

ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI *CAR DECK* AKIBAT PENAMBAHAN *DECK* PADA RUANG MUAT KAPAL MOTOR ZAISAN STAR 411 DWT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Aziz Mukhsin¹, Imam Pujo Mulyatno¹, Sarjito Joko Sisworo¹

¹) Jurusan S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : mukhsen85@gmail.com

Abstrak

Vehicle vessel adalah kapal yang dioperasikan untuk menghubungkan 2(dua) Pelabuhan yang dipisahkan oleh selat. *Vehicle vessel* memiliki *cardeck* yang merupakan suatu dek atau geladak pada kapal yang berguna untuk menampung muatan berupa kendaraan. Kapal Motor Zaisan Star merupakan tipe kapal *car carries* yang memiliki ruang muat berupa *cardeck* bertingkat. Permintaan konsumen yang tinggi akan alat transportasi menuntut produsen untuk menyediakan kendaraan bermotor. Hal ini yang memberikan peluang terhadap PT. Zaisan Citra Mandiri melakukan perubahan kapal general cargo menjadi vehicle carrier yang mengangkut kendaraan bermotor. Maka dalam kasus ini diperlukan adanya studi analisa kekuatan konstruksi *car deck* pada kapal KM. Zaisan Star 411 DWT untuk mengetahui karakteristik kekuatan konstruksi *car deck* KM. Zaisan Star 411 DWT dalam kondisi aman/kondisi tegangan yang diijinkan. Pada daerah yang mengalami perubahan beban modifikasi tersebut dilakukan analisa tegangan lokal dengan bantuan program numerik *finite element method (FEM)*. Analisa bertujuan untuk melihat kekuatan struktur suatu model, dimana daerah yang mengalami tegangan kritis/tegangan maksimal, yaitu dengan melihat hubungan antar komponen dan struktur pendukungnya serta bentuk deformasinya. Berdasarkan 3 variasi kondisi pembebanan terhadap beban muatan dan kondisi terhadap gelombang air laut yaitu, kondisi air tenang, kondisi *sagging*, dan kondisi *hogging*, didapatkan hasil analisa dan perhitungan yang dilakukan yaitu nilai tegangan tertinggi *car deck* dengan kondisi pembebanan I adalah 42 N/mm^2 , kondisi pembebanan II adalah $16,6 \text{ N/mm}^2$, dan kondisi pembebanan III adalah 26 N/mm^2 . Sedangkan kondisi *hogging* adalah $32,5 \text{ N/mm}^2$, kondisi *sagging* adalah $42,1 \text{ N/mm}^2$, dan kondisi air tenang adalah 37 N/mm^2 , dari hasil nilai tegangan yang didapatkan, disimpulkan bahwa semua nilai tegangan yang terjadi pada *car deck* masih memenuhi *safety factor*, baik *safety factor* menurut kriteria bahan 235 N/mm^2 maupun *safety factor* standart BKI 190 N/mm^2 .

Kata Kunci: *Vehicle Vessel*, *Cardeck*, Tegangan Lokal, *Finite Element Method (FEM)*, *Safety Factor*

1. PENDAHULUAN

Kapal adalah alat transportasi perairan yang sering digunakan untuk mengangkut barang dan penumpang dengan jumlah yang besar (banyak) pada era sekarang ini. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi kinerja kapal dalam berlayar. Pembuatan kapal haruslah menggunakan pemilihan bahan material yang tepat, sehingga kinerja kapal bagus dan aman dalam berlayar, pemilihan bahan material ini mempunyai banyak pengaruh dalam suatu kapal, terutama pada aspek kekuatan kapal.

Permintaan konsumen yang tinggi akan alat transportasi menuntut produsen untuk menyediakan kendaraan bermotor. Hal ini yang memberikan peluang terhadap PT. Zaisan Citra Mandiri melakukan perubahan kapal general cargo menjadi vehicle carrier yang mengangkut

kendaraan bermotor. Pada awalnya KM. Zaisan Star hanya memiliki satu geladak ruang muat untuk operasionalnya dengan perubahan tujuan operasional kapal yang kemudian dilakukan modifikasi dengan penambahan geladak di atas geladak utama yang dipergunakan untuk mengangkut muatan sepeda motor dengan harapan dilakukan modifikasi dengan penambahan geladak dapat menampung lebih banyak muatan kendaraan bermotor sehingga dalam operasional dapat memperoleh profit yang lebih dalam satu kali operasionalnya.

Kekuatan kapal adalah topik yang sangat menarik bagi seorang *naval architect* dan akademis perkapalan lainnya. Kekuatan merupakan struktur terpenting dalam sebuah kapal sebab fungsinya untuk menjamin keselamatan daripada awak kapal, penumpang,

dan muatannya. Kapal yang dibangun terlalu kuat akan menjadi sangat berat, lamban dan membutuhkan biaya yang lebih besar sedangkan kapal yang dibangun dan dirancang terlalu lemah akan sangat beresiko tinggi mengalami kegagalan struktur karena struktur tidak mampu menahan beban atau load yang bervariasi bila kapal berlayar, baik beban dari dalam maupun dari luar kapal, sehingga hal terburuk yang mungkin terjadi adalah tenggelamnya kapal.

Penambahan *deck* pada KM. Zaisan Star 411 DWT membuat beban yang diterima oleh *car deck* menjadi bertambah, dengan adanya penambahan konstruksi *deck* ditambah dengan beban muatan berupa sepeda motor. Namun pada hal ini penambahan bangunan/*deck* di atas *car deck* untuk di jadikan *deck motorcycle* tidak di sertain adanya perubahan profil di bawah *deck* utama (*maindeck*). Hal ini mengharuskan kondisi kapal selalu dalam kondisi aman terutama dalam hal konstruksinya, sebab dalam perencanaan sebuah konstruksi kapal, pada dasarnya adalah merencanakan konstruksi yang mempunyai tingkat tegangan pada batas yang diijinkan dan bisa diterima oleh konstruksi tersebut. Maka dalam kasus ini diperlukan adanya studi analisa kekuatan konstruksi *car deck* pada kapal KM. Zaisan Star 411 DWT untuk mengetahui karakteristik kekuatan konstruksi *car deck* KM. Zaisan Star 411 DWT dalam kondisi aman/kondisi tegangan yang diijinkan.

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang di atas maka diambil beberapa rumusan masalah pada tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Bagaimana kekuatan konstruksi *car deck* dengan kondisi pembebanan yang direncanakan?
2. Apakah konstruksi *car deck* dalam kondisi aman sesuai tegangan yang diijinkan dengan rules BKI (Indonesia) setelah dilakukan analisa?
3. Dimana letak komponen konstruksi *car deck* yang paling kritis setelah mengalami penambahan *deck* pada KM. Zaisan Star 411 DWT?

Berdasarkan perumusan masalah maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan nilai kekuatan dan tegangan maksimum konstruksi *car deck* dengan penambahan *deck* pada KM. Zaisan Star 411 DWT yang sesuai dengan rules BKI (Indonesia) setelah dilakukan analisa.
2. Mengetahui karakteristik kekuatan

kontruksi *car deck* pada KM. Zaisan Star 411 DWT dalam kondisi aman/kondisi tegangan yang diijinkan sesuai dengan rules BKI (Indonesia) setelah dilakukan analisa.

3. Mengetahui letak komponen konstruksi *car deck* pada KM. Zaisan Star 411 DWT yang paling kritis dan perlu mendapat perhatian yang lebih pada sistem kontruksi tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Ferry (*Vehicle Vessel*)

Kapal ferry (*Vehicle vessel*) adalah kapal yang dioperasikan untuk menghubungkan 2(dua) Pelabuhan yang dipisahkan oleh Selat. Kapal Ferry selain mengangkut penumpang, juga mengangkut kendaraan bermotor serta cargo yang dipacking didalam kontainer. Dalam rancang bangunnya, setiap deck kapal ferry digunakan untuk muatan yang berbeda-beda, misal: Deck bagian bawah, untuk membawa Mobil/Kendaraan bermotor berikut Cargo. Kendaraan bermotor dan Cargo dimasukkan melalui Ramp Door (Pintu Rampas) dengan sistim Ro-Ro (Roll On – Roll Off) yang dirancang dibagian haluan kapal atau buritan kapal.

Deck bagian atas untuk para penumpang. Dari segi konstruksi dan sistem loss prevention, tidak ada perbedaan dengan Kapal Penumpang, Physical Hazard yang menonjol adalah Kebakaran (Fire), mengingat kapal ini mengangkut banyak Penumpang, Kendaraan Bermotor dan Barang(cargo) yang lain. Pada umumnya kapal ini mempunyai trayek yang tetap atau regular line service.

Kapal *Ro – Ro* didesain dengan penambahan *deck (car deck)* yang berfungsi untuk mengangkut berbagai jenis kendaraan. Di Indonesia kapal jenis *Ro - Ro* banyak dimanfaatkan untuk penyeberangan antara pulau misalnya antara Jawa dengan Sumatra, antara Jawa dengan Madura dan antara Jawa dengan Bali, dll. Ada beberapa jenis kapal *Ro - Ro* yang biasanya sering beroperasi di Perairan Indonesia, antara lain :

1. kapal penyeberangan / *ferry*
2. kapal pengangkut mobil (*car ferries*),
3. kapal *general cargo* yang beroperasi sebagai kapal *Ro – Ro*

Geladak kendaraan (*Car deck*) merupakan suatu dek atau geladak pada kapal yang berguna untuk menampung muatan berupa kendaraan,

biasanya terdapat pada kapal ferry. *Car deck* adalah komponen struktur konstruksi yang vital karena perannya yang tidak hanya untuk menampung muatan kendaraan namun juga menopang dek yang ada di atasnya. Ada beberapa jenis car deck diantaranya adalah :

1. Geladak kendaraan dengan sistem terpadu
Untuk mendapatkan operasi cepat dan fleksibel, penggunaan sistem *winch hidrolis built-in* dapat menjadi solusi terbaik. Sistem *winch hidrolis* dapat diandalkan dan menangani mobil terberat.
2. Geladak kendaraan tanpa sistem terpadu
Deck mobil yang dirancang untuk penyimpanan vertikal atau sebaliknya , untuk penyesuaian, memungkinkan pemuatan mobil dan pengaturan kargo.

2.2 Tegangan (*Stress*)

Tegangan pada umumnya adalah gaya dalam yang bekerja pada luasan yang kecil tak hingga pada sebuah potongan dan terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah. Ditambahkan oleh Popov (1987), gaya – gaya dalam ini merupakan vektor dalam alam dan bertahan dalam keseimbangan terhadap gaya-gaya luar terpakai. Dalam mekanika bahan kita perlu menentukan intensitas dari gaya-gaya ini dalam berbagai bagian dari potongan, sebagai perlawanan terhadap deformasi sedang kemampuan bahan untuk menahan gaya tersebut tergantung pada intensitas ini. Pada umumnya, intensitas gaya yang bekerja pada luas yang kecil tak berhingga suatu potongan berubah-ubah dari satu titik ke titik yang lain, umumnya intensitas ini berarahmiring pada bidang potongan. Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (*normal stress*) pada suatu titik. Suatu tegangan tertentu yang dianggap benar-benar bertitik tangkap pada sebuah titik, secara matematis didefinisikan sebagai

$$\sigma = \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1)$$

Di mana F adalah suatu gaya yang bekerja tegak lurus terhadap potongan, sedangkan A merupakan luas yang bersangkutan.

2.3 Regangan

Menurut Popov (1987), 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 prosesn. Besaran regangan ϵ sangat kecil, kecuali untuk beberapa bahan seperti karet. Bila regangan tersebut

diketahui, maka deformasi total dari pembebanan aksial adalah ϵL . Hubungan ini berlaku untuk setiap panjang ukur sampai beberapa deformasi lokal mengambil bagian pada skala yang cukup besar.

$$\epsilon = \frac{\Delta}{L} \quad (2)$$

Dimana :

ϵ = Regangan

Δ = Panjang total

L = Panjang awal

2.4 Teori Elastisitas

Menurut Szilard (1989), Teori Elastisitas merupakan cabang dari fisika matematis yang mengkaji hubungan gaya, perpindahan, tegangan, regangan, dan beda elastis. Bila suatu perjal di bebani gaya dari luar, benda tersebut akan erubah bentuk/berdeformasi, sehingga timbul tegangan dan regangan dalam. Perubahan bentuk ini tergantung pada konfigurasi geometris benda tersebut dan mekanis bahannya. Teori Elastisitas menganggap bahan bersifat *homogen* dan *Isotropik*, dengan demikian sifat mekanis bahan sama dalam segala arah.

2.5 Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan antara tegangan dan regangan boleh dikatakan berbentuk linier untuk semua bahan. Hal ini menuju kepada idealisasi dan penyamarataan yang berlaku untuk semua bahan, yang dikenal dengan hukum *Hooke*. Hukum *Hooke* dinyatakan dengan persamaan.

$$\sigma = E \epsilon \quad \text{atau} \quad E = \sigma / \epsilon \quad (3)$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangan, dimana tetapan pembanding adalah *E*. Tetapan *E* ini disebut dengan *modulus elastisitas* atau *modulus Young*. Nilai Modulus elastis merupakan suatu sifat yang pasti dari suatu bahan. Untuk kebanyakan baja, *E* berharga antara 200 dan 210 x 10⁹ N/m² atau *E* = 210 x 10⁶ kN/m².

2.6 Konsep Pembebanan Pada Analisa Global

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

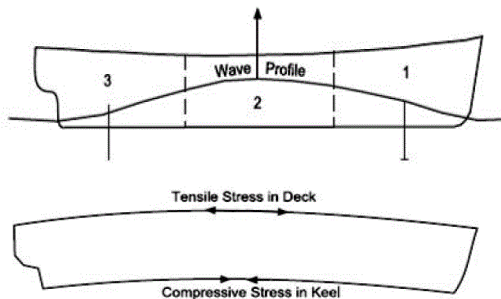
ujung kapal dan satu puncak gelombang pada mid-ship).

- Efek Deformasi

Efek deformasi *ship shaped structure* akibat beban gelombang yang ditinjau pada penelitian ini bisa dijelaskan dengan baik dengan mengibaratkan sebuah kapal bergerak pada gelombang regular dimana panjang gelombangnya sama dengan panjang kapal. Hal ini menyebabkan vertical bending moment. Jika hull diibaratkan sebagai beam, maka kondisi yang terjadi adalah:

1. Kondisi Hogging

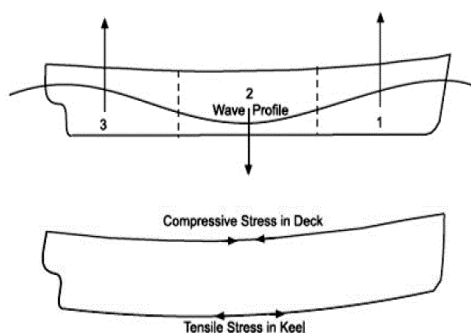
Deformasinya berbentuk cembung. Hull girder disupport pada midship dengan puncak gelombang. Pada kondisi ini, meskipun berat total seimbang dengan buoyancy, terdapat kelebihan buoyancy pada midship dan kelebihan berat pada bow dan stern. Situasi ini menyebabkan kecenderungan ujung kapal bergerak ke arah bawah dan pada bagian midship bergerak ke atas.



Gambar 1. Kondisi Hogging

2. Kondisi Sagging

Deformasinya berbentuk cekung. Hull girder disupport pada stern dan bow dengan dua puncak gelombang. Terdapat kelebihan berat pada midship dan kelebihan buoyancy pada bow dan stern. Situasi ini menyebabkan kecenderungan pada ujung kapal bergerak ke arah atas dan pada bagian midship bergerak ke bawah.



Gambar 2. Kondisi Sagging

2.7 Faktor Keamanan (Safety Factor)

Safety factor 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 sampai 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 disain 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 :

$$FS = \frac{\sigma_{ultimate}}{\sigma_{ijin}} \quad (4)$$

2.8 Baja Konstruksi Lambung Kekuatan Tinggi

Baja konstruksi lambung kekuatan tinggi adalah suatu baja konstruksi lambung, yang luluh dan kuat tariknya melebihi kuat luluh dan kuat tarik baja konstruksi lambung kekuatan normal. Menurut peraturan bahan, *volume V*, tegangan luluh atas nominal R_{eH} untuk 4 kelompok baja konstruksi lambung kekuatan tinggi telah ditetapkan berturut-turut pada 265, 315, 355 dan 390 N/mm². Baja konstruksi lambung kekuatan tinggi dikelompokkan dalam tingkat mutu berikut, yang berbeda satu dengan yang lainnya pada sifat ketangguhannya : KI-A 27 S, KI-D 27 S, KI-E 27 S, KI-A 32/36/40, KI-D 32/36/40, KI-E 32/36/40, KI-F 32/36/40.

2.9 Metode Elemen Hingga (Finite Element Method)

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 metode ini mungkin adalah satu – satunya cara, tetapi karena analisa elemen hingga merupakan alat untuk simulasi maka desain yang sebenarnya di idealisasikan dengan kualitas model desain.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Lapangan

Pengambilan data kapal baik ukuran maupun gambar *lines plan*, *general arrangemant*, *profile construction*, dan gambar pendukung lainnya kapal KM. Zaisan Star 411 DWT yang dilakukan di PT.BIRO KLASIFIKASI CABANG CIREBON.

3.2 Studi Literatur

Setelah melakukan pengumpulan data dan studi lapangan, maka penulis melakukan pengkajian dan mempelajari sistematika perhitungan yang akan dikemukakan di dalam tugas akhir melalui referensi baik berupa buku, jurnal, publikasi di internet, dan referensi – referensi lain yang mendukung penelitian tugas akhir ini.

3.3 Pengumpulan Dan Pengolahan Data

Setelah semua data yang di butuhkan telah didapat, kemudian data - data tersebut dikumpulkan dan diolah agar mempermudah dalam proses pengerjaan tugas akhir ini. Salah satu media untuk penelitian adalah pendekatan *software*, maka prosedur yang harus dilakukan adalah mempersiapkan data-data teknis untuk kemudian dianalisa. Sebagai langkah awal, untuk pemodelan ruang muat pada kapal adalah sebagai berikut:

- Materi Penelitian

Materi penelitian yang dimaksud dalam penelitian ini meliputi data- data primer yang digunakan.

Data –data penelitian

Data – data primer yang dikumpulkan antara lain:

1. Ukuran utama kapal (Lpp, lebar kapal, sarat kapal)

Name = KM.ZAISAN STAR

Type = Vehicle Vessel

Length Over All = 58,50 m

Length Perpendicular = 54,00 m

Bread Moulded = 9,90 m

Depth = 5,00 m

Draught = 2.87 m

2. Ukuran material yang di analisa

Dalam pengambilan data metode yang digunakan adalah metode observasi gambar-gambar teknis yang bertujuan untuk memperoleh data – data yang bersifat primer.

- **Pengolahan Data**

Pengolahan data dimulai setelah semua data yang di butuhkan diperoleh, kemudian data tersebut dikumpulkan dan diolah agar dapat mempermudah dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

3.4 Perencanaan Konstruksi Car Deck

Dalam penelitian tugas akhir ini selain melakukan analisa terhadap konstruksi *car deck* yang sudah ada, juga akan dilakukan perencanaan dan perhitungan untuk membuat rancangan konstruksi *car deck* guna mendapatkan kekuatan konstruksi kemudian dilakukan analisa.

3.5 Pembuatan Desain Model

Pembuatan model menggunakan program bantu Msc Patran dengan memasukkan data-data dimensi sesuai pembagian searah sumbu x,y,z.

3.6 Validasi Model

Validasi model yang dilakukan penulis adalah dengan membandingkan antara hasil dari *software* dengan perhitungan manual, dengan maksud apakah model dengan hasil analisa yang dibuat sudah sesuai (*match*) dengan sistem yang diwakilinya (*representativeness*).

3.7 Analisa Model

Setelah pembuatan model yang akan dianalisa selesai, tahap selanjutnya adalah analisa model dengan *software* Msc Nastran. Dalam *software* Msc Nastran akan dilakukan analisa lebih lanjut sesuai dengan tujuan dari penelitian tugas akhir penulis. Dari output *pre* analisis MscPatran, dengan menggunakan program Msc Nastran dijalankan proses analisis melalui input file model yang di analisis (*.bdf*) dimana file yang nantiakan di bacapada *post processing* adalah file (*.xdb*).

3.8 Penyajian Data Perhitungan

Semua hasil pengolahan data berupa gambar model, *display* hasil analisis, serta parameter-parameter yang diperlukan seperti tegangan maksimum, regangan, deformasi dapat diperoleh hasil dari proses tersebut, kemudian

dilakukan pengelompokkan agar mudah dalam penyusunan laporan.

3.9 Analisa dan Pembahasan

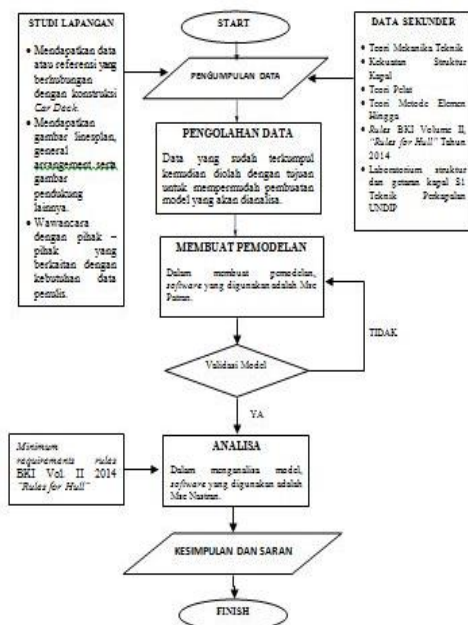
Merupakan bagian akhir untuk mencapai hasil penelitian, yaitu didapatkannya kesimpulan final tugas akhir sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Dari semua hasil pengolahan data berupa gambar, serta perhitungan yang diperoleh dan telah dikelompokkan maka kemudian dilakukan proses analisa konstruksi. Proses analisa yang dilakukan tetap mengacu pada teori dan literatur (pustaka) yang ada.

3.10 Kesimpulan

Kesimpulan diperoleh dari data yang telah diolah dan dianalisa sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan pada tugas akhir yaitu menghitung kekuatan konstruksi *car deck* akibat penambahan *deck* pada KM. Zaisan Star 411 DWT, serta pemberian saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

3.11 Diagram Alir Metodologi Penelitian (Flow Chart)

Penyusunan penelitian tugas akhir ini didasarkan pada sistematika metodologi yang diuraikan berdasarkan urutan diagram alir atau *flow chart* yang dilakukan mulai penelitian hingga selesainya penelitian. Penelitian ini dimulai dengan tahap pengumpulan data – data penunjang untuk penelitian tugas akhir yang kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data dan dilanjutkan ke tahap analisa yaitu didapatkan output yang sesuai dengan tujuan awal penelitian, sehingga diperoleh kesimpulan akhir.



Gambar 3. Diagram alir penelitian tugas akhir

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Permodelan *Cardeck* KM Zaisan Star

Kapal Motor Zaisan Star merupakan tipe kapal *car carries* yang memiliki ruang muat berupa *cardeck* bertingkat. Pada bab ini penulis akan memaparkan permodelan *cardeck* Kapal Motor Zaisan Star berdasarkan metode elemen hingga sehingga menjadi sebuah sistem *multi degree of freedom* dan dibuat pemodelannya dalam program bantu Msc Patran kemudian disimulasikan analisa hasil menggunakan program bantu *Msc Nastran* yang berbasis metode elemen hingga. Penentuan kriteria analisa kekuatan struktur akibat tegangan adalah tujuan utama pada bab ini yang menjelaskan unsur atau komponen dari sistem yang bekerja mampu mempertahankan ketelitian dimensional dan kekuatan komponen mampu bekerja dalam batas aman.

Cardeck merupakan suatu *deck* atau geladak pada kapal yang berguna untuk menampung muatan berupa kendaraan. *Cardeck* adalah kompen struktur konstruksi yang fital karena perannya yang tidak hanya menampung beban muatan kendaraan namun juga menopang geladak yang ada di atasnya. Pembuatan model *cardeck* pada program bantu software *Msc Patran* digunakan juga gambar-gambar pendukung lainnya sebagai referensi permodelan.

4.2. Perhitungan Tekanan

• Tekanan Hidrostatik Air Laut

$$P = \rho g h$$

ρ = massa jenis air laut (1025 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

h = kedalaman permukaan (2 m)

$$P = 1025 \times 9,81 \times 2 = 20110,5 \text{ Pa}$$

• Tekanan Muatan

Beban (*load*) yang diinputkan pada model diasumsikan sebagai berikut :

➤ Beban (*load*) pada *Cardeck* I

Mobil Sedan (1,2 ton) : 24 unit

Berat Sedan = 1,2 ton @ 24

$$= 1,2 \times 24 = 28,8 \text{ ton}$$

$$F \text{ total} = (m \times g)$$

$$= (28,8 \text{ ton} \times 9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$= 282,53 \text{ kN}$$

$$= 282528 \text{ N}$$

A = Luasan yang di tumpu

$$= 5,32 \text{ m}^2 \times 24 = 127,48 \text{ m}^2$$

$$P = 282528 / 127,68$$

$$= 2212,48 \text{ N/m}^2$$

$$= 2212,48 \text{ Pa} = 2,21248 \times 10^3 \text{ Pa}$$

➤ Beban (*load*) pada *Cardeck* II

Mobil Sedan (1,2 ton) : 24 unit

Berat Sedan = 1,2 ton @ 24
 = 1,2 x 24 = 28,8 ton

F total = (m x g)
 = (28,8 ton x 9,81 m/s²)
 = 282,53 kN
 = 282528 N

A = Luasan yang di tumpu
 = 5,32 m² x 24 = 127,48 m²

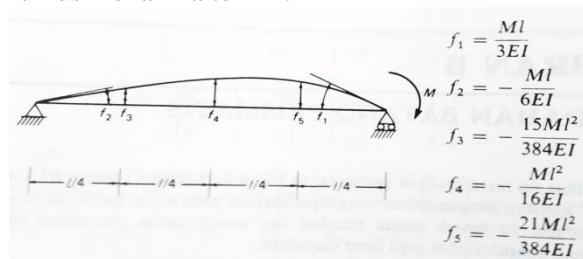
P = 282528 / 127,48
 = 2212,48 N/m²
 = 2212,48 Pa = 2,21248 x 10³ Pa

4.3. Kondisi Pembebanan

- *Loading Condition I*
 Pada kondisi ini ruang muat *cardeck* terisi penuh kendaraan dan kondisi sarat sesuai dengan sarat yang direncanakan.
- *Loading Condition II*
 Pada kondisi ini hanya ruang muat *cardeck* satu terisi penuh dan kondisi sarat berada 2/3 T.
- *Loading Condition III*
 Pada kondisi ini ruang muat *cardeck* dikosongkan dan kondisi sarat 0,9T.

4.4. Validasi Model

Validasi model merupakan suatu hal yang penting karena hal ini akan menunjukkan keakuratan pemodelan pada *software* dengan model pada aslinya. Cara yang ditempuh untuk melakukan validasi model adalah dengan melakukan perbandingan hasil deformasi antara analisa pada *software* dan perhitungan menggunakan rumus mekanika teknik. Model yang sudah jadi pada *software* diberi sebuah kondisi sederhana sesuai dengan kondisi pada rumus mekanika teknik.



Gambar 4. Rumus mekanika teknik untuk mencari deformasi

$$f_4 = \left| -\frac{MI^2}{16EI} \right|$$

Dimana:

- M = momen (N.m)
- l = panjang penampang (m)
- E = modulus elastisitas (Pa)
- I = momen inersia (m⁴)

Tabel 1. Validasi Perhitungan

Hasil Deformasi Model		Persentasi Validitas
<i>Software</i>	Mekanika Teknik	
1,10 x 10 ⁻¹¹ m	1,14x10 ⁻¹¹ m	96,31 %

Untuk dapat dikatakan mendekati benar, maka persentase validitasnya harus dibawah 10% agar nilai tersebut dapat dikatakan valid.

4.5. Analisa Kekuatan

Tahap ini dilakukan untuk menghitung nilai stress tertinggi pada material sekaligus untuk mengetahui letak hotspot stress pada saat variasi pembebanan dilakukan. Dengan dasar rumus:

Tegangan $\sigma = \text{gaya (F)} / \text{satuan luas (A)}$

Dengan satuan sama dengan tekanan (*Pascal*) *Msc Patran-Nastran* digunakan penulis untuk membantu perhitungan nilai tegangan agar lebih mudah, langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Proses Pendefinisian Jenis Analisa
Analysis type pada model dapat didefinisikan sesuai yang diinginkan dengan menentukan jenis analisis yang akan dipakai apakah berupa struktur, thermal dan lain-lain yang sesuai dengan model yang sebenarnya.
2. Penentuan Material Model Dan Material Properties
 Material model dan Material Properties dapat didefinisikan sesuai yang diinginkan dengan menentukan modulus elastisitas dan poissons ratio dari model yang diinginkan. Untuk jenis material yang digunakan dalam model *cardeck* ini adalah baja standar.
3. Proses *Meshing*
 Proses *Meshing* adalah proses dimana model dibuat menjadi kumpulan nodal elemen hingga yang lebih kecil yang saling terhubung. Karena konstruksi *car deck* sangat kompleks. *Meshing* ditentukan dengan *size element edge length* 0.6, dengan parameter semakin kecil ukuran maka *meshing* akan semakin detail, semakin besar ukuran maka *meshing* akan semakin kurang detail.
4. Penentuan Kondisi Batas (*Boundary Condition*)
 Kondisi batas digunakan untuk menentukan bentuk tumpuan dari objek yang dianalisa. Maka ditentukan kondisi batas jepit dengan menggunakan *displacement*.

Tabel 2. Penentuan kondisi batas [8]

Lokasi titik independen	Translasi		
	x	y	z
Aft	-	fix	fix
Fore	fix	fix	fix
Lokasi titik independen	Rotasi		
	x	y	z
Aft	fix	-	-
Fore	fix	-	-

5. Pemberikan gaya tekan beban per satuan luas

Hal ini bertujuan untuk memberi beban sesuai pada proses analisa yang diinginkan, pemberian beban sesuai pada yang ada pada lapangan.

6. *General Post processing*

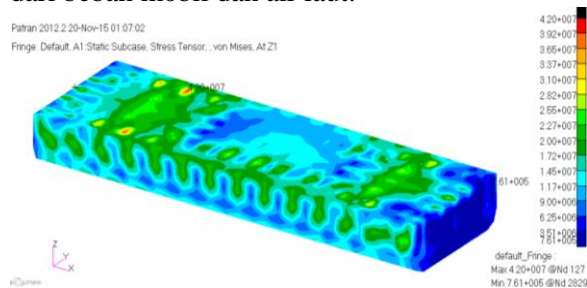
Dalam tahap *post processing* akan dapat diketahui hasil dari running perhitungan *software* sesuai dengan masing-masing kejadian variasi pembebanan. Nantinya didapatkan hasil *stress/tegangan* tertinggi dan lokasi *hotspot stress*.

4.6. Analisa Setiap Kondisi Pembebanan

a. Analisa Terhadap Beban Muatan

• *Loading Condition I*

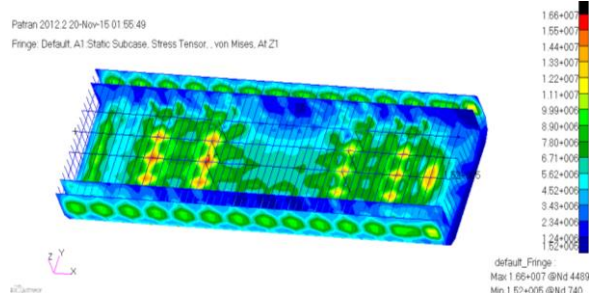
Hasil analisa yang diperoleh pada kondisi ini adalah nilai tegangan maksimal/*maximum stress* yang terjadi sebesar $4,2 \times 10^7$ Pa atau $4,2 \times 10^7$ N/m² atau 42 N/mm² terdapat pada *node* 127 (*hotspot stress*). Tegangan maksimal terjadi pada pertemuan pelat *cardeck* dua frame 35 dengan pelat *inner shell* yang mendapat tekanan besar dari beban mobil dan air laut.



Gambar 5. Hasil analisa *loading condition I*

• *Loading Condition II*

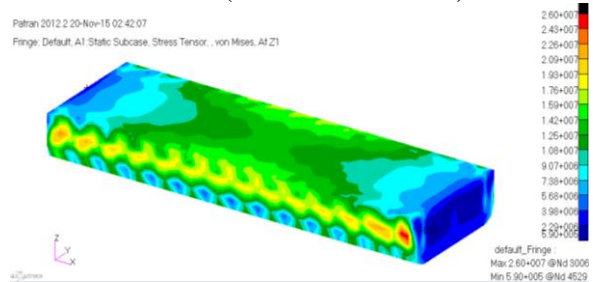
Hasil analisa yang diperoleh pada kondisi ini adalah nilai tegangan maksimal/*maximum stress* yang terjadi sebesar $1,66 \times 10^7$ Pa atau $1,66 \times 10^7$ N/m² atau 16,6 N/mm² terdapat pada *node* 4489 (*hotspot stress*). Tegangan maksimal terjadi pada pertemuan pelat *cardeck* satu (*tank top plate*) frame 39 dengan penumpu *solid floor* yang mendapat tekanan besar dari beban mobil.



Gambar 6. Hasil analisa *loading condition II*

• *Loading Condition III*

Hasil analisa yang diperoleh pada kondisi ini adalah nilai tegangan maksimal/*maximum stress* yang terjadi sebesar $2,6 \times 10^7$ Pa atau $2,6 \times 10^7$ N/m² atau 26 N/mm² terdapat pada *node* 3006 (*hotspot stress*). Tegangan maksimal terjadi pada pelat lambung *frame* 75 yang mendapat tekanan besar dari air laut (tekanan hidrostatik).

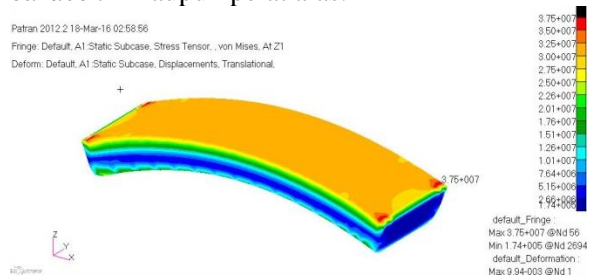


Gambar 7. Hasil analisa *loading condition III*

b. Analisa Terhadap Gelombang Air Laut

• *Kondisi Gelombang Hogging*

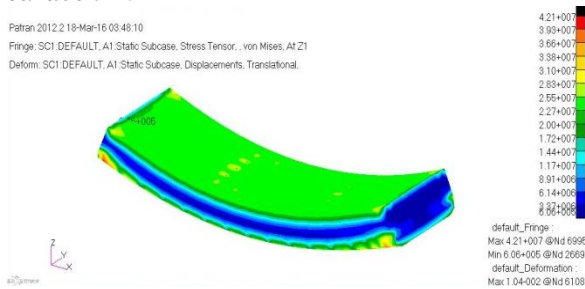
Hasil analisa yang diperoleh pada kondisi ini adalah nilai tegangan maksimal/*maximum stress* yang terjadi sebesar $3,25 \times 10^7$ Pa atau $3,25 \times 10^7$ N/m² atau 32,5 N/mm² terdapat pada *node* 542 (pada daerah tengah pelat *cardeck* II model). Tegangan maksimal terjadi pada pelat *cardeck* dua frame 48 yang mendapat pengaruh dari gelombang *hogging*. Tegangan terjadi akibat *hogging wave bending momen* sehingga terjadi gaya tekan/*compression* pada daerah tengah pelat *cardeck* II model yang mempunyai nilai tegangan lebih besar dari pada daerah pelat *cardeck* I maupun pelat alas.



Gambar 8. Hasil analisa gelombang *hogging*

• Kondisi Gelombang *Sagging*

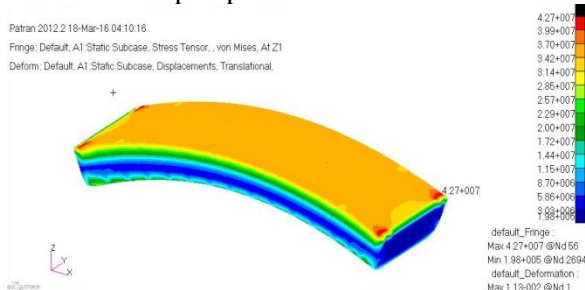
Hasil analisa yang diperoleh pada kondisi ini adalah nilai tegangan maksimal/*maximum stress* yang terjadi sebesar $4,21 \times 10^7$ Pa atau $4,21 \times 10^7$ N/m² atau 42,1 N/mm² terdapat pada *node* 6623 (pada daerah tengah pelat alas model). Tegangan maksimal terjadi pada pelat alas *frame* 48 yang mendapat pengaruh dari gelombang *sagging*. Tegangan terjadi akibat *sagging wave bending momen* sehingga terjadi gaya tarik/*tensile* pada daerah tengah pelat alas model yang mempunyai nilai tegangan lebih besar dari pada daerah pelat *cardeck* I maupun pelat *cardeck* II.



Gambar 9. Hasil analisa gelombang *sagging*

• Kondisi Gelombang Air Tenang

Hasil analisa yang diperoleh pada kondisi ini adalah nilai tegangan maksimal/*maximum stress* yang terjadi sebesar $3,7 \times 10^7$ Pa atau $3,7 \times 10^7$ N/m² atau 37 N/mm² terdapat pada *node* 542 (pada daerah tengah pelat *cardeck* II model). Tegangan maksimal terjadi pada pelat *cardeck* dua *frame* 48 yang mendapat pengaruh dari gelombang air tenang. Tegangan terjadi akibat *still water wave bending momen* sehingga terjadi gaya tekan/*compression* pada daerah tengah pelat *cardeck* II model yang mempunyai nilai tegangan lebih besar dari pada daerah pelat *cardeck* I maupun pelat alas.



Gambar 8. Hasil analisa gelombang air tenang

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Semua Kondisi

No	Jenis Variasi pembebanan	Maksimum Stress (Pa)
1	Kondisi Pembebanan I	$4,2 \times 10^7$
2	Kondisi Pembebanan II	$1,66 \times 10^7$

3	Kondisi Pembebanan III	$2,6 \times 10^7$
4	Kondisi Gelombang <i>Hogging</i>	$3,25 \times 10^7$
5	Kondisi Gelombang <i>Sagging</i>	$4,21 \times 10^7$
6	Kondisi Gelombang Air Tenang	$3,7 \times 10^7$

4.7. Perhitungan Faktor Keamanan

Perhitungan Faktor Keamanan (*Safety Factor*) adalah perhitungan yang digunakan untuk mengevaluasi agar perencanaan elemen konstruksi terjamin keamanannya dengan tegangan yang diterimanya. Syarat perhitungan *safety factor* untuk dapat memenuhi pada pengukuran ini nilainya harus lebih dari 1. Perhitungan nilai *safety factor* (FS) dapat dihitung dengan rumus, yaitu :

$$FS = \frac{\text{tegangan ultimate}}{\text{tegangan maksimum}}$$

Dimana:

FS = *factor of safety* (faktor keamanan)

$\sigma_{ultimate}$ = kemampuan kekuatan *ultimate* material

$\sigma_{maksimum}$ = tegangan maksimum yang terjadi

Tabel 4. Hasil Analisa dan Perhitungan *Safety Factor* Menurut Standar Rules BKI

No	Kondisi	Lok (Node)	σ_{maks} (N/m ²)	σ_{ultim} (N/m ²)	FS ($\frac{\sigma_{i}}{\sigma_{maks}}$)	Ket
1	Kondisi I	127	42	190	4,52	Aman
2	Kondisi II	4489	16,6	190	11,45	Aman
3	Kondisi III	3006	26	190	7,31	Aman
4	Kondisi Gelombang <i>Hogging</i>	542	32,5	190	5,85	Aman
5	Kondisi Gelombang <i>Sagging</i>	6623	42,1	190	4,51	Aman
6	Kondisi Gelombang Air Tenang	542	37	190	5,13	Aman

Tabel 5. Hasil Analisa dan Perhitungan *Safety Factor* Menurut Kriteria Bahan

No	Kondisi	Lok (Node)	σ_{maks} (N/m ²)	σ_{ultim} (N/m ²)	FS ($\frac{\sigma_{i}}{\sigma_{maks}}$)	Ket
1	Kondisi I	127	42	235	5,6	Aman
2	Kondisi II	4489	16,6	235	14,16	Aman

3	Kondisi III	3006	26	235	9,04	Aman
4	Kondisi Gelombang Hogging	542	32,5	235	7,23	Aman
5	Kondisi Gelombang Sagging	6623	42,1	235	5,58	Aman
6	Kondisi Gelombang Air Tenang	542	37	235	6,35	Aman

Berdasarkan kedua hasil perhitungan *safety factor* yaitu menurut kriteria bahan dan standart BKI tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem konstruksi *cardeck* dinyatakan aman (memenuhi) dalam pembebanan terhadap beban muatan dan terhadap gelombang air laut karena memenuhi persyaratan *safety factor* yaitu nilai *safety factor* harus lebih dari 1.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil analisa kekuatan konstruksi *cardeck* kapal motor Zaisan Star dengan menggunakan program bantu *MSC Patran* dan *MSC Nastran* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan kondisi pembebanan yang direncanakan setelah dilakukan analisa diperoleh nilai tegangan maksimal/*maximum stress* terbesar yang terjadi pada sistem konstruksi *cardeck* kapal motor zaisan star 411 DWT adalah sebagai berikut :

- Kondisi Pembebanan I = 42 Mpa
- Kondisi Pembebanan II = 16,6 Mpa
- Kondisi Pembebanan III = 26 Mpa
- Kondisi Gelombang *Hogging* = 32,5 Mpa
- Kondisi Gelombang *Sagging* = 42,1 Mpa
- Kondisi Gelombang Air Tenang = 37 Mpa

Berdasarkan rekapitulasi hasil semua kondisi didapatkan tegangan terbesar pada analisa model *cardeck* yaitu pada variasi pembebanan kondisi *sagging* sebesar 42,1 MPa atau $4,21 \times 10^7$ N/m². Kemudian dilakukan Perhitungan *safety factor* dan tegangan izin disesuaikan menurut *rules* BKI Tahun 2014 Jilid II Bab 5, D.1.2 dan menurut kriteria bahan.

2. Berdasarkan kedua hasil perhitungan *safety factor* yaitu menurut kriteria bahan dan standart BKI (Indonesia) tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem konstruksi *cardeck* dinyatakan aman (memenuhi) dalam pembebanan terhadap beban muatan dan terhadap gelombang air laut setelah dilakukan analisa karena memenuhi persyaratan *safety*

factor yaitu nilai *safety factor* harus lebih dari 1 (satu).

3. Letak komponen konstruksi *cardeck* yang paling kritis pada KM. Zaisan Star 411 DWT setelah dilakukan analisa yaitu, pada kondisi pembebanan terhadap muatan, tegangan maksimum terjadi pada pertemuan pelat *cardeck* dengan penumpu yang menopang sistem konstruksi *cardeck* tersebut yaitu pelat *inner shell frame 35*, *solid floor frame 39*, dan pelat lambung *frame 75*. Sedangkan pada kondisi pembebanan terhadap gelombang air laut, tegangan maksimum terjadi pada pertemuan pelat *cardeck* dengan *deck beam frame 48* karena pengaruh dari setiap momen lengkung gelombang air laut tersebut.

5.2 Saran

1. Untuk mencapai ketelitian yang maksimal dalam analisa dengan menggunakan program berbasis FEM, pemodelan harus dilakukan dengan membuat geometri yang baik dan teliti.
2. Penambahan jumlah finite elemen akan menambah ketelitian perhitungan pada software.
3. Penambahan jumlah kondisi sesuai pada lapangan akan menambah keakuratan dari analisa kekuatan pada suatu material.
4. Menggunakan spesifikasi komputer yang tinggi akan membantu memperlancar serta bisa menghemat waktu, ketika pengerjaan model dan *running analysis*.
5. Penggunaan *software* Msc Patran dan Msc Nastran sangat baik untuk analisa struktur kapal, diharapkan diadakan penelitian lebih lanjut dalam analisa struktur kapal menggunakan *software* tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Barrass. 1999. Ship Stability for Mastera and Mates. Oxford: Elsevier.

Biro Klasifikasi Indonesia, *Rules For The Clasification and Construction of Seagoing Stell Ships : Rules For Hull V.2*, Jakarta : Biro Klasifikasi Indonesia, 2009.

Budi, Afriyanto. 2012. *Macam dan Jenis Kapal dalam Asuransi Rangka Kapal*. Akademi asuransi.

Doni Setyawan,dkk. 1999. *Kekuatan Struktur Kapal*. Jakarta : Pradnya Paramita.

Eyres, DJ, 2001, *Ship Construction*, Plymouth, Butterworth-Heineman.

Dwi Yunanto, Wahyu. 2013.*Analisa Kekuatan Konstruksi Car Deck pada Kapal Ropax 5000 GT dengan Metode Elemen Hingga*, Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro.

Ghali, A., Neville, A.M. 1985. *Analisa Struktur Edisi Kedua*, Jakarta: Penerbit Erlangga.

IACS. 2006. *Common Structural Rules for Bulk Carrier*.

Indra Kusna Djaja, dkk., 2008, Teknik Konstruksi Kapal Baja Jilid 1, Jakarta, Dinas Pendidikan dan Kebudayaan.

Mairuhu, Thomas. 2011. *Kekuatan Struktur Konstruksi Kapal Akibat Penambahan Panjang*. Teknik Perkapalan Unpati.

Mulyatno, I.P., Anggriawan. 2011. *Analisa Kekuatan Konstruksi Car Deck Pada Kapal Dharma Ferry 3 Dengan Metode Elemen Hingga*. Program Studi S1Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro. Semarang.

Popov, E.P. 1978. *Mechanics of Material, 2nd edition, Prentice-Hall, Inc.*, Englewood Cliffs. New Jersey. USA.

Sonief.A.As'ad. (2003), "*Diktat Metode Elemen Hingga*". Universitas Brawijaya, Malang.

Trimulya S, Resi. 2015.*Analisa Fatigue Konstruksi Car Deck pada Kapal Motor Zaisan Star 411 DWT dengan Metode Elemen Hingga*, Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro.

Szilard,R.1989. *Theory and Analysis of Plates classical and Numerical Methods*. University of Hawai . Hawai.