

ANALISA *SHEAR STRESS* PADA STRUKTUR CINCIN KAPAL *CRUDE OIL TANKER 6500 DWT* BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA

Andreas Ricardo Hasian Siagian¹, Imam Pujo Mulyatno¹, Berlian A. A¹

¹S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : andreasricardohasiansiagian@yahoo.com

Abstrak

Distribusi beban yang tidak merata dan adanya tekanan muatan serta tekanan air laut pada kapal menyebabkan terjadinya tegangan dan regangan pada struktur kapal. Salah satu tegangan yang bekerja pada struktur *midship* kapal tersebut adalah tegangan geser. Analisa tegangan geser sangat penting dalam menentukan kuat tidaknya struktur konstruksi kapal. Analisa tegangan geser dilakukan dengan pemeriksaan pada konstruksi *midship* kapal karena pada bagian tersebut terdapat beban yang paling besar. Jika konstruksi *midship* kapal telah memenuhi persyaratan tegangan geser dalam klasifikasi, maka bagian konstruksi yang lain dapat dianggap juga telah memenuhi persyaratan tersebut. Hal ini pula yang mendasari penulis melakukan analisa tegangan geser pada kapal *Crude Oil Tanker 6500 DWT*. Untuk membantu penulis dalam menganalisa tegangan geser, penulis menggunakan alat bantu *software* berbasis metode elemen hingga dengan melakukan pemodelan 1 ruang muat dengan 4 kondisi pembebanan pada program MSC Patran dengan input pembebanan berdasarkan regulasi Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) 2013. Hasil Analisa tegangan geser dari MSC Nastran selanjutnya dibandingkan dengan batas ijin tegangan geser yang diberikan oleh regulasi BKI 2013. Dari Hasil *running* MSC Nastran 2012 didapatkan tegangan geser maksimum pada *loading condition* IV yang terdapat pada *center girder* dengan nilai sebesar 91,90 N/mm² pada node @29498 dan *allowable shear stress* BKI 2013 adalah 100 N/mm². Dari hasil analisa tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa tegangan geser pada konstruksi *midship* kapal *Crude Oil Tanker 6500 DWT* masih memenuhi persyaratan klasifikasi BKI 2013.

Kata Kunci : Konstruksi, *midship*, tegangan geser, analisa.

Abstract

The load that unevenly distributed on the ship and load pressure and pressure of sea water will cause a stress and strain for the structure of the ship. One of this working stresses is the shear stress. Analysis of shear stress is very important in determining the robustness of a ship construction structure. This analysis can be carried out by examining the shear stress at the midship construction because in there is the biggest loads. If the midship construction is comply with the regulation of the shear stress in the classification, then the other parts of construction can be considered to have fulfilled the requirements also. This is what the underlying writer do the analysis of shear stress on Crude Oil Tanker Ship 6500 DWT. To help an author in analyzing the the shear stress, using the tools software writer based until a method elements with 1 modeling space with 4 load conditions on MSC Patran program with the input loading based regulation Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), 2013. From the results of Nastran program simulation (finite element method) obtained the maximum shear stress at the LC I is in the center girder 91,90 N/mm² in node @29498 and allowable shear stress BKI 2013 is 100 N/mm². From this analysis result, can be concluded that the shear stress on the Crude Oil Tanker 6500 DWT midship construction is comply with BKI 2013 classification requirements.

Keywords : Construction, midship, shear stress, analysis.

1. PENDAHULUAN

Dalam tiga dekade terakhir kemajuan transportasi laut meningkat pesat. Hal ini ditandakan dengan banyaknya kapal-kapal berukuran besar yang dibangun. Gelombang induksi kapal-kapal besar inilah menjadi isu penting terutama untuk meningkatkan aturan klasifikasi dan memastikan keselamatan kapal guna untuk menjaga keselamatan kapal perlunya dilakukan perhitungan-perhitungan yang sesuai dengan regulasi/klasifikasi yang terbaru dan perhitungan kekuatan kapal. Kapal *Crude Oil Tanker* merupakan kapal *full displacement* dengan muatan cair sehingga perlu adanya perhatian khusus dalam analisa tegangan geser sebab desain konstruksi yang telah ada belum tentu memenuhi sebelum dilakukan pemeriksaan tegangan geser ijin dengan berdasarkan BKI. Setiap regulasi atau *class* memiliki standart tegangan ijin maksimum yang tidak boleh dilampaui, karena kapal *Crude Oil Tanker* 6500 DWT ini adalah *class* BKI maka batasan ijin tegangan geser maksimum yang digunakan adalah batasan tegangan ijin maksimum berdasarkan klasifikasi BKI (Biro Klasifikasi Indonesia). Pemodelan *FE analysis software* yang dipakai adalah MSC PATRAN sebagai *Pre Processor* dan MSC NASTRAN sebagai *Processor*. Dalam input pembebanan pada model yang digunakan adalah beban statis berupa beban air laut, beban *ballast water tank*, beban muatan kapal, serta beban pada geladak cuaca. Setelah didapatkan hasil perhitungan tegangan geser maka akan dilakukan pengecekan kekuatan struktur.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal *Crude Oil Tanker*

Kapal Tanker merupakan kapal yang dibuat untuk mengangkut minyak mentah melalui laut atau perairan dari pelabuhan muat atau pelabuhan produksi ke pelabuhan bongkar / pengolahan dan minyak produk dari pelabuhan pengolahan menuju pelabuhan bongkar/distribusi. Jenis utama kapal tanker termasuk tanker minyak, tanker kimia, dan pengangkut LNG. Ukuran kapal pengangkut minyak mentah biasanya lebih besar dari pengangkut minyak produk. Di Indonesia kapal jenis tanker selain untuk mengangkut minyak, ada juga yg dimanfaatkan untuk mengangkut elpiji untuk didistribusikan kewilayah Indonesia timur. *Crude Oil Tanker* merupakan kapal *full*

displacement dengan muatan cair sehingga bisa mengakibatkan terjadinya tegangan geser yang cukup besar pada struktur konstruksi kapal, pada saat kondisi muatan tertentu, dimana tegangan geser yang cukup besar tersebut terdapat pada bagian konstruksi yang mengalami superposisi yang cukup besar antara tekanan akibat muatan dan air laut sehingga perlu adanya perhatian khusus dalam analisa tegangan geser. Data utama *Crude Oil tanker* MT. Kuang [3]

Main Dimensions

Name of Ship : MT. Kuang

Typical : *Crude Oil Tanker*

Length (OA) : 104,70 M

Length (P.P) : 99,00 M

Breadth : 18,80 M

Depth : 9,50 M

CB : 0,798

Speed : 12 Knots

DWT : 6500 TON

Class : BKI

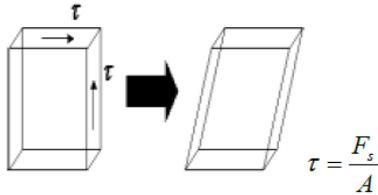


Gambar 1. Kapal Tanker MT. Kuang

2.2 Tegangan Geser

Tegangan geser merupakan perihail yang perlu dilakukan analisa pada suatu konstruksi. Tegangan geser adalah intensitas gaya yang bekerja sejajar dengan bidang dari luas permukaan. Intensitas gaya menentukan kemampuan suatu material terutama dalam memikul beban (kekuatan). 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. Perbedaan penerimaan beban yang dialami oleh suatu konstruksi dapat menimbulkan tegangan geser dan hal semacam ini bila secara kontinu dialami oleh suatu material akan menyebabkan *fatigue* dan ujungnya berakibat pada kerusakan dan kerugian

bagi semua orang tentunya. Oleh karena itu, terutama pada kapal juga perlu dilakukan analisa tegangan geser guna mengurangi kerugian yang dapat ditimbulkan secara jangka panjang



ataupun jangka pendek. seperti pada gambar 2 menunjukkan tegangan geser yang sejajar terhadap penampang bidang.

Gambar 2. Batang Mengalami Tegangan Geser [6]

Secara umum, *shear stress* dapat didefinisikan :

$$\tau_{xy} = Q \cdot \frac{Ms}{I_{NA} \cdot t}$$

Dimana :

T = Shear Stress (N/m²)

Q = Shear Force (N)

I = Momen Inersia Penampang(m⁴)

t = Tebal pelat (m)

Ms = Momen statis penampang (m³)

q = Shear flow (N/m)

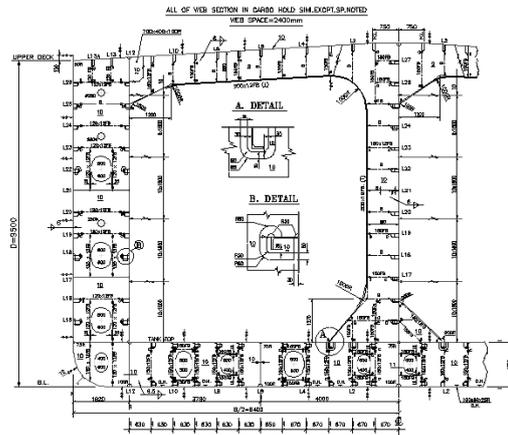
Jika tegangan geser dikalikan dengan tebal pelat, diperoleh gaya persatuan panjang penampang yang disebut shear flow atau kerapatan gaya lintang q. [6]

$$q = \tau_{xy} \cdot t = Q \cdot \frac{Ms}{I_{NA} \cdot t} \cdot t$$

$$q = \frac{Q \cdot Ms}{I_{NA}}$$

2.3 Struktur Midship

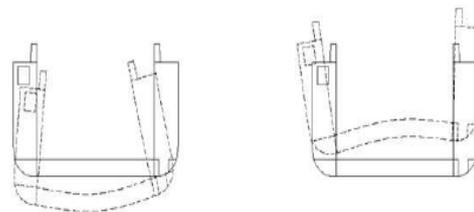
Konstruksi *midship* kapal adalah konstruksi penampang melintang bagian tengah kapal dimana didalamnya menunjukkan beberapa komponen konstruksi yang terpasang pada kapal. Struktur konstruksi kapal akan mengalami berbagai beban antara lain beban internal yang disebabkan oleh pembebanan yang ada di kapal dan beban external seperti tekanan air laut. Daerah yang paling rawan terjadi kerusakan karena pada daerah tersebut terdapat beban yang paling besar dialami oleh kapal. seperti pada gambar 3 menunjukkan gambar penampang *midship* kapal MT. Kuang COT 6500 DWT. [3]



Gambar 3. Midship Section Kapal MT. Kuang

2.4 Deformasi Struktur

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. Seperti pada gambar 4 menunjukkan deformasi pada *midship* kapal.



Gambar 4. Deformasi pada struktur *midship* kapal [4]

2.5 Sifat – Sifat Material

Suatu material yang kaku tentunya memiliki fleksibilitas meskipun material tersebut terbuat dari baja. Material baja meskipun dibebani dengan beban yang besar tentunya akan memiliki nilai elastisitas walaupun kecil sehingga dapat merubah bentuknya secara perlahan.[4]

Sifat dari suatu material dapat dilihat dari :

- Ketangguhan
- Pemanjangan
- Kepadatan
- Kelentingan
- Keliatan

2.6 Reaksi Struktur

Kekuatan komponen struktur dikatakan tidak memadai apabila material struktur telah kehilangan kemampuan menopang beban melalui kepecahan, luluh, tekuk (*buckling*) atau mekanisme kegagalan lainnya dalam menghadapi beban-beban eksternal. [4]

2.7 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 diidealisasikan dengan kualitas model desain. [9]

3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam proses penelitian ini dibutuhkan data-data dari objek yang dianalisa. Adapun proses pengambilan data terbagi menjadi beberapa tahap antara lain:

3.1 Studi Lapangan

Pengambilan data kapal dengan melakukan studi lapangan, untuk memenuhi kebutuhan data ukuran utama kapal, *general arrangement, profil construction, midship section*.

3.2 Studi Literatur

- Mempelajari *Finite Element Method* dengan menggunakan *software* untuk menganalisa tegangan geser *midship* kapal.
- Metode pengumpulan data yang diperoleh dari buku-buku, majalah, artikel, jurnal dan melalui internet.
- Dosen yang menguasai permasalahan yang ada di dalam pembuatan tugas akhir.

3.3 Pengolahan Data

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

3.4 Pembuatan Desain Model

Pembuatan model dilakukan dengan prosedur pemodelan komputasi *FEM Software*. Kriteria pembuatan model dilakukan dengan prosedur antara lain :

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

3.5 Analisa Model

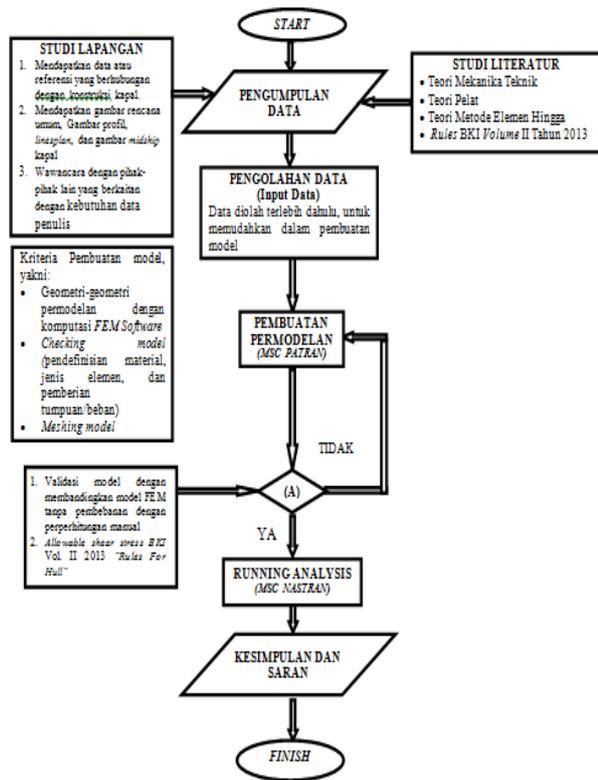
Model sebelumnya sudah dibuat dengan menggunakan program komputasi *FEM Software*. Dari output *pre analysis FEM Software*, dengan menggunakan *FEM Software* dijalankan proses analysis melalui input file model yang dianalisis (*.bdf*) dimana file yang nanti akan dibaca pada *post processing* adalah file *.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, Dari hasil keseluruhan analisa permodelan tersebut nantinya akan disusun dalam sebuah Laporan hasil (*reporting result*) untuk mempermudah dalam pembacaan hasil dan terstruktur.

3.9 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 5. Diagram alir metodologi penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendefinisian Tegangan

Dalam perencanaan struktur, semua elemen harus diberikan ukuran tertentu. Ukuran harus diproporsikan cukup kuat untuk menahan tekanan yang mungkin terjadi. Setiap elemen struktur juga harus cukup kaku, tegangan yang tidak boleh melebihi batas ijin sehingga tidak melengkung atau berubah bentuk (berdeformasi) berlebihan pada saat struktur dipakai. [4]

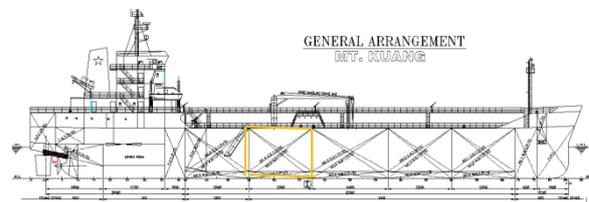
4.2 Regulasi dan software perhitungan.

Regulasi yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah BKI 2013. Sehingga aturan yang berkaitan dengan semua perhitungan yang ada pada penelitian ini mengacu pada regulasi tersebut, mulai dari pemodelan, properties material, kondisi pembebanan, kondisi batas dan perhitungan beban. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan software MSC Patran 2012 untuk

pre-processor sedangkan untuk Processor menggunakan software MSC Nastran 2012, langkahnya adalah sebagai berikut:

4.2.1. Lingkup ruang dan model

Lingkup dan ruang model yang dilakukan pemodelan mulai dari frame no. 48 sampai pada frame no.53 atau dengan arti lain pemodelan dilakukan pada crude oil tank no 4.



Gambar 6. Lingkup model ruang muat 4 tanda warna orange

4.2.2. Proses Pendefinisian Element Type

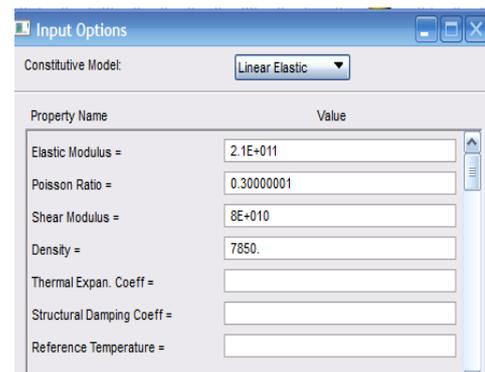
Element type pada model dapat didefinisikan sesuai yang diinginkan dengan menentukan jenis element yang akan dipakai dan sesuai dengan model yang sebenarnya.

4.2.3. Properties material

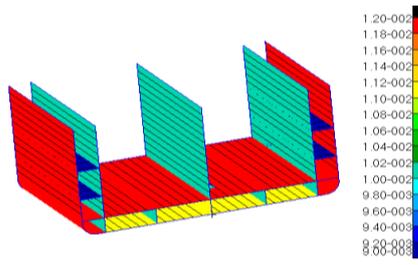
Properties Material model dan Material Properties dapat didefinisikan sesuai yang diinginkan dengan menentukan modulus elastisitas dan poisons ratio dari model yang diinginkan. Untuk jenis material yang digunakan dalam model Crude Oil Tank MT. Kuang ini adalah baja grade A. Dimana kriteria bahan baja tersebut adalah :

$$\begin{aligned} \text{Modulus Elastisity} &= 2.1 \text{ E}^{11} \text{ N/m}^2 \\ \text{Shear Modulus} &= 0.8 \text{ E}^{11} \text{ N/m}^2 \\ \text{Poisson's Ratio} &= 0.3 \\ \text{Density} &= 7.85\text{e}+03 \end{aligned}$$

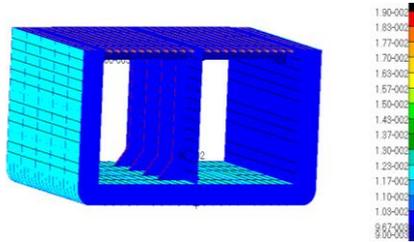
Diberikan input material properties sesuai dengan persyaratan regulasi BKI 2013 dan hasil inputnya seperti gambar berikut:



(a)



(b)

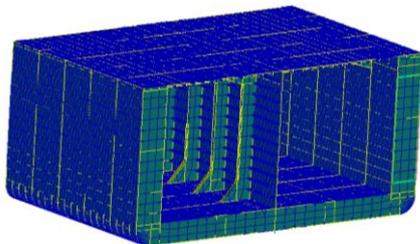


(c)

Gambar 7. (a), (b),(c) *Input properties* pada model

4.2.4. Proses *Meshing*

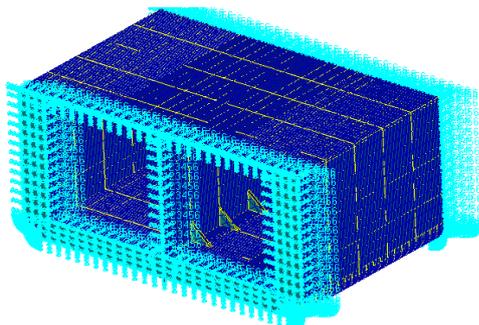
Proses *meshing* adalah proses dimana model dibuat menjadi kumpulan nodal elemen hingga dengan ukuran yang lebih kecil dan saling terhubung.



Gambar 8. Hasil *meshing* pada FEM software

4.2.5. Penentuan Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

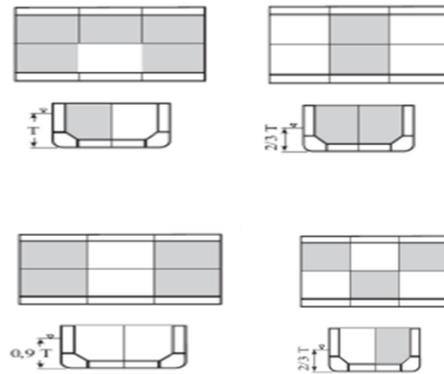
Kondisi batas digunakan untuk menentukan bentuk tumpuan dari objek yang dianalisa. Maka ditentukan kondisi batas jepit dengan menggunakan displacement.



Gambar 9. *Boundary condition* pada FEM software

4.2.6. Pembebanan

Kondisi pembebanan yang diambil sebagai input model sesuai dengan regulasi BKI 2013 ada 4 macam kondisi, seperti pada gambar



Gambar 10. *Loading conditions for tankers with one centerline longitudinal bulkhead*

4.2.7. Rumus Perhitungan Beban

a. Beban Muatan

$$P_1 = 9,81 \times h_1 \times \rho (1+a_v) + 100 \times p_v \quad (\text{kN/m}^2)$$

h = distance of load centre from tank top (m)

a_v = Acceleration factor
= $F \times m$

$$F = 0,11 \times v_o / \sqrt{L}$$

$$m = 1,0 \quad \text{for } 0,2 < \frac{x}{L} \leq 0,7$$

ρ = density of liquid (t/m^3)

ρ Diesel Oil = $0,85 \text{ t/m}^3$

ρ Sea water = $1,025 \text{ t/m}^3$

b. Beban air laut

Beban air laut merupakan beban eksternal yang diterima model akibat adanya tekanan dari air laut. Rumus yang digunakan menggunakan pendekatan rumus tekanan hidrostatik zat cair dalam ilmu fisika.

$$P_h = \rho \times g \times h$$

P_h = Tekanan Hidrostatik (KN/m^2)

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

h = Kedalaman Permukaan (m)

ρ Sea water = $1,025 \text{ t/m}^3$

c. Beban Ballast Water Tank

$$P_h = \rho \times g \times h$$

P_h = Tekanan Hidrostatik (KN/m^2)

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

h = Kedalaman Permukaan (m)

4.3. Rekap Hasil Perhitungan Beban

Untuk mempermudah proses penginputan pembebanan, seluruh beban yang telah dihitung direkap dalam tabel 1 dibawah ini :

Tabel 1. Rekapitulasi nilai pembebanan yang diinputkan pada model dengan menggunakan software MSC Patran 2012

Kondisi pembebanan	Sarat	Tekanan air laut	Beban Internal	Tangki	
				Starboard	Portside
LC I	6 m	60,27 KN/m ²	Beban muatan	154,4 KN/m ²	-
			Beban balas	13,05 KN/m ²	-
LC II	4 m	40,18 KN/m ²	Beban muatan	-	154,4 KN/m ²
			Beban balas	-	13,05 KN/m ²
LC III	5,4 m	54,24 KN/m ²	Beban muatan	-	-
			Beban balas	-	-
LC IV	4 m	40,18 KN/m ²	Beban muatan	154,4 KN/m ²	154,4 KN/m ²
			Beban balas	13,05 KN/m ²	13,05 KN/m ²

4.4 Tegangan Geser Ijin BKI

Setelah besar nilai tegangan dari model kapal telah didapatkan maka kemudian hasil tegangan geser tersebut dibandingkan dengan tegangan geser yang diijinkan oleh BKI dimana rumus nilai yang diijinkan tercantum pada BKI section 24 B 2.3.1 dimana untuk tegangan tegangan geser yang didapatkan tidak melebihi dari 100/k (N/mm²). Dimana untuk nilai k (factor material) sebagai berikut :

Tabel 2. Faktor material [8]

Minimum yield stress R_{eH} , in N/mm ²	k
235	1.0
315	0.78
355	0.72
390	0.68

Material yang digunakan pada kapal *Crude Oil Tanker* 6500 DWT baja Grade A yang mempunyai minimum yield (ReH) sebesar 235 N/mm². Sehingga tegangan ijin untuk konstruksi kapal COT 6500 DWT adalah :

$$\sigma_{ijin} = 100/1,0 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

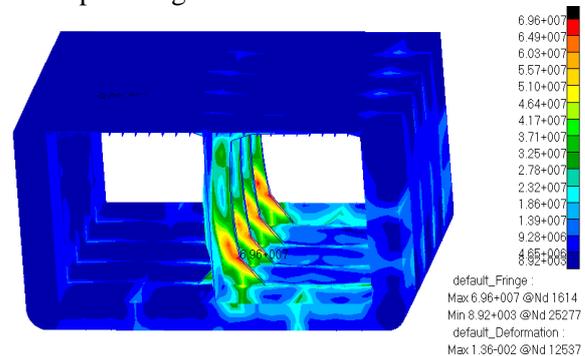
$$\sigma_{ijin} = 100 \text{ N/mm}^2$$

4.5 Analisa Model Elemen Hingga

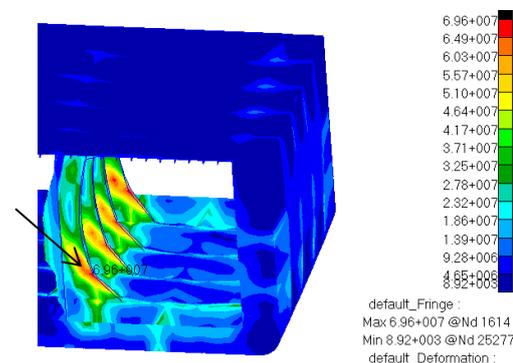
Setelah model elemen hingga diberikan pembebanan dan kondisi batas yang ditentukan oleh regulasi BKI 2013, maka kita dapat melakukan analisa dengan software Nastran 2012, yakni :

1. Loading Condition I

Pada kondisi pembebanan I terjadi saat sarat kapal penuh T dimana ketinggian sarat kapal ini akan berpengaruh terhadap perhitungan beban *pressure* air laut. Pada kondisi LC I tegangan geser maksimal yang terjadi adalah sebesar 69,60N/mm² pada *node* @1614. *Shear stress* maksimum terjadi pada *center bulkhead web frame*, hal ini dapat terjadi karena beban muatan dan beban air balas yang diisi setengah yaitu pada bagian *starboard tank* serta kapal mendapat *pressure* dari air laut. Hal ini mengakibatkan tidak adanya gaya balik dari ruang muat/ tangki balas yang kosong untuk mengatasi tekanan yang diberikan oleh ruang muat dan *ballast tank* yang bermuatan penuh. Sehingga *center bulkhead web frame* menekuk dan mengalami kritis pada bagian tersebut.



Gambar 11. Hasil running shear stress LC I

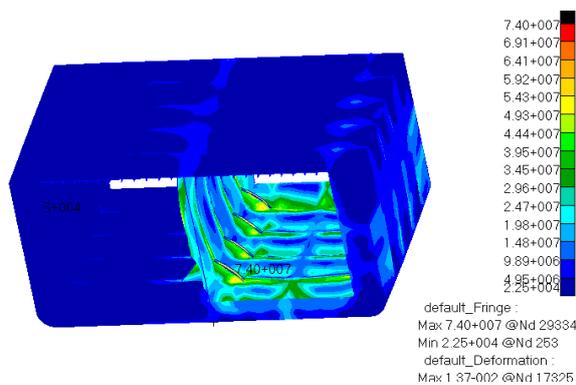


Gambar 12. Lokasi maximum shear stress LC I

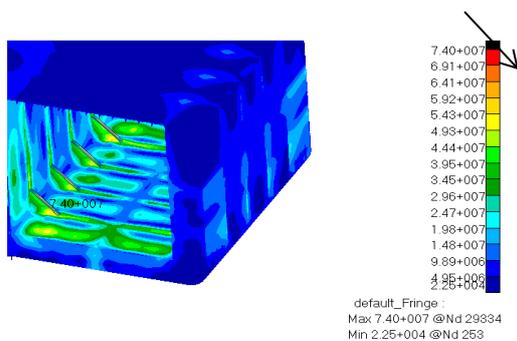
2. Loading Condition II

Pada kondisi pembebanan II mengasumsikan pada saat sarat kapal 2/3T. Pada kondisi pembebanan II tegangan geser maksimum yang terjadi pada model adalah sebesar 74,00 N/mm² pada *node* @29334. *Shear stress* maksimum terjadi pada *penegar center bulkhead* yang berada pada

bagian *portside*. Hal ini dapat terjadi karena beban muatan dan beban air balas yang diisi setengah yaitu pada bagian *portside tank* serta kapal mendapat *pressure* dari air laut. Sehingga mengakibatkan tidak adanya gaya balik dari ruang muat/ tangki balas yang kosong untuk mengatasi tekanan yang diberikan oleh ruang muat dan *ballast tank* yang bermuatan penuh. Sehingga *center bulkhead* menekuk dan penegar *center bulkhead* yang menahan tekukan mengalami *shear stress* maksimum.



Gambar 13. Hasil *running shear stress* LC II

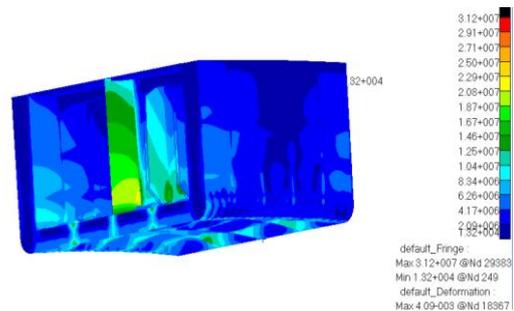


Gambar 14. Lokasi *maximum shear stress* LC II

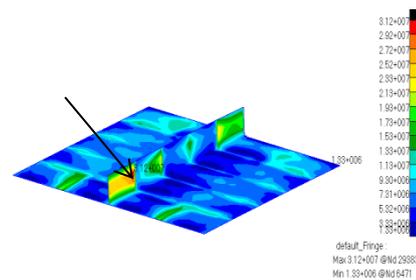
3. Loading Condition III

Pada kondisi pembebanan III mengasumsikan *crude oil tank* dan *sea water ballast tank* dikosongkan pada bagian *starboard* dan *portside*. *Pressure* yang diberikan hanya tekanan air laut pada sarat 0,9 T. Pada kondisi pembebanan III tegangan geser maksimum yang terjadi pada model adalah sebesar **31,20 N/mm²** pada *node @29383*. *Shear stress* maksimum terjadi pada *center girder* kapal dimana pada bagian inilah yang menumpu konstruksi dan beban pada kapal. Hal ini dapat terjadi karena tekanan hidrostatik dari air laut sehingga beban terpusat pada bagian *center girder* kapal dan memberi tegangan geser yang besar pada bagian tersebut. Seperti ditunjukkan pada gambar 4.32

hasil *running* model LC III pada MSC Nastran 2012 dan gambar 4.33 menunjukkan bagian kritis model yang mengalami *shear stress* maksimum.



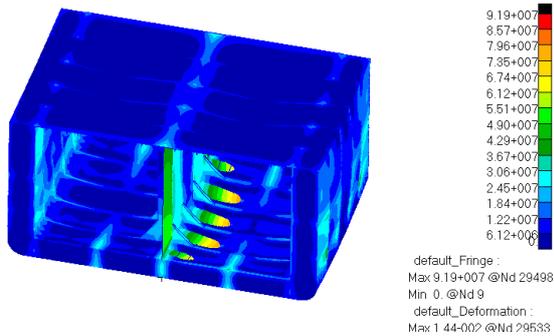
Gambar 15. Hasil *running* tegangan geser LC III



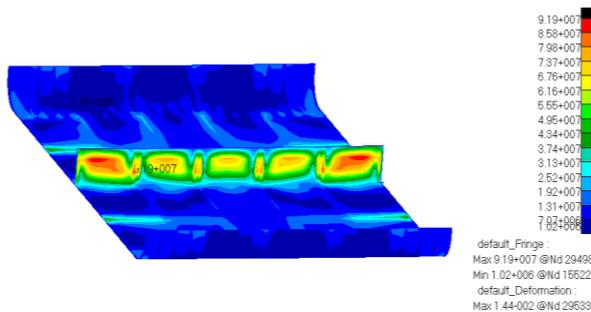
Gambar 16. Lokasi *maximum shear stress* LC III

4. Loading Condition IV

Pada kondisi pembebanan IV mengasumsikan pada saat sarat kapal 2/3T. Kondisi pembebanan ini *crude oil tank* dan *sea water ballast tank* diisi penuh pada bagian *starboard* dan *portside*. Pada kondisi pembebanan IV tegangan geser maksimum yang terjadi pada model adalah sebesar **91,90 N/mm²** pada *node @29498*. *Shear stress* maksimum terjadi pada *center girder* kapal. Hal ini dapat terjadi karena beban muatan dan beban air balas yang diisi penuh yaitu pada bagian *starboard* dan *portside tank* serta kapal mendapat *pressure* dari air laut. Sehingga akibat tekanan hidrostatik dari air laut, muatan dan balas mengakibatkan beban yang besar dialami kapal terpusat pada bagian tengah yang menumpu kapal yaitu *center girder* dan memberi tegangan geser yang besar pada bagian tersebut. Seperti ditunjukkan pada gambar 4.34 hasil *running* model LC IV pada MSC Nastran 2012 dan gambar 4.35 menunjukkan bagian kritis model yang mengalami *shear stress* maksimum.



Gambar 17. Hasil *running* tegangan geser LC IV



Gambar 18. Lokasi *maximum shear stress* LC IV

Setelah dilakukan analisa tegangan geser dengan metode elemen hingga selanjutnya dilakukan pengecekan hasil dengan membandingkannya dengan tegangan geser ijin berdasarkan regulasi BKI 2013. Berikut ini adalah hasil rekap hasil tegangan geser metode elemen hingga yang ditunjukkan pada tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3. Perbandingan hasil tegangan geser FE *software* dengan tegangan geser ijin BKI 2013

No	Loading Condition	Lokasi	Hotspot shear stress Node	Shear Stress FEM software (N/mm ²)	Shear Stress Permission BKI (N/mm ²)	Keterangan
1	LC I	Center Bulkhead Web Frame	Node 1614	69,60	100	Memenuhi
2	LC II	Penegar Center Bulkhead	Node 29334	74,00	100	Memenuhi
3	LC III	Center Girder	Node 29383	31,20	100	Memenuhi
4	LC IV	Center Girder	Node 29498	91,90	100	Memenuhi

Dari hasil *running* program MSC Nastran 2012 yang direkap pada tabel diatas menyatakan tidak terdapat tegangan geser yang melebihi batas ijin. Tegangan geser maksimal terdapat pada LC I sebesar 91,9 N/mm².

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil perhitungan menggunakan metode elemen hingga dengan permodelan, pembebanan dan kondisi batas sesuai dengan ketentuan *Rules BKI 2013* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. *Shear stress* maksimum yang terjadi pada struktur *Midship* kapal *crude Oil Tanker* dalam beberapa kondisi pembebanan dengan menggunakan program berbasis metode elemen hingga adalah sebagai berikut :
 - a) *Loading Condition I*
Maximum shear stress yang dianalisa dengan metode elemen hingga terdapat pada *center bulkhead web frame* pada node @1614 dengan nilai sebesar 69,60 N/mm².
 - b) *Loading Condition II*
Maximum shear stress terdapat pada penegar *center bulkhead* pada node @29334 dengan nilai sebesar 74,00 N/mm².
 - c) *Loading Condition III*
Maximum shear stress terdapat pada *center girder* pada node @29383 dengan nilai sebesar 31,20 N/mm².
 - d) *Loading Condition IV*
Maximum shear stress terdapat pada *center girder* pada node @29498 dengan nilai sebesar 91,90 N/mm².
2. *Maximum shear stress* terbesar adalah sebesar 91,90 N/mm² terjadi pada saat keadaan *loading condition IV* yaitu saat tangki muatan dan balas diasumsikan diisi dalam keadaan penuh dimana daerah paling kritis terjadi pada bagian *center girder* pada node @29498.
3. Dari semua hasil kondisi pembebanan pada struktur *midship* kapal *Crude Oil Tanker* 6500 DWT, hasil analisa tegangan geser maksimum dengan metode elemen hingga memenuhi standar regulasi klas BKI "*rules for hull*". Tegangan ini masih dalam kondisi aman karena setelah dibandingkan dengan *allowable shear stress BKI*, *shear stress* yang didapatkan tidak melebihi tegangan geser ijin sebesar 100 N/mm².

5.2 Saran

1. Untuk mendapatkan hasil yang mendekati kondisi sebenarnya dalam pembuatan model pada *software* ini perlu dilakukan dengan pembagian *mesh* yang lebih banyak lagi, terutama pada daerah yang mengalami pemusatan tegangan geser (*hotspot shear stress*).
 2. Untuk pengembangan analisa dengan menggunakan elemen hingga pada aplikasi perkapalan perlu dilakukan pemodelan dengan sepanjang kapal, dengan hal itu maka akan didapatkan hasil pendekatan analisa sesuai dengan kondisi kapal sebenarnya.
 3. Untuk penelitian selanjutnya bila terdapat sistem konstruksi yang memenuhi dan jauh diatas persyaratan maksimal regulasi diharapkan dilakukan penelitian mengenai batas minimal konstruksi yang kuat dan memenuhi standart regulasi yang digunakan.
 4. Menggunakan spesifikasi komputer yang tinggi akan membantu memperlancar serta bisa menghemat waktu, ketika pengerjaan dan *running*.
- [6] Tony, Cornelius. 2013. “*Konstruksi dan Kekuatan Kapal*”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- [7] Qaqa, Dwi. 2012. “*Tegangan Geser Pada Struktur Kapal Kontainer*”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- [8] Rama, Harquita. 2011. “*Aplikasi Metode Elemen Hingga Pada Perhitungan Tegangan Di Sekitar Bukaannya Palkah Akibat Gelombang Laut*”. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya
- [9] Sabastian, Markus. 2013. “*Analisa Kekuatan Struktur Ruang Muat (Direct Strength Analysis) Self Propelled Barge (SPB) Tonasa 8000 Ton Berbasis Metode Elemen Hingga (Finite Element Method)*”. Universitas Diponegoro. Semarang

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero. 2013. “*Rules for Classification and Construction of Sea Going Steel Ship Volume II : Rules for Hull Edition 2013*,” Jakarta : Biro Klasifikasi Indonesia.
- [2] Eko, Nevi. 2011. “*Analisa Tegangan Geser Pada Struktur Kapal Bulk Carrier*”. Istitut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- [3] Kusna, Indra. 2008. “*Teknik Konstruksi Kapal Baja*”. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta
- [4] Meivando, Raendi. 2014. “*Analisa Struktur Konstruksi Geladak Akibat Penambahan Deck Crane Pada Landing Craft Tank 1500 DWT Berbasis Metode Elemen Hingga*”. Universitas Diponegoro. Semarang
- [5] Oktovianto, Rudi. 2011. “*Analisa Tegangan Geser Pada Struktur Cincin Kapal Chemical Tanker 6200 DWT*”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya