

KAJIAN TEKNIK KEKUATAN KONSTRUKSI KAPAL *TUGBOAT* 2 x 800 HP DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Lestari Damanik¹, Imam Pujo Mulyatno¹, Berlian Arswendo A¹

¹)Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : lestari.damanik35@yahoo.com

Abstrak

Kapal *TugBoat* 2 x 800 HP adalah tipe kapal tunda (*Tugboat*) yang beroperasi pada wilayah perairan Jakarta yang dapat dioperasikan di Pelabuhan, Pelayaran Pantai dan cocok untuk kegiatan penundaan kapal dengan fungsi menarik, mendorong dan menggandeng serta dapat digunakan untuk kegiatan SAR bahkan untuk penanggulangan tumpahan minyak baik di laut ataupun di area pelabuhan. Adanya beban tarik terhadap *maindeck* kapal *Tugboat* mengakibatkan terjadinya distribusi tegangan pada daerah sekitar *towing hook* dan *towing winch* yang dapat menimbulkan banyak masalah seperti kerusakan, deformasi, keretakan, dll. Sehingga dilakukan analisa *local stress* dengan bantuan program numerik *finite element method (FEM)* pada daerah yang mengalami tegangan tersebut. Analisa yang digunakan adalah analisa beban statis yang berasal dari gaya tarik kapal *Tugboat*. Analisa tersebut bertujuan untuk mengetahui karakteristik tegangan dan nilai tegangan terbesar dari konstruksi kapal *Tugboat* serta mengetahui letak titik kritis pada kapal *Tugboat* berdasarkan empat variasi kondisi pembebanan kapal *Tugboat* yaitu *light weight barge*, *light weight barge + dead weight barge*, *sagging (full load)*, dan *hogging (full load)*. Adapun hasil analisa dan perhitungan nilai tegangan tertinggi dengan kajian *pressure* yang terjadi saat kapal *Tugboat* melakukan gerakan menarik adalah saat pembebanan *full load* kondisi kapal *sagging* yakni sebesar 78,30 N/mm² yang terletak pada *frame 15*. Sedangkan untuk nilai pembebanan *light weight barge* sebesar 35,20 N/mm², pembebanan *full load* sebesar 77,80 N/mm², dan pembebanan *full load* kondisi *hogging* sebesar 77,70 N/mm². Dari hasil nilai tegangan yang didapatkan, disimpulkan bahwa semua nilai tegangan yang terjadi pada kapal *Tugboat* masih memenuhi *safety factor*, baik *safety factor* menurut kriteria bahan (400 N/mm²) maupun *safety factor* (195,05 N/mm²) standart BKI, dimana nilai FS > 1 (aman).

Kata kunci : *tugboat*, *light weight barge*, *dead weight barge*, *sagging*, *hogging*, Metode elemen hingga

Abstract

Tugboat 2 x 800 HP is a type tugs that operating in the waters of Jakarta which can operate in port, shipping coast and suitable for activities the delay of a ship to function interesting, encourage and with and can be used to activities SAR even for tackling oil spill good in the sea port or in the area. The burden of a ship pull maindeck tugboat has resulted in the distribution of tension in the area around towing a hook and towing a winch which could cause problems as damage, deformation, cracks, etc. So that local analysis stress with the help of numerical program finite an element of method (FEM) on regions that experienced the voltage. An analyzer used is analysis burden static derived from the force of attraction a ship tugboat. The analysis was meant to know characteristic voltage and value of the largest of the construction of ships tugboat and know the points of critical on a ship tugboat on four the variations of the conditions imposition of a ship tugboat that is light weight barge, light weight barge + the dead weight barge, sagging (full load), and hogging (full load). As for the result of the analysis and calculation of the value of the highest voltage with studies pressure that occurs when a ship tugboat perform a movement interesting is when imposition full load the condition of a ship sagging which was 78,30 N/mm² located at frame 15. While to value imposition of light weight barge 35,20 N/mm², imposition full load of 77,80 N/mm², and imposition full load condition hogging of 77,70 N/mm². From the value of a raid, concluded that all value of what happened on a tugboat still meet safety factor, both safety factor according to the criteria of (400 N/mm²) and safety factor (195,05 N/mm²) standart BKI, where the value of FS > 1 (safe).

Keywords : *tugboat*, *light weight barge*, *dead weight barge*, *sagging*, *hogging*, *finite element method*.

1. PENDAHULUAN

Kapal *TugBoat* 2 x 800 HP adalah tipe kapal tunda (*Tugboat*) yang beroperasi pada wilayah perairan Jakarta yang dapat dioperasikan di Pelabuhan, Pelayaran Pantai dan cocok untuk kegiatan penundaan kapal dengan fungsi menarik, mendorong dan menggandeng serta dapat digunakan untuk kegiatan SAR bahkan untuk penanggulangan tumpahan minyak baik di laut ataupun di area pelabuhan.

Adanya beban tarik terhadap *main deck* mengakibatkan terjadinya distribusi tegangan terjadi pada daerah sekitar *towing hook* dan *towing winch* akibat gerakan menarik yang dilakukan kapal *Tugboat* yang dapat menimbulkan banyak masalah seperti kerusakan, deformasi, keretakan, dll.

Perencanaan konstruksi harus dapat menjamin suatu struktur tingkat tegangannya tidak pernah lebih, yang akan menjaga struktur di bawah daerah *elastic* sebagai persyaratan kekuatan. Selain itu, konstruksi *towing hook* harus dirancang menghindari *elastic deformation* yang berlebihan yang dapat mengakibatkan perubahan bentuk geometri akibat dari beban yang diterima. Bagian - bagian tersebut haruslah diukur dengan tepat untuk mendapatkan gaya - gaya yang sesungguhnya atau yang dibebankan kepadanya. Dan ada satu persyaratan lagi yang sangat penting bahwa konstruksi harus mempunyai kekakuan elastis yang cukup [1].

Maka secara garis besar penulis akan mengkaji konstruksi kapal *TugBoat* ini dengan menganalisa suatu konstruksi yang mempunyai tingkat tegangan pada batas yang diijinkan yang diterima oleh konstruksi tersebut. Perencanaan konstruksi kapal *TugBoat* harus dapat menjamin suatu struktur dapat menerima beban dan tegangan yang diijinkan dan bisa diterima oleh konstruksi tersebut.

Dengan memperhatikan pada latar belakang maka diambil beberapa rumusan masalah pada Tugas Akhir ini sebagai berikut

1. Berapa nilai karakteristik tegangan yang terjadi pada konstruksi geladak utama kapal *TugBoat* 2 x 800 HP antar sekat Fr 12 s/d Fr 27 ?
2. Berapa nilai tegangan maksimum yang terjadi pada konstruksi geladak utama kapal *TugBoat* 2 x 800 HP antar sekat Fr 12 s/d Fr 27 ?
3. Letak komponen konstruksi pada kapal *TugBoat* 2 x 800 HP yang paling kritis terhadap pembebanan maksimum antar sekat Fr 12 s/d Fr 27 ?

Batasan masalah yang digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir ini agar sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang di harapkan. Batasan permasalahan yang di bahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Asumsi perhitungan menggunakan analisa linier statis.
2. Perhitungan kajian teknik meliputi tegangan, tegangan maksimum, pembebanan maksimum pada konstruksi kapal.
3. Kajian dilakukan pada konstruksi geladak utama pada Fr 12 s/d Fr 27.
4. Tidak menganalisa ban pada *pushertug*.
5. Dianalisa berdasarkan *local stress*.
6. Tidak menganalisa kajian teknis dan ekonomis.
7. Analisa menggunakan *software* Nastran dan Patran.
8. Pemodelan dan analisa model menggunakan MSC Patran Nastran.

Sesuai dengan latar belakang dan permasalahan yang telah dibahas maka penelitian ini mempunyai beberapa tujuan. Adapun tujuan penelitian ini adalah :

- 1 Mendapatkan data karakteristik tegangan yang terjadi pada konstruksi geladak utama kapal *TugBoat* 2 x 800 HP antar sekat Fr 12 s/d Fr 27.
- 2 Mendapatkan data tegangan maksimum yang terjadi pada konstruksi geladak utama kapal *TugBoat* 2 x 800 HP antar sekat Fr 12 s/d Fr 27.
- 3 Mendapatkan data mengenai letak komponen – komponen yang paling kritis dan perlu mendapatkan perhatian lebih pada konstruksi kapal *TugBoat* 2 x 800 HP antar sekat Fr 12 s/d Fr 27.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapal tugboat

TugBoat adalah jenis kapal pemandu yang biasa digunakan untuk menarik dan mendorong kapal besar di pelabuhan, memandu kapal besar pada jalur yang berbahaya, memperbaiki kapal dilaut, melakukan penyelamatan pada air seperti memadamkan api dan *salvage* [2]. Selain itu *TugBoat* adalah Kapal yang fungsinya menarik atau mendorong kapal-kapal lainnya. Dibedakan atas beberapa jenis antara lain kapal tunda samudra, kapal tunda pelabuhan dan lain-lain. Medan yang dilalui *TugBoat* biasanya cukup menyulitkan seperti sungai kecil yang berliku dan laut dangkal berkarang hingga laut luas antar pulau besar, sehingga *TugBoat* harus melakukan manuver yang

baik [3]. Berdasarkan tempat dan kinerja *TugBoat*, terdapat 3 jenis *TugBoat*:

1. *Seagoing Tug*

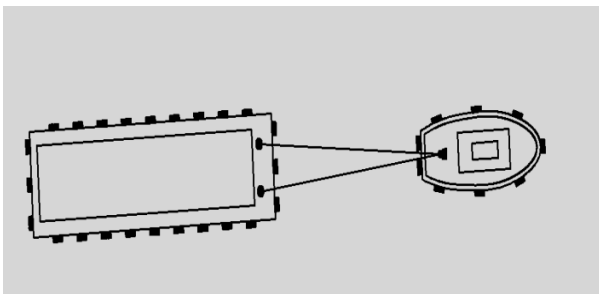
Fungsi dan peran dari *Tugboat* untuk pelayaran bebas yaitu menarik atau mendorong kapal yang tidak memiliki alat penggerak sendiri.

2. *Escort Tug*

Kapal *TugBoat* ini digunakan untuk mengawal kapal besar disepanjang bagian berbahaya

3. *Harbour Tugs*

Harbour Tugs digunakan di pelabuhan, perairan dalam dan daerah pesisir [4].



Gambar 1. Visualisasi kapal *Tugboat* menarik kapal tongkang

2.2. Teori Elastisitas

Teori Elastisitas merupakan cabang dari fisika matematis yang mengkaji hubungan gaya, perpindahan, tegangan, regangan, dan beda elastis. Bila suatu pejal di bebani gaya dari luar, benda tersebut akan berubah 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 [5].

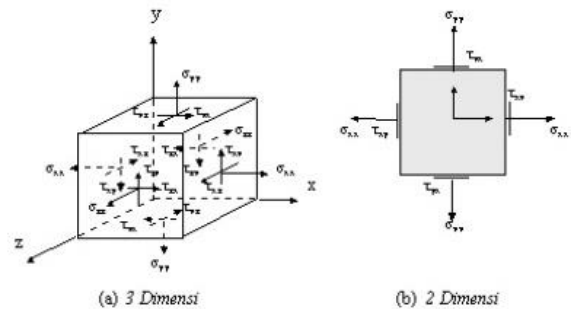
2.3. Tegangan

Pada umumnya tegangan adalah gaya dalam yang bekerja pada luasan yang kecil tak hingga pada sebuah potongan dan terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah. 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 berarah miring 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

$$\sigma = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

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



Gambar 2. Tegangan

2.4. Regangan

Perpanjangan persatuan 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 . Hubungan ini berlaku untuk setiap panjang ukur sampai beberapa deformasi lokal mengambil bagian pada skala yang cukup besar.

$$\epsilon = \frac{\Delta}{L}$$

Dimana :

ϵ = Regangan

Δ = Panjang total

L = Panjang awal

2.5. Pendefinisian Beban

Beban yang diterima oleh kapal *Tugboat* adalah beban statis yang diasumsikan berasal dari pembebanan kapal tongkang. Input propertis pembebanan yang dimasukkan pada program numerik nastran patran bersifat tetap, sebab analisa yang digunakan adalah *static analysis*. Adapun macam - macam beban yang bekerja pada kapal antara lain:

- a. Beban statis, beban yang berubah apabila berat total kapal berubah, sebagai akibat kegiatan bongkar muat, pemakaian bahan bakar, atau perubahan kapal itu sendiri.

Pembebanan statis merupakan jenis pembebanan yang bersifat tetap, dalam hal ini adalah pembebanan dengan asumsi besarnya tidak berubah.

- b. Beban dinamis, beban yang besarnya 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.

2.6. Faktor Keamanan (Factor of Safety)

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 sampai akhirnya menjadi pecah disebut dengan beban *ultimat* (*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 :

$$FS = \frac{\text{ultimate}}{\text{ojin}} \quad [6]$$

2.7. Perhitungan Beban Tunda

Pada perhitungan beban tunda ini di asumsikan dengan beban tongkang (*barge*) yang ditarik dan didorong oleh *tugboat*. Diberikan nilai rata-rata, tinggi, dan rendah pada tongkang yang ditarik maupun didorong, dalam *dead weight tons* (DWT). Batas rata – rata sesungguhnya mewakili pada kapasitas rata – rata dalam kondisi biasa. Batas tertinggi DWT mewakili DWT *maximum* yang biasanya dapat ditarik dengan BHP dalam kondisi dekat pantai yang wajar (*fair inshore conditions*).

Rumus beban tunda untuk DWT *barge* vs BHP

- Rumus untuk DWT rendah
Low DWT = (1.32 x BHP) – 255.25

- Rumus untuk DWT rata – rata
Average DWT = (3.43 x BHP) – 599.18
- Rumus untuk DWT tinggi
High DWT = (5.57 x BHP) – 943.10

Dimana :

DWT = *Deadweight tons* pada tongkang (*barge*) yang ditarik.

BHP = *Maximum Brake Horse Power* pada.

(Sumber : *Propeller Handbook* Dave Geer). [7]

2.8. 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 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. [8]

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Literatur

Mempelajari sistematika perhitungan yang akan dikemukakan di dalam Tugas Akhir dari berbagai referensi baik berupa buku, jurnal, dan lain – lain. Dasar – dasar teori dan referensi yang dijadikan untuk pengolahan data dan membahas data – data penelitian antara lain

1. Teori Pelat
2. Rules BKI Vol.II 2014
3. Teori Mekanika Teknik
4. Software MSC Patran

3.2 Studi Lapangan

Pengambilan data kapal baik ukuran maupun gambar rencana umum, penulis melakukan tinjauan langsung ke PT. Daya Radar Utama, Jakarta.

3.3. Penelitian

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

3.4 Pengolahan Data

Pengolahan data dimulai dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pembuatan Model

Membuat model dengan memasukkan data- data dimensi sesuai pembagian searah sumbu x, y, z menggunakan program MSC Patran.

2. Pembebanan

Hasil model kapal tersebut diberi beban dan gaya-gaya yang mempengaruhi kelelahan material dengan menggunakan software MSC Patran.

3. Analisa Kekuatan

Setelah diketahui pembebanan dan titik rawannya kemudian di analisa kekuatannya menggunakan *MSC Nastran*.

3.5. Penyajian Data Hasil Pengolahan Data

Semua hasil pengolahan data berupa gambar, grafik, serta perhitungan yang diperoleh hasil dari proses tersebut, kemudian dilakukan pengelompokkan agar mudah dalam penyusunan laporan.

3.6. Analisa Dan Pembahasan

Dari semua hasil pengolahan data berupa gambar model, *display* hasil analisis, serta parameter – parameter mekanika teknik yang diperoleh dan telah dikelompokkan maka kemudian dilakukan proses analisa dan pembahasan yang meliputi parameter mekanika yang dicari seperti tegangan maksimum dan deformasi.

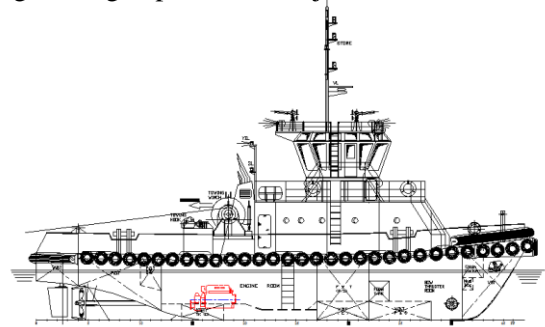
3.7. Validasi

Validasi adalah tahapan untuk memperoleh gambaran apakah hasil analisa telah sesuai (*match*) dengan sistem yang diwakilinya (*representativeness*). Proses validasi ini bisa dijadikan parameter apakah hasil analisa yang sudah kita lakukan mendekati benar atau salah, validasi bisa dengan menggunakan *software* lain ataupun dengan cara manual.

3.8. Penarikan Kesimpulan

Pada tahap ini diambil kesimpulan, kesimpulan diperoleh dari data yang telah diolah dan dianalisa

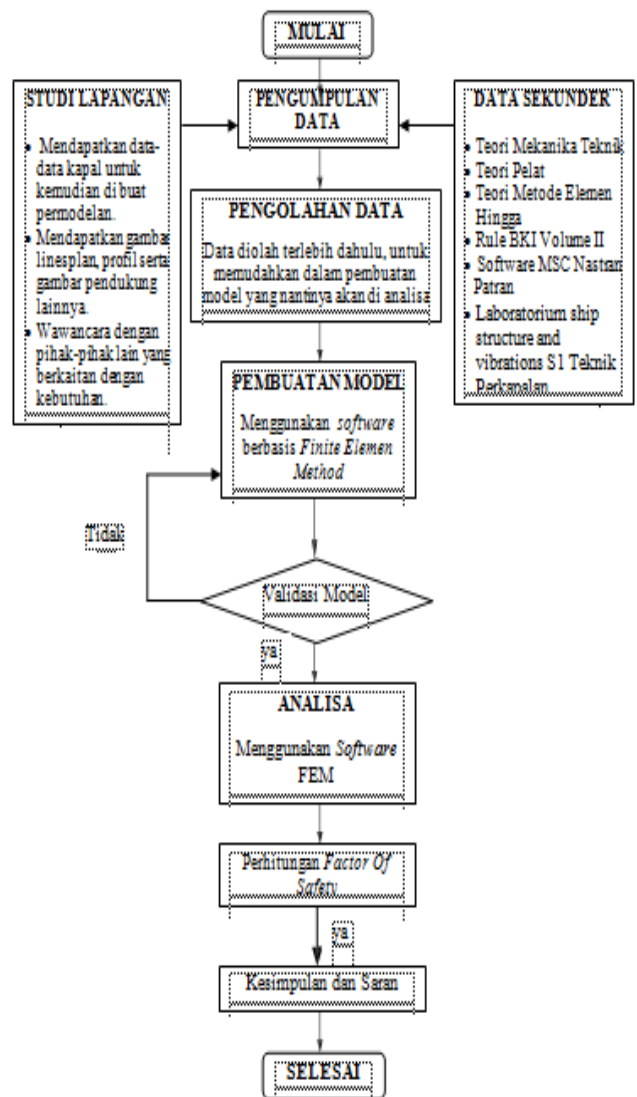
sesuai dengan tujuan awal yang telah di tetapkan pada penelitian serta saran mengenai pengembangan penelitian lanjutan



Gambar 3. Rencana Umum Kapal

3.9. Flow Chart Metodologi Penelitian

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.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Kapal

Name	= TugBoat 2 x 800HP
Type	= TugBoat
Length Over All	= 23,50 m
Length P.P	= 21,68 m
Bread Moulded	= 3,50 m
Draught	= 2.40 m
Service Speed	= 10 knot
Cb	= 0,626

4.2. Asumsi Pembebanan

Asumsi pembebanan saat kapal *Tugboat* melakukan gerakan menarik kapal tongkang, terdapat empat variasi pembebanan yaitu pembebanan *Light Weight Barge*, *Light Weight Barge + Dead Weight Barge*, *Sagging*, *Hogging*.

4.3. Perhitungan Beban Tunda

Pada perhitungan beban tunda ini di asumsikan dengan beban tongkang (*barge*) yang ditarik dan didorong oleh *tugboat*. Berat DWT kapal tongkang dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

- Rumus untuk DWT rendah

$$\begin{aligned} \text{Low DWT} &= (1.32 \times \text{BHP}) - 255.25 \\ &= (1,32 \times 1600) - 255,25 \\ &= 1.856,75 \text{ Ton} \end{aligned}$$

- Rumus untuk DWT rata – rata

$$\begin{aligned} \text{Average DWT} &= (3.43 \times \text{BHP}) - 599.18 \\ &= (3,43 \times 1600) - 599,18 \\ &= 4.888,82 \text{ Ton} \end{aligned}$$

- Rumus untuk DWT tinggi

$$\begin{aligned} \text{High DWT} &= (5.57 \times \text{BHP}) - 943.10 \\ &= (5,57 \times 1600) - 943,10 \\ &= 7.968,90 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Tabel.1 Perhitungan Beban Tunda

DWT Tongkang	Hasil (ton)
Low DWT	1.856,75
Average DWT	4.888,82
High DWT	7.968,90

Dari hasil perhitungan *Dead Weight Tons* (DWT) kapal tongkang yang dilakukan, nilai *Dead Weight Tons* (DWT) kapal mempunyai nilai maksimal adalah 7968,90 Ton. Dalam perhitungan kekuatan di tugas akhir ini digunakan asumsi variasi pembebanan kapal yaitu sebesar 5640 Ton.

4.4. Analisa Kekuatan

Analisa yang dilakukan pada penelitian ini didasarkan fungsi dari kapal *Tugboat* yaitu melakukan gerakan menarik. Gerakan menarik oleh

Tugboat digambarkan bahwa kapal tongkang yang sebelumnya sudah diikat dengan tali penarik (*tow line*), kemudian tali penarik (*tow line*) ini juga diikatkan pada *towing bolder* pada kapal *tugboat*. Setelah pengikatan *tow line* sudah siap, maka secara perlahan kapal tongkang ditarik menggunakan kapal *Tugboat* menuju daerah yang diinginkan.

Tahap ini dilakukan untuk menghitung nilai stress tertinggi pada material sekaligus untuk mengetahui letak titik kritis pada saat variasi pembebanan dilakukan.

Dengan dasar rumus:

$$\text{Gaya} = \text{Massa} \times \text{Percepatan}$$

$$\mathbf{F = m \times a}$$

MSC Patran digunakan penulis untuk membantu perhitungan nilai tegangan agar lebih mudah, langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Proses Pendefinisian *Element Type*

Element type pada model dapat didefinisikan sesuai yang diinginkan dengan menentukan jenis *element* yang akan dipakai dan 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 ini adalah baja standar. Dimana kriteria bahan baja KI-A36 tersebut adalah

$$\text{Modulus Elastisity} = 2,06 \times 10^5 \text{ Mpa}$$

$$\text{Yield} = 235 \text{ Mpa}$$

$$\text{Ultimate Stress} = 400 \text{ Mpa}$$

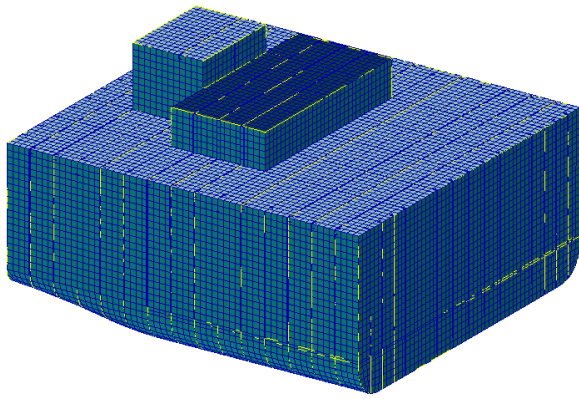
$$\text{Shear Modulus} = 79230,76 \text{ Mpa}$$

$$\text{Poisson's Ratio} = 0,3$$

$$\text{Density} = 7.862,3 \text{ Kg/m}^3$$

3. Proses *Meshing*

Proses *meshing* adalah proses dimana model dibuat menjadi kumpulan nodal elemen hingga dengan ukuran yang lebih kecil dan saling terhubung. *Meshing* ditentukan dengan *SIZE Element edge length* 0,125, dengan parameter semakin kecil *SIZE* maka *meshing* akan semakin detail, semakin besar *SIZE* maka *meshing* akan semakin kurang detail.



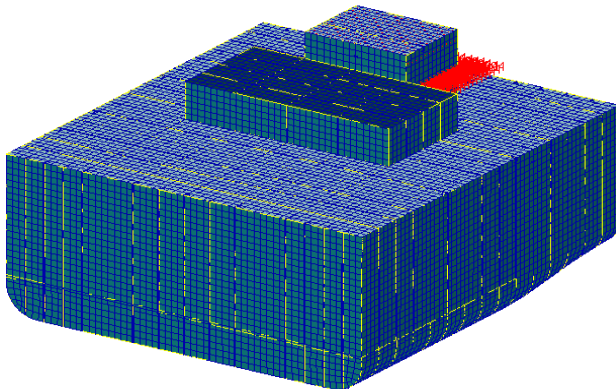
Gambar 5. Meshing

4. Penentuan Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Kondisi batas diartikan juga sebagai kondisi jepit yang fungsinya menjaga agar tiap-tiap ujung benda tetap kaku (*rigid*), tidak bergerak-gerak saat analisa dilakukan Adapun *Boundary Conditions* untuk analisa kekuatan modifikasi konstruksi *Double Bottom* ini sesuai ketentuan dibawah ini :

- *Independent point on aft end* :
Translational (x, y, z) = < -, 0, 0 >
Rotational (x, y, z) = < -, -, - >
- *Independent point on fore end* :
Translational (x, y, z) = < 0, 0, 0 >
Rotational (x, y, z) = < 0, -, - >

5. Penentuan gaya tekan beban per satuan luas didasarkan pada perhitungan pembebanan.



Gambar 6. Arah *Pressure* pada *Towing Hook*

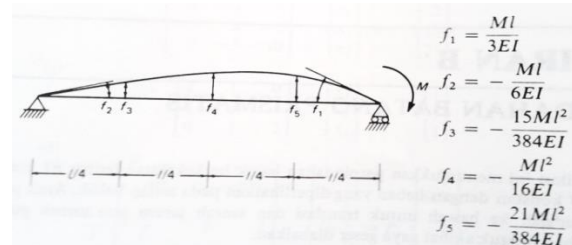
6. *General Postprocessing*

Dalam tahap *postprocessing* akan dapat diketahui hasil dari *running* perhitungan *software*. Nantinya didapatkan hasil *stress* tertinggi.

4.5. Validasi

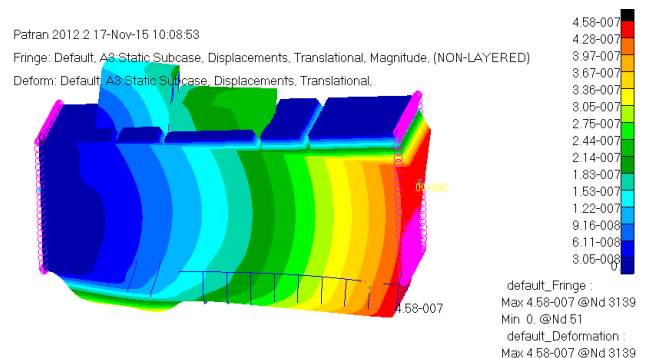
Sebelum masuk ke tahap analisa, suatu model yang dibuat dengan bantuan *software* harus dilakukan validasi model. Hal ini akan

menunjukkan keakuratan pemodelan pada *software* dengan model yang sebenarnya. Cara yang digunakan dalam validasi model yaitu dengan membandingkan perbandingan hasil deformasi antara analisa pada *software* dan perhitungan menggunakan rumus mekanika teknik. Adapun rumus yang dipakai dalam perhitungan deformasi yaitu :



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

Dimana : M = momen, I = momen inersia,
 E = modulus elastisitas,
 Vmax = defleksi maksimum,
 f4 = deformasi tengah.



Gambar 7. Validasi Model Software

Tabel 2. Perbandingan Perhitungan Manual dan Analisa Software

Analisa	Software (m)	Manual (m)	Validitas
Deformasi	$2,44 \times 10^{-7}$	$2,5396 \times 10^{-7}$	96,10 %

Berdasarkan perbandingan hasil perhitungan menggunakan rumus mekanika teknik dan hasil analisa *software* yang presentase validitas masih dibawah 10%, sehingga dapat disimpulkan model dianggap valid.

4.6. *Pressure*

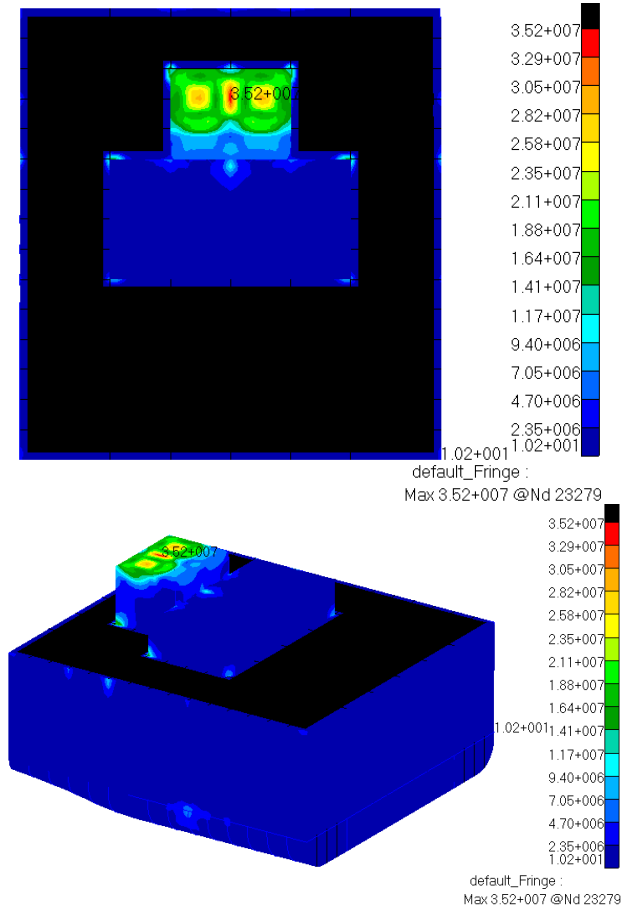
Pressure yang akan diinputkan pada model konstruksi kapal *TugBoat* 2 x 800 HP antar sekat Fr 12 s/d Fr 27 adalah sebagai berikut :

- Kondisi kapal *Tugboat* menerima beban *Light Weigt Barge* = 11.773,44 N/m²

- Kondisi kapal *Tugboat* menerima beban *Light Weigt Barge + Dead Weigt Barge* = 25.986,24 N/m²
- Nilai momen yang diinputkan pada kondisi *sagging* (dipilih nilai momen terbesar) :
Fore end of model (Fr.27) = 79.907 kg.m = 783.647,95 N.m
- Nilai momen yang diinputkan pada kondisi *hogging* (dipilih nilai momen terbesar) :
Fore end of model (Fr.27) = 174.315,30 kg.m = 1.709.510,15 N.m

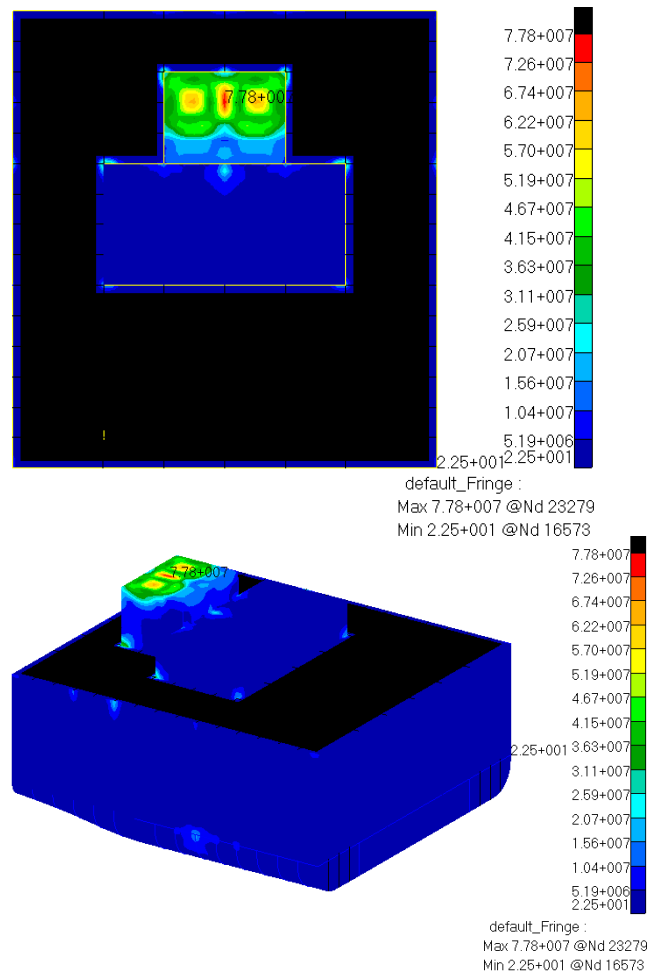
4.7. Hasil Analisa

- **Pembebanan Statis**



Gambar 8. Hasil Analisa Kondisi Kapal *Tugboat* Ketika Menerima Beban *Light Weight Barge*

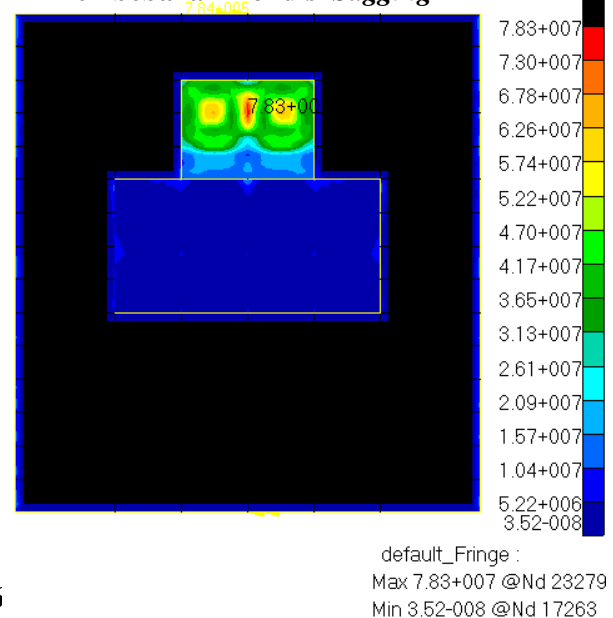
Hasil analisa pembebanan *Light Weight Barge* pada saat kondisi beban statis didapat tegangan maksimum sebesar 3,52 x 10⁷ Pa atau 35,20 Mpa terletak pada node @23279.

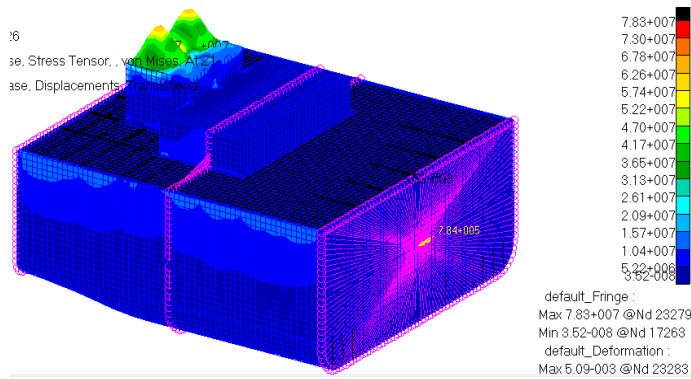


Gambar 9. Hasil Analisa Kondisi Kapal *Tugboat* Ketika Menerima Beban *Light Weight Barge + Dead Weight Barge*

Hasil analisa pembebanan *Light Weight Barge + Dead Weigt Barge* pada saat kondisi beban statis didapat tegangan maksimum sebesar 7,78 x 10⁷ Pa atau 77,80 Mpa terletak pada node @23279.

- **Pembebanan Kondisi *Sagging***

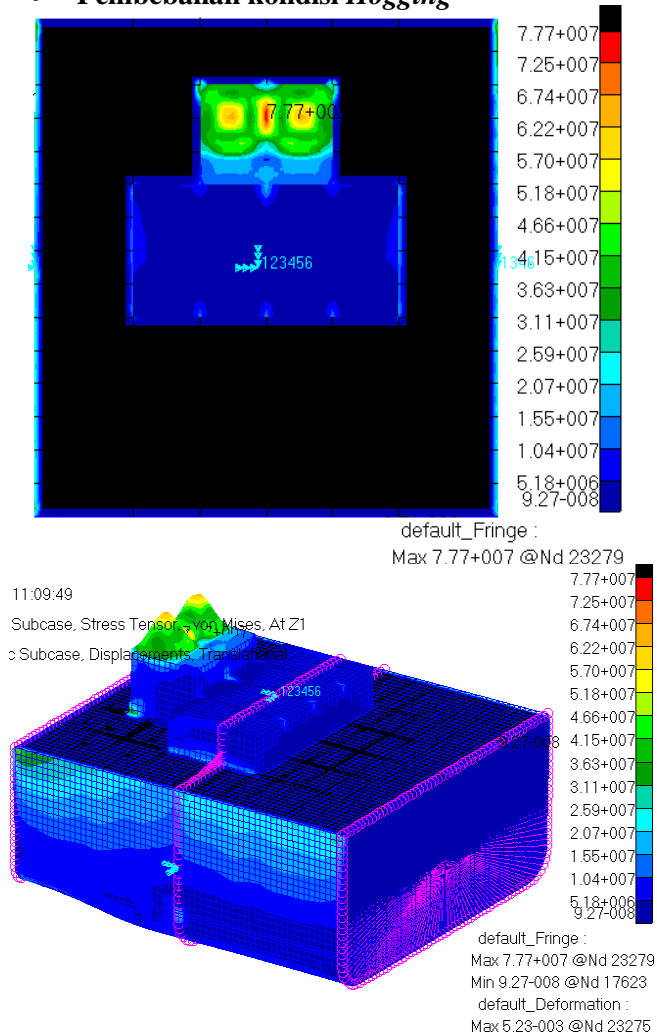




Gambar 10. Hasil Analisa Kondisi Kapal *Tugboat* Ketika Menerima Beban *Full Load* Kondisi *Sagging*

Hasil analisa pembebanan *full load* pada saat kondisi *Sagging* didapat tegangan maksimum sebesar $7,83 \times 10^7$ Pa atau 78,30 Mpa terletak pada node @23279.

• **Pembebanan kondisi *Hogging***



Gambar 11. Hasil Analisa Kondisi Kapal *Tugboat* Ketika Menerima Beban *Full Load* Kondisi *Hogging*

Hasil analisa pembebanan *full load* pada saat kondisi *hogging* didapat tegangan maksimum sebesar $7,77 \times 10^7$ Pa atau 77,70 Mpa terletak pada node @23279.

4.8. Factor of Safety

Besarnya nilai kekuatan bisa dilihat dari faktor keamanan (*Factor of Safety*) dimana Syarat faktor keamanan nilainya harus lebih dari 1 atau tegangan maksimum lebih kecil dari tegangan ijin. Untuk menghitung *factor of safety* menggunakan rumus :

$$FS = (\sigma_{\max}/\sigma_v)$$

$$FS > 1 \text{ (aman)}$$

Tabel 3. Perhitungan Factor of Safety Menurut Tegangan Rules BKI

Kondisi	Beban	σ_{\max} (N/mm ²)	Lokasi Nodal	σ_{ijin} (N/mm ²)	Fs	Ket
Statis	<i>LWT</i>	35,20	23279	195,05	5,5	Pass
	<i>Full load</i>	77,80	23279	195,05	2,5	Pass
<i>Sagging</i>	<i>Full load</i>	78,30	23279	195,05	2,5	Pass
<i>Hogging</i>	<i>Full load</i>	77,70	23279	195,05	2,5	Pass

Tabel 4. Perhitungan Factor of Safety menurut kriteria material BKI

Kondisi	Beban	σ_{\max} (N/mm ²)	Lokasi Nodal	σ_{ijin} (N/mm ²)	Fs	Ket
Statis	<i>LWT</i>	35,20	23279	400	11,40	Pass
	<i>Full load</i>	77,80	23279	400	5,10	Pass
<i>Sagging</i>	<i>Full load</i>	78,30	23279	400	5,10	Pass
<i>Hogging</i>	<i>Full load</i>	77,70	23279	400	5,20	Pass

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan Kajian Teknik Kekuatan Konstruksi Kapal *Tugboat* 2 x 800 HP dengan Metode Elemen Hingga diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik tegangan yang terjadi pada konstruksi kapal *Tugboat* 2 x 800 HP dengan menggunakan kajian *pressure* saat melakukan gerakan menarik dalam beberapa variasi kondisi pembebanan dengan menggunakan program berbasis FEM adalah sebagai berikut:

- a. Kondisi *light weight barge* = 35,20 N/mm²
 - b. Kondisi *light weight barge* + *dead weight barge* = 77,80 N/mm²
 - c. Kondisi *sagging (full load)* = 78,30 N/mm²
 - d. Kondisi *hogging (full load)* = 77,70 N/mm²
2. *Maximum stress* terbesar konstruksi kapal *TugBoat 2 x 800 HP* antar sekat Fr 12 s/d Fr 27 yang terjadi pada saat kapal melakukan tarikan yaitu sebesar 78,30 N/mm² pada pembebanan *full load* ketika kondisi *sagging*.
 3. Pada saat kapal melakukan tarikan daerah paling kritis terjadi pada node 23279 dengan tegangan terbesar 78,30 N/mm² yang terletak di pelat dudukan *towing hook* plate dan gading nomor 15. Tegangan ini masih dalam kondisi aman karena setelah dibandingkan dengan σ_{ijin} BKI sebesar 195,05 N/m² dan σ_{ijin} kriteria material BKI sebesar 400 N/m², nilai FS > 1 (aman).

5.2 Saran

1. Pemodelan dengan menggunakan metode Elemen hingga sangat bergantung kepada jumlah elemen yang dipergunakan dan kesesuaian pemberian *constraint* dan *load* sesuai tempatnya pada suatu model. Sehingga untuk mendapatkan hasil pemodelan yang lebih baik hendaknya pembuatan model dilakukan dengan pembagian *mesh* yang lebih banyak lagi, terutama pada daerah yang mengalami pemusatan tegangan. Dengan demikian hasil yang akan didapat mendekati kondisi sesungguhnya.
2. Menggunakan spesifikasi komputer yang tinggi akan membantu memperlancar serta bisa menghemat waktu, ketika pengerjaan dan *running*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mulyatno, I.P., Berlian A.A., Muhammad, A. 2012. Analisa Kekuatan Konstruksi *Bracket Towing Hook* Pada Tb. Bontang Dengan Metode Elemen Hingga Dan Rules BKI. Program Studi S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro. Semarang. 1(9):1-5
- [2] Djaya, I., K. 2008. Teknik Konstruksi Kapal Baja. Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional
- [3] Prakoso, C., Yannes M.P. 2010. Pengembangan Anjungan Kapal Tugboat Penarik Tongkang Batubara berbasis Ergonomi. [Jurnal Tingkat Sarjana Senirupa dan Desain]. Fakultas Seni Rupa dan Desain, ITB. Bogor. 1:1-7
- [4] Dokkum, K.V. 2003. *Ship Knowledge A Modern Encyclopedia*. Dokmar. Enkhuizen, The Netherlands
- [5] Szilard, R. 1989. *Theory and Analysis of Plates classical and Numerical Methods*. University of Hawaii .Hawai
- [6] Popov, E.P. 1978. *Mechanics of Material, 2nd edition, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs*. New Jersey. USA
- [7] Geer Dave. 1989. *Propeller Handbook The Complete Reference for choosing, instaling and Understanding Boat Propeller*. The McGrew-Hill Companies. USA
- [8] Alam, M.S. 2005. *Finite element Modeling of Fatigue Crack Growth in Curved-Welded Joints Using Interface Elements*. University of Illinois. Illinois
- [9] Jatmiko, S., Tunjung, W.H. 2011. Analisa Kekuatan Pondasi Z – *Peller* Karena Adanya Perubahan Konstruksi Pada Kapal *Tug Boat Anoman V* Dengan Metode Elemen Hingga. Fakultas Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro. Semarang. 3(8):126-133
- [10] Kumar, Y.V.S., M. Mukhopadhyay. 2000. *Finite Element Analysis Of Ship Structures Using A New Stiffened Plate Element*. [Applied Ocean Research]. Department of Ocean Engineering and Naval Architecture, Indian Institute of Technology. Kharagpur, India. 22:361-374
- [11] Mulyatno, Iqbal, A. 2011. Analisa Kekuatan Konstruksi *Transverse Bulkhead* Ruang Muat No.I Pada *18500 Dwt Dry Cargo Vessel* Berbasis Metode Elemen Hingga. Program Studi S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro. Semarang. 1(8):16-22
- [12] Yang, L., Bi-guang H., K. Inoue, H. Sadakane. 2010. *Experimental Study On Braking Force Characteristics Of Tugboat*. [Journal of Hydrodinamic]. Navigation College, Dalian Maritime University. Dalian, China. 22(5):343-348