KMP. BATUMANDI 5000 GT Dengan <i>Finite Element</i>	Permasalahan : Konstruksi <i>double bottom</i> mengalami beban Tarik pada kondisi gelombang <i>sagging</i> dan beban tekan pada kondisi tekan pada kondisi gelombang <i>hogging</i> . Metode : <i>Software</i> berbasis elemen hingga Hasil : Didapatkan tegangan maksimum pada kondisi <i>hogging</i> sebesar 194.12 N/mm ² dengan arah tegangan ke arah Z pada <i>node</i> 2814, sedangkan pada

Method”, 2020

kondisi *sagging* teggangan maksimum sebesar 159.39 N/mm^2 dengan arah tegangan ke arah Z pada node 1669. Pada Pada kondisi *sagging* dan *hogging* nilai deformasi maksimum 4.32 mm berada pada *node* 203. Pada kondisi *hogging* didapatkan momen *ultimate* senilai $2.247 \times 10^{12} \text{ Nmm}$ dan momen total sebesar $0.495 \times 10^{12} \text{ Nmm}$ dengan *safety factor* sebesar sebesar 1.33, sedangkan pada kondisi *sagging* didapatkan momen *ultimate* senilai $-2.254 \times 10^{12} \text{ Nmm}$ dan momen total sebesar $-0.102 \times 10^{12} \text{ Nmm}$ dengan *safety factor* 1.61.

3 Yuli Prastyo, Imam
Pujo Mulyatno,
Hartono Yudho
2015
”ANALISA FATIGUE
KONTRUKSI DOUBLE
BOTTOM AKIBAT
ALIH FUNGSI FRESH
WATER TANK
MENJADI RUANG
MOORING WINCH
PADA KAPAL
ACCOMODATION
WORK BARGE (AWB)
5640 DWT DENGAN
METODE ELEMEN
HINGGA”

Permasalahan : *Accomodation Work Barge* (AWB) 5640 DWT merupakan jenis kapal tongkang kerja yang tidak memiliki sistem propulsi sendiri. Kapal ini digunakan sebagai tempat akomodasi bagi karyawan perusahaan migas dan industri kemaritiman. Untuk mendukung sistem tambat, *owner* kapal melakukan modifikasi *fresh water tank* menjadi ruang *mooring winch*. Akibat alih fungsi, *double bottom* mengalami perubahan pembebanan. Penelitian ini membandingkan *double bottom* sebelum dan sesudah dimodifikasi saat berada pada kondisi beban statis, *sagging* dan *hogging*

Metode : Metode Elemen Hingga

Hasil : Hasil analisa dengan *software* berbasis metode elemen hingga berupa tegangan *von mises* dan konstruksi *double bottom* yang paling kritis pada beberapa kondisi pembebanan. Tegangan *von mises* terbesar terjadi ketika kondisi *hogging* pada model sebelum dimodifikasi sebesar 168 N/mm^2 dan sebesar 183 N/mm^2 ketika pembebanan *full load* + beban tarik saat kondisi *hogging*. komponen konstruksi paling kritis terjadi ketika kondisi *hogging* pada model sebelum dimodifikasi dan ketika pembebanan *full load* + beban tarik saat kondisi *hogging*.