

ANALISA KEKUATAN VARIASI SISTEM KONSTRUKSI TRANSVERSE WATERTIGHT BULKHEAD PADA MULTI-PURPOSE CARGO / CONTAINER VESSEL 12000 DWT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Josua Parulian Sinaga¹, Imam Pujo Mulyatno¹, Wilma Amiruddin¹
1) S1 Teknik Perkapalan, Fakultas teknik, Universitas Diponegoro
Email: joosuasinaga@gmail.com

Abstrak

Konstruksi struktur *transverse watertight bulkhead* adalah salah satu struktur yang sangat penting dikarenakan konstruksi ini harus mampu untuk menahan beban jika terjadi kemasukan air pada ruang muat. Beban yang diskenariokan pada variasi sistem konstruksi *transverse watertight bulkhead* meliputi beban muatan homogen yaitu *ore iron* pada saat kapal kemasukan air (*flooding*) sebesar 146,27 kN, beban *ballast water tank* sebesar 7,53 kN, beban *wing water tank* sebesar 40,62 kN, beban eksternal tekanan air laut sebesar 79,36 kN. Penelitian menganalisa struktur *transverse watertight bulkhead* dengan variasi sistem konstruksi dengan membandingkan jenis *corrugated*, *stiffener* berprofil "*TEE Section*", *stiffener* berprofil "*Half Bulb*" dan *stiffener* berprofil "*TEE Section dan Angel Bar*" dengan ketentuan dari *rules* Biro Klasifikasi Indonesia. Pembuatan model dikerjakan di *software* FEM, dan akan dilakukan *strength analysis*. Berdasarkan hasil analisa didapatkan hasil tegangan *von mises maksimum* pada *corrugated* sebesar 139 N/mm² pada *node* 64928, *stiffener* berprofil "*TEE Section*" sebesar 165 N/mm² pada *node* 74297, *stiffener* berprofil "*Half Bulb*" sebesar 250 N/mm² pada *node* 79200 dan *stiffener* berprofil "*TEE Section dan Angel Bar*" sebesar 236 N/mm² pada *node* 74297. Hasil analisa yang didapatkan kemudian divalidasi dengan perhitungan *strength criteria* berdasarkan *rules* Biro Klasifikasi Indonesia yaitu sebesar 180 N/mm², Dan standar faktor keamanan yang ditentukan Biro Klasifikasi Indonesia yaitu harus lebih dari 1 (satu).

Kata kunci : Multi-purpose Caro/Container Vessel, Transverse Watertight Bulkhead, Strength Criteria, Flooding, Tegangan Von Misses, Faktor Keamanan, Metode Elemen Hingga.

Abstract

Construction structure *transverse watertight bulkhead* is one structure that is very important because this construction must be able to withstand the load in case of penetration of water in the cargo hold. Load variations scripted in *watertight transverse bulkhead construction system* includes payload homogeneous namely iron ore ships enter waters during (*flooding*) of 146.27 kN, the load water ballast tanks of 7.53 kN, the load wing water tank of 40.62 kN , the burden of external sea water pressure of 79.36 kN. The research analyze the structure *transverse watertight bulkhead* with a variety of construction systems by comparing the type of *corrugated*, profile *stiffener* "*TEE Section*", *stiffener* profile "*Half Bulb*" and *stiffener* profile "*TEE Section and the Angel Bar*" with provisions Biro Klasifikasi Indonesia rules. Modeling done in FEM software, and will be carried out *strength analysis*. Based on the results of the analysis showed *von mises stress* on *corrugated* maximum of 139 N/mm² at 64928 nodes, profile *stiffener* "*TEE Section*" of 165 N/mm² at 74297 nodes, profile *stiffener* "*Half Bulb*" of 250 N/mm² at 79200 nodes and *stiffener* profile "*TEE Section and the Angel Bar*" of 236 N/mm² at node 74297. The results of the analysis are obtained and then validated by the *strength calculation criteria* based on rules Biro Klasifikasi Indonesia amounting to 180 N/mm², and the safety factor specified standard Biro Klasifikasi Indonesia, should be more than 1 (one).

Keywords: Multi-purpose Caro/Container Vessel, Transverse Watertight Bulkhead, Strength Criteria, Flooding, Stress Von Misses, Safety Factor, Finite Element Method.

PENDAHULUAN

Penelitian dalam beberapa tahun terakhir banyak dilakukan pada keandalan struktur utama lambung kapal, namun keandalan struktur seperti *bulkhead* sejauh ini tidak menerima pengawasan yang lebih. *Watertight Bulkheads* (WTBs) merupakan konstruksi penting yang membatasi kompartemen/ruang untuk kapal dapat bertahan jika terjadi kerusakan atau insiden yang melibatkan lambung kapal. Kegagalan struktur pada ruang muat baik itu kegagalan struktur pada *Watertight Bulkhead*, *Double Bottom* maupun *Hatch Cover* yang membuat ruangan terasuki air dan merambat ke ruang muat yang lain sehingga kapal tengelam secara cepat. Gambar 1.1 menunjukkan kebocoran pada kapal MSC NAPOLI yang mengalami kebocoran pada kamar mesin pada tanggal 18 Januari 2007. Dari 41.773 ton kargo di kapal, 1.684 ton berasal dari produk diklasifikasikan sebagai berbahaya oleh IMO. 103 kontainer jatuh ke laut. Minyak tumpah 5 mil (8.0 km) utara-timur, yang mengakibatkan sebagian besar dari kehidupan laut yang terkena menghadapi cedera permanen atau mati. Dan mengalami kerugian karena barang yang termasuk dalam kontainer beberapa sepeda motor BMW R1200RT, tong anggur kosong, popok, parfum, dan bagian mobil banyak yang diambil warga. Dalam kasus-kasus kapal tengelam yang disebabkan kejadian kebocoran hal ini harus benar-benar diperhatikan terutama untuk meningkatkan aturan klasifikasi dan memastikan keselamatan kapal oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan-perhitungan yang sesuai dengan klasifikasi yang terbaru dan perhitungan kekuatan kapal dalam kondisi bocor. Distribusi beban yang signifikan dan adanya tekanan muatan serta tekanan air laut pada kapal menyebabkan terjadinya tegangan dan regangan pada struktur *transverse watertight bulkheads*. Dalam perencanaan struktur, semua elemen harus diberikan ukuran tertentu. Ukuran harus diproporsikan cukup kuat untuk memikul beban yang mungkin terjadi. Setiap elemen struktur juga harus cukup kaku sehingga tidak melengkung atau berubah bentuk (berdeformasi) berlebihan pada saat struktur dipakai.



Gambar.1.Kondisi kapal MSC NAPOLI mengalami kebocoran pada kamar mesin.

Perumusan Masalah

Dari penjelasan latar belakang diatas, dapat dirumuskan masalah yang dihadapi dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa kekuatan variasi sistem konstruksi *transverse watertight bulkhead* pada kondisi kebocoran dengan metode elemen hingga yang hasilnya akan dibandingkan dengan ketentuan dari rules BKI tahun 2013 ?
2. Apakah variasi sistem konstruksi *transverse watertight bulkhead* masih dikatakan aman pada kondisi kebocoran?
3. Bagaimana karakteristik tegangan pada variasi sistem konstruksi *transverse watertight bulkhead* kondisi kebocoran?
4. Terletak dimanakah komponen yang paling kritis pada variasi sistem konstruksi *transverse watertight bulkhead* pada kondisi kebocoran ?

Batasan Masalah

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini permasalahan akan dibatasi sebagai berikut :

1. Kapal yang akan dianalisa pada Tugas Akhir ini yaitu *Multipurpose Cargo/Container Vessel 12000 DWT Marina Star 2*.
2. Permodelan dan analisa kekuatan pada struktur variasi sistem konstruksi *transverse watertight bulkhead* akibat

- kebocoran menggunakan alat bantu *software* MSC. Patran - Nastran.
3. Pemodelan dilakukan pada variasi sistem konstruksi *transverse watertight bulkhead* yang berjenis *corrugated bulkhead*, *stiffener* berprofil "tee section" *bulkhead*, *stiffener* berprofil "half bulb" *bulkhead* dan , *stiffener* berprofil "tee section" dan "angel bar" *bulkhead*.
 4. Pemodelan dilakukan pada *frame* no.138 sampai pada *frame* no.142 atau dengan arti lain pemodelan dilakukan pada *transverse watertight bulkhead frame* no.140 yang menerima beban kondisi kebocoran.
 5. Analisa perhitungan yang digunakan adalah analisa pembebanan statis berupa beban air laut, beban muatan, beban kondisi kebocoran, beban wing tank dan beban air balas.
 6. Pembebanan dengan kondisi muatan yang homogen yaitu *Ore Iron* dengan massa jenis 3,55 ton/m³
 7. Penentuan skenario pembebanan kondisi ekstrem ditentukan jenis kondisi dari prosedur IACS UR S17-23 yaitu pada saat kapal beroperasi, diasumsikan beban air laut, beban muatan, beban air kondisi kebocoran, beban wing tank dan beban air balas dalam keadaan maksimum.
 8. Material pelat diasumsikan *isotrop*.
 9. Material Baja yang diterapkan adalah Baja Grade A-BKI ASTM, Grade A
 10. *Respon Stress* menggunakan Tegangan *Von Mises*.

Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui *maximum stress (von mises)* pada variasi sistem konstruksi *transverse*

watertight bulkhead Multi-purpose Cargo/Container Vessel 12000 DWT Marina Star 2 kondisi kebocoran dengan metode elemen hingga dibantu *software* MSC. Patran - Nastran.

2. Membandingkan tegangan maksimum *Finite Element analysis* dengan syarat ketentuan tegangan ijin oleh regulasi Biro Klasifikasi Indonesia.
3. Mengetahui faktor keselamatan pada variasi sistem konstruksi *transverse watertight bulkhead* kondisi kebocoran.
4. Mengetahui Karakteristik variasi sistem konstruksi *transverse watertight bulkhead* pada saat kondisi kebocoran yang paling kritis

TINJAUAN PUSTAKA

A. *Multi-Purpose Cargo/Container Vessel*

Multi-purpose Cargo/Container Vessel merupakan kapal yang dikelompokkan mengangkut berbagai jenis dan bentuk muatan yang diletakan didalam ruang muat dan diletakan diatas palka atau deck kapal. Kapal ini dispesifikasikan untuk mengangkut muatan baik dalam bentuk yang dikemas dan kontainer. Muatan yang diangkut barang yang dikemas (seperti; bahan makanan, pakaian, mesin, kendaraan bermotor, kendaraan militer, mesin, *furniture* dan lain-lain), batu bara, biji-bijian dan kargo curah. Sedangkan tipe dari kapal ini dibedakan menjadi :

1. *Break Cargo Vessel*, yang mengangkut muatan yang tidak dikemas ataupun dikemas di dalam ruang muat dan diatas palka atau deck muatan didalam kontainer.
2. *Unitised Cargo Vessel (container)*, yang mengangkut muatan didalam kontainer didalam ruang muat maupu di atas palka atau deck.

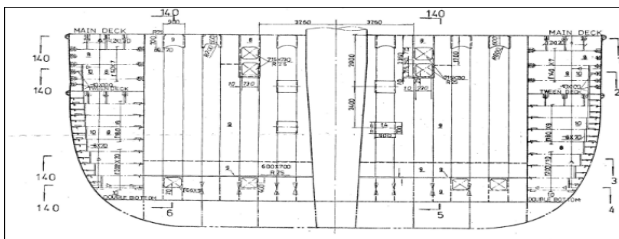


Gambar.2 *Multi-purpose Cargo/Container Vessel* Marina Star 2

B. *Transverse Watertight Bulkhead*

Konstruksi *Transverse Watertight Bulkhead* kapal harus dibuat kuat dan kokoh sehingga dapat menahan / mengatasi gaya dialami oleh kapal pada waktu berlayar dan dalam kondisi kerusakan yang berakibat banjir. *Transverse watertight bulkhead* mempunyai 2 jenis sistem konstruksi yaitu:

1. *Corrugated Transverse Watertight Bulkhead* (Sekat Kedap Air Bergelombang).
2. *Plane/Stiffener Transverse Watertight Bulkhead* (Sekat Kedap Air Berpenegar).

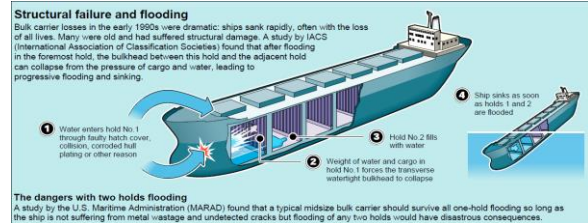


Gambar.3 Konstruksi *transverse watertight bulkhead* *Multipurpose Cargo/ Container Vessel* Marina Star 2.

C. Definisi *Flooding*

Flooding dalam istilah perkapalan adalah kondisi dimana suatu kompartemen terasuki oleh air yang disebabkan oleh apapun. Semua keadaan *flooding* dapat menyebabkan pengurangan stabilitas dan jika pengurangan tersebut makin besar maka dapat menyebabkan kapal terbalik, bahkan jika pengurangan stabilitas tersebut tidak menyebabkan kapal

terbalik akan menimbulkan sudut kemiringan yang besar dimana dengan sudut kemiringan yang besar sama sekali tidak dapat meluncurkan *lifeboat* untuk keselamatan awak kapal.



Gambar.4 Ilustrasi keadaan *Flooding*

D. Reaksi Struktur

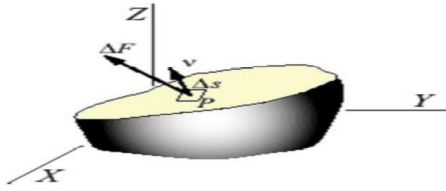
Kekuatan komponen struktur dikatakan tidak memadai atau kegagalan struktur dikatakan telah terjadi apabila material struktur telah kehilangan kemampuan menopang beban melalui kepecahan, luluh, tekuk (*buckling*) atau mekanisme kegagalan lainnya dalam menghadapi beban-beban eksternal.

Untuk melakukan analisa atas respon struktur pada suatu bagian kapal, diperlukan tiga jenis informasi yang menyangkut komponen struktur tersebut :

1. Ukuran, tataletak, dan sifat-sifat mekanik bahan komponen tersebut.
2. Kondisi batas komponen, yaitu derajat kekakuan sambungan komponen ke komponen yang bersebelahan.
3. Beban yang bekerja

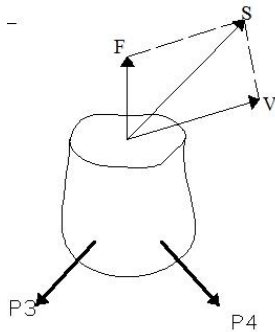
E. Tegangan

Pada umumnya tegangan adalah gaya dalam yang bekerja pada luasan yang kecil tak berhingga pada sebuah potongan dan terdiri dari bermacam – macam besaran dan arah.



Gambar.5 Pengirisan sebuah benda

Pada umumnya, intensitas gaya yang bekerja pada luasan kecil tak berhingga pada suatu potongan berubah – ubah dari suatu titik ke titik yang lain, umumnya intensitas gaya ini berarah miring pada bidang potongan. Penguraian intensitas ini pada luas kecil tak berhingga diperlihatkan pada gambar.5. Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (*normal stress*) pada sebuah titik.



Gambar.6 Komponen normal dan geser dari tegangan geser

F. Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan tegangan regangan pada suatu bahan homogen isotropik, elastis didasarkan pada hukum *Hooke* untuk tegangan tiga dimensi. Hukum *Hooke* dinyatakan dengan persamaan $\sigma = E \times \varepsilon$ (atau) $E = \sigma / \varepsilon$ dimana 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 $210 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ atau $E = 210 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$.

G. Faktor Keamanan

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 *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. Tabel dibawah ini memberikan kekuatan – kekuatan *ultimate* dan sifat – sifat fisis yang lain dari beberapa bahan. Untuk disain bagian – bagian struktur tingkat tegangan disebut tegangan ijin (*allowable stress*) dibuat benar – benar lebih rendah daripada 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 :

$$FS = \frac{\sigma_{ultimate}}{\sigma_{ijin}}$$

H. Sifat – Sifat Material

Suatu material yang kaku tentunya memiliki fleksibilitas meskipun material tersebut terbuat dari baja.

a) Ketangguhan (*toughness*)

Ketangguhan adalah kemampuan atau kapasitas bahan untuk menyerap *energy* sampai patah atau penahanan suatu material terhadap pecah menjadi dua.

b) Pemanjangan (*elongation*)

Pemanjangan sampai kegagalan (*failure*) adalah suatu ukuran keliatan suatu material, dengan

kata lain adalah jumlah regangan yang dapat dialami oleh bahan sebelum terjadi kegagalan dalam pengujian tarik.

c)Kepadatan (*density*)

Kepadatan (*Density*) adalah suatu ukuran berapa berat suatu benda untuk ukuran yang ditentukan, yaitu massa material setiap satuan volume.

d)Kelentingan (*resilience*)

Kelentingan adalah kemampuan material menyerap energi saat material mengalami deformasi elastic.

e)Keliatan (*ductility*)

Keliatan adalah ukuran derajat deformasi plastis yang telah dialami saat patah. Material yang mengalami deformasi plastis yang tinggi disebut material yang liat (*ductile*).

I. Material Pelat dan Profil

Semua material (bahan) yang digunakan untuk bagian-bagian struktur yang sesuai dengan peraturan konstruksi dapat mengacu pada peraturan untuk material BKI volume V. Baja struktur lambung adalah baja yang mempunyai nilai yield minimal REH 235 N/mm² dan kekuatan putus (tensile) 400-490 N/mm².

J. Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga adalah metode numerik untuk penyelesaian masalah teknik dan fisika matematis. Penyelesaian Metode Elemen Hingga menghasilkan persamaan dari masalah yang dianalisa dalam sistem persamaan serentak yang harus diselesaikan, penyelesaian ini memberikan hasil atau penyelesaian pendekatan dari nilai yang tidak diketahui pada titik tertentu dalam sistem yang kontinyu. Sistem yang kontinyu adalah istilah dari kondisi struktur atau objek yang sebenarnya.

Dikritisasi adalah proses pemodelan dari struktur atau objek dengan membaginya dalam elemen-elemen kecil (elemen hingga) yang terhubung oleh titik-titik (*nodes*) yang digunakan oleh elemen-elemen tersebut dan sebagai batas dari struktur atau objek. Dalam metode elemen hingga persamaan dari seluruh sistem dibentuk dari penggabungan persamaan elemen-elemennya. Untuk masalah struktur, penyelesaian yang didapat adalah deformasi pada setiap titik (*nodes*) yang selanjutnya digunakan untuk mendapatkan besaran-besaran regangan (*strain*) dan tegangan (*stress*). Penyelesaian dari metode elemen hingga umumnya menggunakan metode matriks serta memerlukan perhitungan yang sangat banyak dan berulang-ulang dari persamaan yang sama, sehingga diperlukan sarana komputer dan bahasa pemrogramannya. Penyelesaian dari seluruh sistem umumnya merupakan penyelesaian persamaan serentak yang dinyatakan dalam bentuk matriks dan diselesaikan menggunakan persamaan serentak.

METODOLOGI

Untuk proses penyusunan Tugas Akhir ini dibutuhkan data – data dari objek yang dianalisa. Adapun proses pengambilan data terbagi menjadi beberapa tahap antara lain :

A. Studi Lapangan

Dalam penelitian Tugas Akhir “ANALISA KEKUATAN VARIASI SISTEM KONSTRUKSI *TRANSVERSE WATERTIGHT BULKHEAD* PADA *MULTI-PURPOSE CARGO/CONTAINER VESSEL 12000 DWT MARINA STAR 2* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA” perlu dilakukan studi lapangan yang bertujuan untuk melengkapi kebutuhan data untuk pengerjaan Tugas Akhir ini, adapun studi lapangan tersebut antara lain:

1. Pengambilan data dan penelitian studilapangan yang dilakukan secara langsung.
2. Metode yang dilaksanakan adalah wawancara dan observasi lapangan.
3. Waktu dan tempat penelitian di PT. MERATUS LINE, Surabaya.

B. Studi Literatur

- a. Mempelajari *Finite Element Method* dengan menggunakan *software* untuk menganalisa kekuatan variasi sistem konstruksi *transverse watertight bulkhead*.
- b. Metode pengumpulan data yang diperoleh dari buku-buku, majalah, artikel, jurnal dan melalui internet.
- c. Dosen yang menguasai permasalahan yang ada di dalam pembuatan tugas akhir.

C. Pengolahan Data

Setelah semua data yang di butuhkan diperoleh, kemudian data tersebut dikumpulkan dan diolah agar dapat mempermudah dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

D. Pembuatan desain Model

Pembuatan model dilakukan dengan prosedur pemodelan komputasi *FEM Software*.

Kriteria pembuatan model dilakukan dengan prosedur antara lain :

- a) Membuat geometri dari objek yang akan dianalisa. Proses ini biasa dilakukan dengan program komputasi *FEM Software*.
- b) Membuat model elemen hingga. Pembuatan model elemen hingga adalah pembuatan jaring-jaring elemen yang saling terhubung oleh nodal.
- c) Pengecekan model dengan *check* model dimaksudkan untuk menjamin bahwa elemen sudah terkoneksi secara benar, yakni :
 1. Pendefinisian material.
 2. Pendefinisian jenis elemen.

3. Pemberian tumpuan atau beban

E. Analisa Model

Model sebelumnya sudah dibuat dengan menggunakan program komputasi *FEM Software*. Dari output *pre analysis FEM Software*, dengan menggunakan *FEM Software* dijalankan proses *analysis* melalui input file model yang dianalisis (*.bdf*) dimana file yang nanti akan dibaca pada *post processing* adalah file *.op2*.

Dari hasil pembuatan desain model yang kemudian dilakukan analisa terhadap model tersebut akan menghasilkan sebuah output data hasil perhitungan yang berupa gambar model, hasil analisis, parameter-parameter data yang diperlukan antara lain : besarnya tegangan stress yang terjadi, letak titik kritis akibat pembebanan, serta tingkat keamanan dari variasi sistem konstruksi *transverse watertight bulkhead* tersebut. Dari hasil keseluruhan analisa permodelan tersebut nantinya akan disusun dalam sebuah Laporan hasil (*reporting result*) untuk mempermudah dalam pembacaan hasil dan terstruktur

F. Penyajian Data Hasil Perhitungan

Semua hasil pengolahan data berupa gambar model, *display* hasil analisis, serta parameter-parameter yang diperlukan seperti tegangan maksimum, regangan, dapat diperoleh hasil dari proses tersebut, kemudian dilakukan pengelompokkan agar mudah dalam penyusunan laporan.

G. 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,

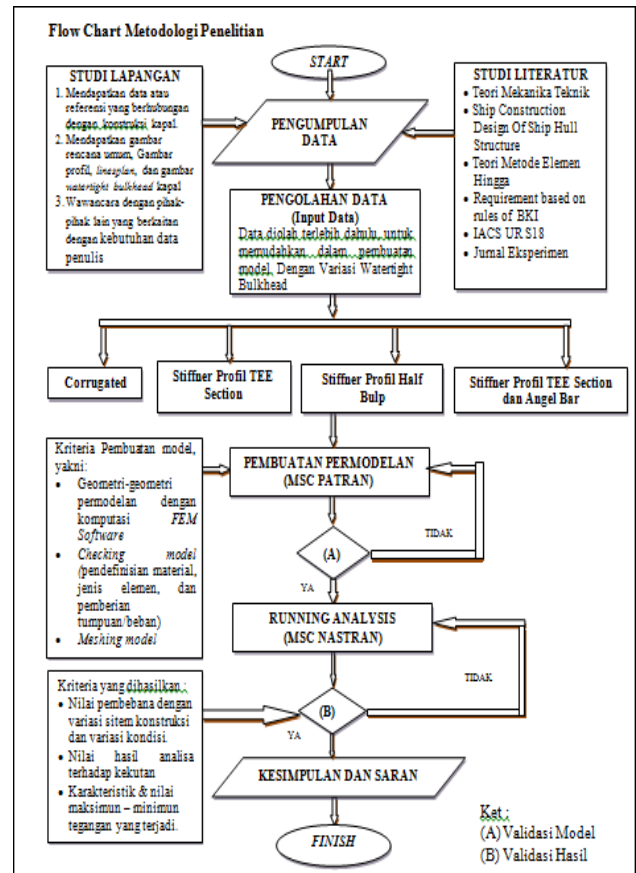
validasi bisa dengan menggunakan komputasi *FEM Software* itu sendiri.

H. Kesimpulan

Dalam tahap akhir penelitian ini nantinya akan diambil sebuah kesimpulan dari hasil data yang telah diolah sesuai dengan tujuan awal yang telah ditetapkan pada penelitian ini.

I. Diagram Alir 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. 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.

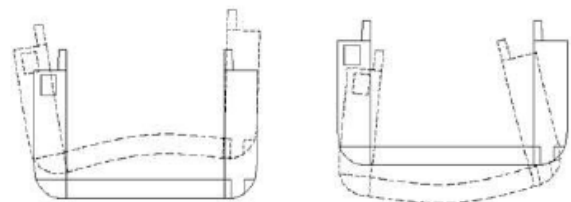


Gambar.7 Diagram alir metodologi penelitian

ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan Struktur

Dalam perencanaan struktur, semua elemen harus diberikan ukuran tertentu. Ukuran harus diproporsikan cukup kuat untuk memikul gaya yang mungkin terjadi. Setiap elemen struktur juga harus cukup kaku sehingga tidak melengkung atau berubah bentuk (berdeformasi) berlebihan pada saat struktur.

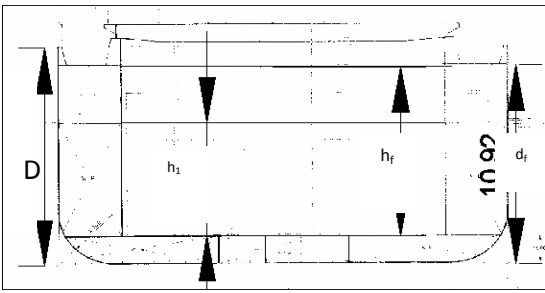


Gambar.8 Deformasi Pada Struktur

B. Perhitungan Beban

a) Beban Mutan Dalam Kondisi Flooding

Flooding Load Conditions dalam melakukan analisa kekuatan dengan perhitungan metode elemen hingga dilakukan dengan kondisi yang diambil sesuai dengan pendekatan regulasi IACS UR S17-23. Pada gambar.8 menunjukkan variasi pembebanan tersebut dibedakan berdasarkan muatan dan kondisi air masuk pada saat *flooding* kapal, serta variasi sistem konstruksi *transverse watertight bulkhead* pada *multi-purpose cargo/container vessel*. Beban didefinisikan sebagai *pressure/ tekanan* terhadap *plate element* dan *beam element* dan muatan diasumsikan adalah *ore iron* dan air laut.



Gambar.9 Konsep pembebanan pada saat keadaan *flooding* ruang muat.

Perhitungan tekanan muatan tersebut menggunakan pendekatan rumus sesuai prosedur IACS UR S17-23 sebagai berikut :

$$P_{cf} = \rho g h_f + [pc \times p(1 - perm)] g h_1 \tan^2 \gamma$$

$pc = \text{ore cargo density} = 3,55 \text{ (t/m}^3\text{)}$
 $p = \text{water density} = 1,025 \text{ (t/m}^3\text{)}$
 $pc = 9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$

$$perm = \text{permeability ore} = 0,355$$

$$\gamma = 45^\circ - (\phi / 2)$$

$$\phi = \text{angel of repose of a cargo} = 35^\circ$$

$$perm = \text{permeability ore} = 0,355$$

$$h_f = \text{distance of Flooding head (m)} = 10 \text{ m}$$

$$h_1 = \text{vertical distance of the level height of the cargo from inner bottom (m)} = 9,4 \text{ m}$$

$$P_{cf} = \rho g h_f + [pc \times p(1 - perm)] g h_1 \tan^2 \gamma \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$= 1,025 \times 9,8 \times 10 + [3,55 - 1,025(1 - 0,355)] \times 9,81 \times 9,4 \times 0,1716 = 146,2658 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

b) Beban Ballast Water Tank

Beban air balas merupakan beban internal yang diterima model akibat adanya tekanan dari air balas yang diisi pada tangki-tangki balas.

$$Ph = \rho \times g \times h$$

$$Ph = \text{Tekanan Hidrostatik (kN/m}^2\text{)}$$

$$g = \text{Percepatan Gravitasi (9,8 m/s}^2\text{)}$$

$$h = \text{Kedalaman Permukaan (m)}$$

$$\rho \text{ Sea water} = 1,025 \text{ t/m}^3$$

$$Ph = 1,025 \times 9,8 \times 0,75$$

$$Ph = 7,53375 \text{ kN/m}^2$$

c) Beban Wing Water Tank

Beban air wing tang merupakan beban internal yang diterima model akibat adanya tekanan dari air yang diisi pada wing tank.

$$Ph = \rho \times g \times h$$

$$Ph = \text{Tekanan Hidrostatik (kN/m}^2\text{)}$$

$$g = \text{Percepatan Gravitasi (9,8 m/s}^2\text{)}$$

$$h = \text{Kedalaman Permukaan (m)}$$

$$\rho \text{ Sea water} = 1,025 \text{ t/m}^3$$

$$Ph = 1,025 \times 9,8 \times 4,04$$

$$Ph = 40,62321 \text{ kN/m}^2$$

d) Beban Air Laut

Merupakan beban eksternal yang diterima model akibat adanya tekanan dari air laut.

$$Ph = \rho \times g \times h$$

Ph = Tekanan Hidrostatik (kN/m²)

g = Percepatan Gravitasi (9,8 m/s²)

h = Kedalaman Permukaan (m)

$$\rho \text{ Sea water} = 1,025 \text{ t/m}^3$$

$$Ph = 1,025 \times 9,8 \times 7,9$$

$$Ph = 79,3555 \text{ kN/m}^2$$

C. Variasi Sistem Konstruksi Transverse Watertight Bulkhead

a) Corrugated Transverse Watertight Bulkhead

Corrugated Transverse Watertight Bulkhead yang dimana kapal ini telah didesain menggunakan konstruksi ini. Berdasarkan rules BKI tahun 2013, modulus penampang elemen sekat bergelombang dihitung sesuai dengan :

$$W = t \times d (b + s/3) \text{ (cm}^3\text{)}$$

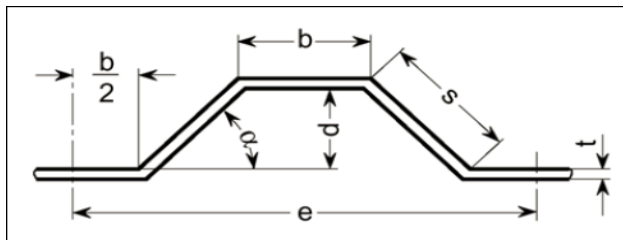
e = lebar elemen (cm)

b = lebar pelat hadap (cm)

s = lebar pelat bilah (cm)

d = jarak antara pelat hadap (cm)

t = lebar pelat (cm)



Gambar.10 Element of Corrugated Bulkhead

b) Stiffener profil "Tee Section" Transverse Watertight Bulkhead

Stiffener Profil "Tee section" Transverse Watertight Bulkhead

sistem ini direncanakan dan di desain sesuai dengan rules BKI tahun 2013. Berdasarkan rules BKI tahun 2013, Dengan mencari modulus bulkhead dengan rumus :

$$W = Cs \cdot a \cdot l^2 \cdot p \text{ (cm}^3\text{)}$$

Dimana :

a = lebar pembebanan = 0,79 m

l = panjang tak ditumpu = 10,94 m

$$P = pc \times g \times h \times \tan^2 \gamma = 3,55 \times 9,81 \times 9,4 \times 0,1716 = 56,1749$$

k = 1,0

jadi;

$$W_{perhitungan} = 0,24 \cdot 3,27 \cdot$$

$$(10,94)^2 \cdot 56,1749 \cdot 1 = 941,1012 \text{ cm}^3$$

Jadi profil yang digunakan T 340 x 25 (dari tabel anex)

Koreksi modulus :

$$Lb = (40-50) t = (50 \times 25) = 1250 \text{ mm}$$

$$F = Lb \times t \text{ (cm)} = 125 \times 2,5 = 312,5$$

$$Fs = \text{panjang profil} \times \text{tebal profil (cm)} = 434 \times 2,5 = 85 ; fs / F = 0,27$$

$$W = 10\% W + W = 1035,2113$$

$$w = W / F.h = 1035,2113 / (312,5 \times 34) = 0,1$$

$$f / F = 0,04 \text{ (dari grafik anex)}$$

$$f = (f/F) \times F = 0,04 \times 312,5 = 12,5$$

$$F = f / \text{tebal profil (cm)} = 12,5 / 2,5 = 5 \text{ cm} = 50 \text{ mm}$$

Jadi : W (perencanaan) > W (perhitungan)

$$F_{perencanaan} = F_{perhitungan} \times t \text{ profil}$$

$$= 5 \times 2,5 = 12,5 \text{ cm}^2$$

$$F_{perencanaan} = f_{perencanaan} / (f/F)$$

$= 12,5 / 0,04$
 $= 312,5 \text{ cm}^2$
 $W_{\text{perencanaan}} = w \cdot F \cdot h$
 $= 0,1 \cdot 312,5 \cdot$
 34
 $= 1035,21 \text{ cm}^3$
 Karena, $1035,21 \text{ cm}^3$ lebih besar dari $941,1012 \text{ cm}^3$ (memenuhi).
 Dan $W_{\text{perencanaan}} \leq 110\%$
 $W_{\text{perhitungan}}$
 Profil yang direncanakan T 340 x 25
 FP 50 x 25

c) Stiffener profil “Half Bulp” Transverse Watertight Bulkhead

Stiffener Profil “I” Transverse Watertight Bulkhead sistem ini direncanakan dan di desain sesuai dengan rules BKI tahun 2013. Berdasarkan rules BKI tahun 2013, Dengan mencari modulus bulkhead dengan rumus :

$$W = C_s \cdot a \cdot l^2 \cdot p \quad (\text{cm}^3)$$

Dimana :

a = lebar pembebanan = 0,79 m

l = panjang tak ditumpu = 10,94 m

$$\begin{aligned}
 P &= p_c \times g \times h \times \tan^2 \gamma \\
 &= 3,55 \times 9,81 \times 9,4 \times 0,1716 \\
 &= 56,1749
 \end{aligned}$$

$k = 1,0$ jadi;

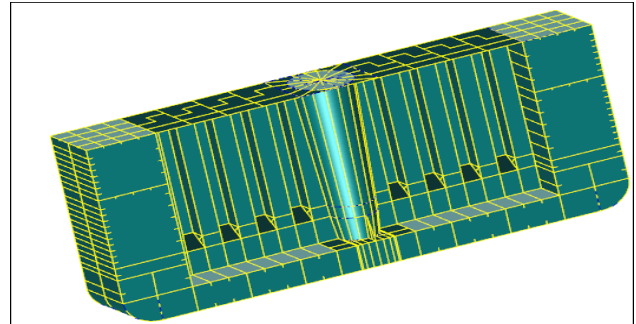
$$W_{\text{perhitungan}} = 0,24 \times 3,27 \times (10,94)^2$$

$$\begin{aligned}
 &\times 56,1749 \cdot 1 \\
 &= 941,1012 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

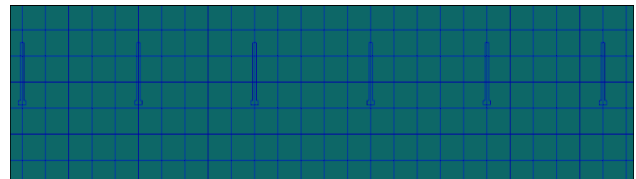
Jadi profil yang digunakan T 340 x 13 (dari tabel anex).

D. Pemodelan Software

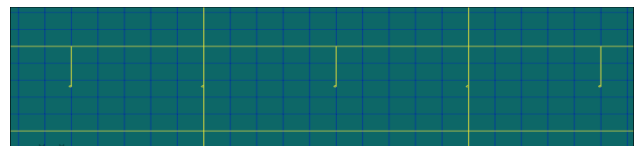
Pemodelan dalam software MSC. PATRAN akan mendapatkan model seperti berikut :



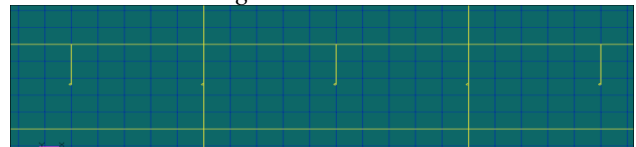
Gambar.11 Model Corrugated Transverse Watertight Bulkhead.



Gambar.12 Model Stiffener Profil “Tee Section” Transverse Watertight Bulkhead.



Gambar.13 Model Stiffener Profil “Half Bulp” Transverse Watertight Bulkhead.

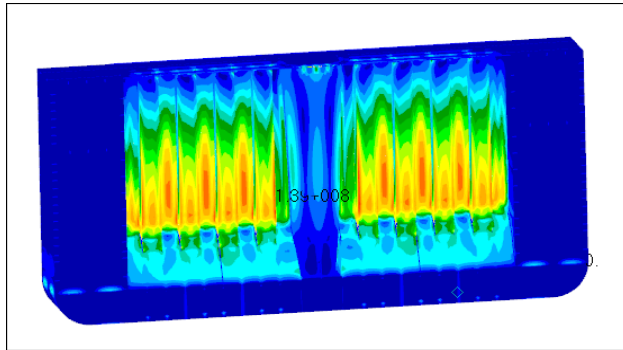


Gambar.14 Gambar pemodelan stiffener profil “tee section dan angel bar” transverse watertight bulkhead.

E. General Postprocessing,

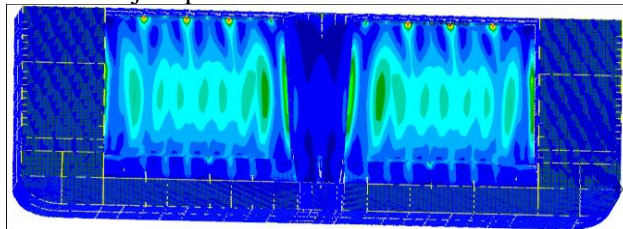
Dari model pre processor program MSC.PATRAN akan mendapatkan hasil analisa postprocessor dari MSC.Nastran dan didapatkan data tegangan maksimum pada setiap pemodelan, sehingga letak titik kritis pada model akan diketahui apakah masih dalam batas aman untuk sebuah desain suatu system. General Postprocessing, dari software MSC.NASTRAN adalah tegangan maksimum von mises yang

digunakan untuk menghitung kriteria kekuatan material pada suatu sistem struktur. Nilai tegangan maksimum *von mises* didapatkan dari nilai perhitungan *stress tensor* dalam hal ini ditunjukkan pada nilai perhitungan komputasi program MSC.NASTRAN.



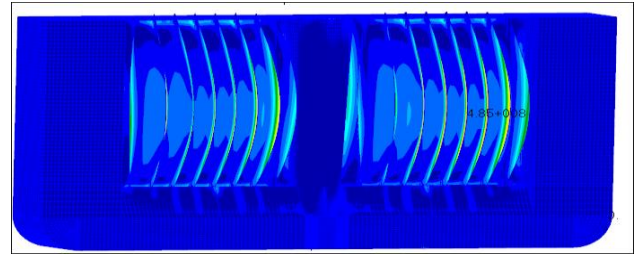
Gambar.15 *General Postprocessing Corrugated Transverse Watertight Bulkhead*

Gambar.15 menunjukkan bahwa *Corrugated Transverse Watertight Bulkhead* kondisi kebocoran pada ruang muat no.2 *maximum stresses (von mises)* yang terjadi pada model adalah sebesar 139 N/mm² pada *node 64928* dan nilai *deformation* sebesar 0,011m terjadi pada *node 30133*



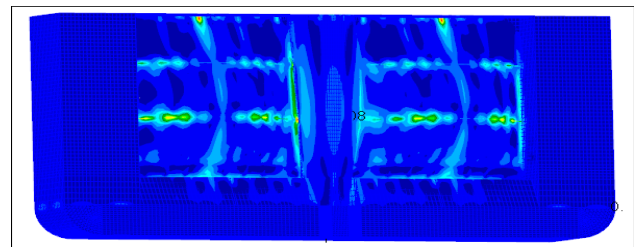
Gambar.16 *General Postprocessing Stiffener Profil "Tee Section" Transverse Watertight Bulkhead*

Gambar.16 menunjukkan bahwa *Stiffener Profil "Tee Section" Transverse Watertight Bulkhead* kondisi kebocoran pada ruang muat no.2 *maximum stresses (von mises)* yang terjadi pada model adalah sebesar 165 N/mm² pada *node 74297* dan nilai *deformation* sebesar 0,0176 m terjadi pada *node 37400*.



Gambar.17 *General Postprocessing Stiffener Profil "Half Bulb" Transverse Watertight Bulkhead*

Gambar.17 menunjukkan bahwa *Stiffener Profil "Half Bulb" Transverse Watertight Bulkhead* kondisi kebocoran pada ruang muat no.2 *maximum stresses (von mises)* yang terjadi pada model adalah sebesar 280 N/mm² pada *node 79200* dan nilai *deformation* sebesar 0,0273 m terjadi pada *node 37400*.



Gambar.18 *General Postprocessing Stiffener Profil "TEE Section dan Angel Bar" Transverse Watertight Bulkhead*

Gambar.18 menunjukkan bahwa *Stiffener Profil "TEE Section dan Angel Bar" Transverse Watertight Bulkhead* kondisi kebocoran pada ruang muat no.2 *maximum stresses (von mises)* yang terjadi pada model adalah sebesar 236 N/mm² pada *node 74297* dan nilai *deformation* sebesar 0,0306 m terjadi pada *node 37695*.

F. Validasi Hasil Perhitungan

Dari hasil analisa kekuatan menggunakan metode elemen hingga dilakukan pengecekan dengan membandingkan hasil *maximum stresses (von mises)* FEM dengan *strength criteria* BKI 2013. Berikut ini adalah validasi hasil perhitungan analisa

kekuatan yang ditunjukkan pada tabel.1 dan tabel.2 sebagai berikut :

Variasi Sistem Konstruksi Transverse Watertight Bulkhead	Design Stress [MPa]	Ultimate Stress [MPa]	Status	Safety Factor
Corrugated	139	400	memenuhi	2,88
Stiffener Profil "TEE Section"	165	400	memenuhi	2,42
Stiffener Profil "Half Bulp"	250	400	memenuhi	1,6
Stiffener Profil "TEE Section dan Angel Bar"	236	400	memenuhi	1,7

Tabel.1 Perbandingan hasil analisa kekuatan FE dengan faktor keamanan menurut kriteria bahan

$$\text{Safety Factor : FS} = \frac{\sigma_{\text{bahan}}}{\sigma_{\text{max}}} \geq 1$$

Dari hasil pengujian yang dilakukan didapat bahwa semua tegangan maksimum yang terjadi pada masing-masing variasi konstruksi transverse watertight bulkhead memenuhi faktor keamanan menurut kriteria Bahan.

Variasi Sistem Konstruksi Transverse Watertight Bulkhead	Design Stress [MPa]	Ultimate Stress [MPa]	Status
Corrugated	139	180	memenuhi
Stiffener Profil "TEE Section"	165	180	memenuhi
Stiffener Profil "Half Bulp"	250	180	Tidak memenuhi
Stiffener Profil "TEE Section dan Angel Bar"	236	180	Tidak memenuhi

Tabel.2 Perbandingan hasil analisa kekuatan FE dengan tegangan ijin menurut strength criteria BKI 2013

Dari hasil pengujian yang dilakukan didapat bahwa semua tegangan maksimum yang terjadi pada masing-masing variasi konstruksi transverse watertight bulkhead adalah corrugated transverse watertight bulkhead dan stiffener profil "tee section" transverse watertight bulkhead memenuhi tegangan ijin menurut strength criteria BKI 2013, sedangkan stiffener profil "half bulp" transverse watertight bulkhead dan

stiffener profil "tee section dan angel bar" transverse watertight bulkhead tidak memenuhi tegangan ijin menurut strength criteria BKI 2013.

$$\text{Tegangan Ijin : } \sigma_v \leq 180 \text{ N/mm}^2$$

Penutup

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisa kekuatan (strength analysis) variasi sistem konstruksi transverse watertight bulkhead pada multi-purpose cargo / container vessel 12000 DWT akibat kondisi kebocoran diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan maksimum variasi sistem konstruksi transverse watertight bulkhead yang terjadi pada corrugated transverse watertight bulkhead yaitu sebesar 139 MPa pada node 64928, stiffener profil "tee section" transverse watertight bulkhead yaitu sebesar 165 Mpa pada node 74297 stiffener profil "half bulp" transverse watertight bulkhead yaitu sebesar 250 Mpa pada node 79200 dan stiffener profil "tee section dan angel bar" transverse watertight bulkhead yaitu sebesar 236 Mpa pada node 74297.
2. Dari semua hasil variasi pembebanan yang dimasukkan pada perhitungan strength criteria standar regulasi klas BKI "rules for hull dan safety factor, maka dapat disimpulkan bahwa konstruksi corrugated transverse watertight bulkhead dan stiffener profil "tee section" transverse watertight bulkhead masih di kategorikan aman. sedangkan stiffener profil "half bulp" transverse watertight bulkhead dan stiffener profil "tee section dan angel bar" transverse

- watertight bulkhead* di kategorikan tidak aman.
3. *Max.displacement* terjadi pada konstruksi *corrugated transverse watertight bulkhead* sebesar 0,011 m pada *node* 30133, *stiffener* profil “*tee section*” *transverse watertight bulkhead* sebesar 0,0176 m pada *node* 37400, *stiffener* profil “*half bulb*” *transverse watertight bulkhead* sebesar 0,0273 m pada *node* 37400 dan *stiffener* profil “*tee section dan angel bar*” *transverse watertight bulkhead* sebesar 0,0306 m pada *node* 37695 .
 4. Letak yang paling kritis pada variasi sistem konstruksi *transverse watertight bulkhead* pada kondisi kebocoran yaitu pada sambungan *stiffener* profil, dan sambungan pelat parallel bergelombang pada *corrugated bulkhead* namun masih dalam kategori aman kecuali *stiffener* profil “*half bulb*” *transverse watertight bulkhead* dan *stiffener* profil “*tee section dan angel bar*” *transverse watertight bulkhead* di kategorikan tidak aman.

- Logan. L. Daryl, “*A first Course in the Fenite Element Method*”, Platteville : University of Wisconsin.
- UR S17-23, IACS Requirements 1997, Rev.3,1998.
- D. Servis et al, 2005, “*Marine Structures: Finite Element Modelling and Strength Analysis of Hold No. 1 of Bulk Carriers*”, Athens, Greece: Department of Naval Architecture and Marine Engineering, National Technical University of Athens.
- International Group of Authorities Thomas Lamb, Editor 2003, “*Ship Design and Construction*”.
- Iqbal Amanda. Imam Pujo Mulyatno, 2011, “*Analisa Kekuatan Konstruksi Transverse Bulkhead Ruang Muat No.1 Pada 18500 DWT Dry Cargo Vessel Berbasis Metode Elemen Hingga*”, Semarang : Universitas Diponegoro

DAFTAR PUSTAKA

- Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero.2013. “*Rules for The Classification and Contruction of Sea Going Stell Ship Volume II: Rules for Hull edition 2013*”. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Robert Taggart, 1980, “*Ship Design and Construction*”.
- D.J Eyres. 2001. “*Ship Construction 6th Edition*”.
- Popov, E. P., 1978, *Mechanics of Material*, 2nd edition, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.