

ANALISA TEGANGAN SISTEM PERPIPAAN *BALLAST LANDING CRAFT TANK 200 GT*

Rizki Hidayatullah, Imam Pujo Mulyatno, Kiryanto¹⁾

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

Email : rizkihidayatullah@gmail.com

Abstrak

Kapal *Landing Craft Tank 200 GT* adalah kapal komersial yang mampu mengangkut penumpang dan juga mengangkut kendaraan dalam ukuran yang relatif besar. Kapal ini dilengkapi dengan sistem perpipaan *ballast*. Dalam rute pelayarannya mengharuskan kapal pada saat beroperasi mengalami pengaruh dari gelombang air laut, yaitu gelombang *hogging* dan *sagging* yang berulang-ulang serta tegangan yang terjadi akibat dari tekanan gelombang dari luar, hal ini akan berpengaruh pada kekuatan pipa *ballast* yang letaknya tepat bersinggungan dengan konstruksi *bottom* kapal. Maka secara garis besar perencanaan sistem perpipaan *ballast* ini membuat suatu perpipaan yang mempunyai tingkat tegangan pada batas yang diijinkan dan bisa diterima oleh perpipaan tersebut. Analisa yang digunakan adalah analisa beban statis untuk mengetahui besarnya tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan *ballast* pada LCT 200 GT berdasarkan dua variasi kondisi, yaitu gelombang *hogging* dan *sagging*. Hasil penelitian menggunakan ANSYS didapatkan tegangan maksimal model pada kondisi *hogging* dengan tekanan sebesar $335,12 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ yaitu terjadi pada nodal 36607 sebesar $344,92 \text{ N/mm}^2$. Tegangan ini masih dalam kondisi aman karena setelah dibandingkan dengan σ_{ijin} sebesar 360 N/mm^2 berdasarkan rules BKI menghasilkan nilai *safety factor* sebesar 1,04. Pada model kondisi *sagging* dengan tekanan sebesar $107,69 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ didapatkan tegangan maksimal yaitu terjadi pada nodal 51801 sebesar $325,32 \text{ N/mm}^2$. Tegangan ini masih dalam kondisi aman karena setelah dibandingkan dengan σ_{ijin} sebesar 360 N/mm^2 berdasarkan rules BKI menghasilkan nilai *safety factor* sebesar 1,11.

Kata kunci :Sistem perpipaan *ballast*, analisa tegangan, *hogging sagging*.

Abstract

Landing Craft Tank 200 GT is a commercial ship capable of carrying passengers and car in relatively large size. This ship equipped with ballast pipping system. In these shipping route during operation required effect of seawaves, there is hogging and sagging wave that repeated also stress that happened by wave pressure from the outside, it will affect the strength of ballast pipe that is contact exactly located with the bottom construction of ship. So the outline of planning ballast pipping system is to make a that pipping has a stress level at the limit of allowable and acceptable by the construction. The analysis used static load analysis to determine the maximum stress at ballast pipping system at LCT 200GT based two variations condition, there is hogging and sagging wave. The results of the analysis using ANSYS showed the maximum stress in hogging condition model with pressure $335,12 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ which occurs at node 36607 that is equal to $344,92 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$. That stress is still safe because after compared with tensile strength 360 N/mm^2 by BKI rules produce safety factor value 1,04. On sagging condition model with pressure $107,69 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ showed the maximum stress occurs at node 51801 that is equal to $325,32 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$. That stress is still safe because after compared with tensile strength 500 N/mm^2 by BKI rules produce safety factor value 1,11.

Keywords: *Hullform, total resistance, submarines, hull variation, CFD.*

1. PENDAHULUAN

Kapal *Landing Craft Tank 200 GT* adalah salah satu kapal yang saat ini sedang dalam proses pembangunan di Galangan PT.

Dok & Perkapalan Kodja Bahari Cabang Semarang. Kapal dengan *lpp* 27,95m ini direncanakan akan berlayar di sekitar Sungai Mamberamo, yang terletak di sebelah selatan

Pegunungan Foja, Kabupaten Sarmi, Provinsi Papua. Kapal ini dilengkapi dengan berbagai sistem perpipaan. Salah satunya sistem perpipaan *ballast*.

Dalam rute pelayarannya mengharuskan kapal pada saat beroperasi mengalami pengaruh dari gelombang air laut, yaitu gelombang *hogging* dan *sagging* yang berulang-ulang serta tegangan yang terjadi akibat dari tekanan gelombang dari luar, hal ini akan berpengaruh pada kekuatan pipa *ballast* yang letaknya tepat bersinggungan dengan konstruksi *bottom* kapal. Maka secara garis besar perencanaan sistem perpipaan *ballast* ini adalah membuat suatu perpipaan yang mempunyai tingkat tegangan pada batas yang diijinkan dan bisa diterima oleh perpipaan tersebut.

Perencanaan sistem perpipaan *ballast* ini haruslah dapat beroperasi secara optimal, aman dan dengan konstruksi sederhana yang dapat menerima beban dan tegangan yang diijinkan. Sistem perpipaan *ballast* tersebut harus dirancang menghindari terjadinya *overstress* atau tegangan yang berlebihan yang dapat menimbulkan masalah seperti deformasi, keretakan dll.

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

1. Gaya luar yang terjadi pada kapal hanya akibat gelombang laut kapal, yaitu gelombang *hogging* dan *sagging*.
2. Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ANSYS yang berbasis metode elemen hingga (*finite element method*).
3. Analisa dilakukan hanya pada sistem perpipaan *ballast* kapal LCT 200 GT dari *Manifold* menuju tangki-tangki *Ballast*.
4. Jenis material pipa yang digunakan *Carbon Steel Pipe* JIS STPG 3454 atau BKI KI – R 360.

Berdasarkan latar belakang dan pembatasan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui hasil tegangan yang didapatkan dengan menganalisa sistem perpipaan *ballast Landing Craft Tank* 200 GT akibat pengaruh gelombang *Hogging*.
2. Mengetahui hasil tegangan yang didapatkan dengan menganalisa sistem perpipaan *ballast Landing Craft Tank* 200 GT akibat pengaruh gelombang *Sagging*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal *Landing Craft Tank*

Kapal *Landing Craft Tank* 200 GT adalah kapal ini beroperasi di perairan dan jalur sungai Indonesia sebagai kapal-kapal komersial yang mengangkut penumpang dan juga mengangkut berbagai muatan atau jenis barang yang berukuran besar dan berbobot besar, seperti *dump truck*, *dozer*, *escavator*, alat konstruksi, *steel structure*, *boiler*, mesin turbin, *rig equipment*, *transformer*, *material project*, dan sebagainya.

Jenis kapal LCT juga biasa digunakan sebagai sarana kapal ferry untuk jalur penyebrangan antar pulau di Indonesia. Fungsi lainnya dari LCT adalah sebagai sarana angkut bahan cairan untuk supply kebutuhan air bersih dan bahan bakar minyak di lokasi proyek pertambangan atau untuk distribusi ke berbagai wilayah terpencil di Indonesia.

Sedangkan kapal *Landing Craft Tank* 200 GT adalah kapal milik Dinas Perhubungan yang saat ini sedang dalam proses pembangunan di Galangan PT. Dok & Perkapalan Kodja Bahari Cabang Semarang. Kapal dengan *lpp* 27,95m ini direncanakan akan berlayar di sekitar Sungai Mamberamo, yang terletak di sebelah selatan Pegunungan Foja, Kabupaten Sarmi, Provinsi Papua.



Gambar 1 *Landing Craft Tank* di Indonesia

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Data Primer

Berikut data utama ukuran kapal

LCT 200GT :

Length over all (LOA): 33,27 m

Breadth (B) : 9,00 m

Depth (H) : 2,80 m

Speed (v) : 10 knot

Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari literature (jurnal, buku, dan data yang didapat pada penelitian sebelumnya).

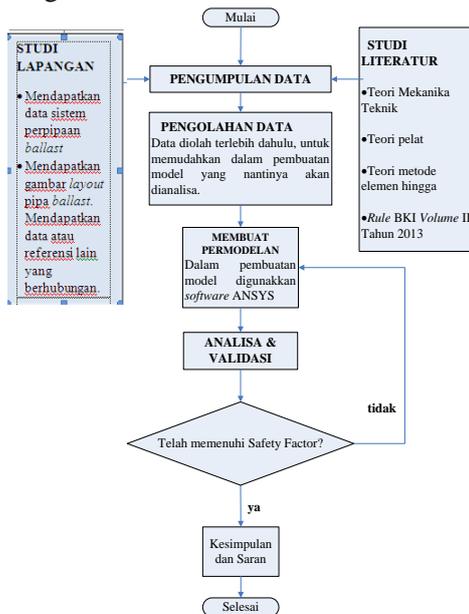
3.2 Parameter Penelitian

Dari data awal yang telah didapatkan, kemudian dilakukan pembuatan model dengan menggunakan *software* ANSYS. Pembuatan model dilakukan dengan prosedur antara lain :

- Membuat geometri dari objek yang akan dianalisa. Proses ini bisa dilakukan dengan program ANSYS12.0 .
- 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 bahwa elemen sudah terkoneksi secara benar.
- Pendefinisian material.
- Pendefinisian jenis elemen.
- Pemberian tumpuan atau beban.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini terangkum secara sistematis dalam diagram alir di bawah ini:



Gambar 2 diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain Awal Sistem Perpipaan *Ballast Landing Craft Tank 200 GT*

Pada permodelan dengan menggunakan ANSYS terlihat jelas arah jalur pipa dan kemudian disimulasikan agar diketahui hasil analisisnya dengan menggunakan program berbasis metode elemen hingga. Hasil dari serangkaian analisa yang didapatkan adalah untuk mengetahui nilai kekuatan, dan karakteristik kekuatannya.

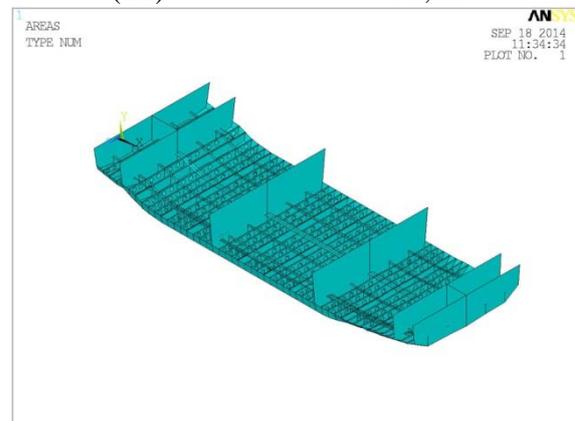
Beban yang mempengaruhi suatu sistem perpipaan sehingga mengakibatkan terjadinya tegangan atau stress baik berupa defleksi atau juga pergerakan pipa antara lain, berat dari pipa termasuk seluruh peralatan pendukung dalam sistem perpipaan itu sendiri dan beban tumbuk yang merupakan beban yang terjadi akibat *slamming* atau pukulan gelombang air laut yang mengenai konstruksi *bottom* kapal meliputi gelombang *hogging dan sagging*.

Oleh karena beban-beban yang terjadi pada sistem perpipaan tersebut maka suatu sistem perpipaan didesain sedemikian mungkin untuk dapat bekerja dengan maksimal dan dapat dipastikan bekerja dengan aman serta beban tersebut masih berada dalam batas fleksibilitas yang disarankan atau diatur dalam code atau standar yang berlaku. Dalam hal ini digunakan code atau standar yang berlaku yaitu Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

❖ Data ukuran utama model kapal :

Base Hull

- *Length* (m) : 27,95
- *Breadth* (m) : 9,00
- *Depth* (m) : 2,80
- *Draft* (m) : 2,00
- (Cb) : 0,56



Gambar 3 Hasil permodelan sistem perpipaan *ballast LCT 200 GT* pada ANSYS

4.2 Perhitungan Beban

Besarnya beban tumbuk yang diakibatkan oleh gelombang air laut baik gelombang *hogging* maupun gelombang *sagging* dapat dikondisikan dengan perhitungan beban berdasarkan *rules* BKI *Section* 5.3 :

- *Vertical Wave Bending Moments:*

$$M_{wv} = L^2 \cdot 4B \cdot 4C_o \cdot 4C_1 \cdot 4C_L \cdot 4C_M \quad [\text{kNm}]$$

- *Vertical Wave Bending Pressure:*

$$\sigma = \frac{M_{wv} \cdot e_z}{I_y \cdot 10^3} \quad [\text{kN/m}^2]$$

Keterangan:

- L = panjang kapal
- B = lebar kapal
- C_o = koefisien gelombang
- C₁ = koefisien faktor *hogging/sagging*
- C_M = koefisien faktor distribusi
- e_z = jarak titik puncak gelombang dari baseline (Hgelombang)
= L_{pp}/20 = 27,95/20 = 1,39 m
- I_y = momen inersia dari modulus penampang kapal = 17,35 m⁴

$$C_o = \frac{L}{25} (4,1) \quad \text{untuk } L < 90\text{m}$$

$$= \frac{27,95}{25} (4,1) = 4,58$$

$$C_L = \sqrt{\frac{L}{90}} \quad \text{untuk } L < 90\text{m}$$

$$= \sqrt{\frac{27,95}{90}} = 0,31$$

$$C_{1\text{hogging}} = 0,19 (4C_b) = 0,19 (4(0,56)) = 0,43$$

$$C_{1\text{sagging}} = 0,11 (C_b + 0,7)$$

$$= 0,11 (0,56 + 0,7) = 0,14$$

$$C_{M\text{hogging}} = 1,0 \quad \text{untuk } 0,4 \leq x/L \leq 0,65$$

$$C_{M\text{sagging}} = C_v \quad \text{untuk } 0,4 \leq x/L \leq 0,65$$

$$C_v = \sqrt[3]{\frac{V_o}{1,4\sqrt{L}}} \geq 1,0 \quad \text{untuk } L < 100$$

$$= \sqrt[3]{\frac{10}{1,4\sqrt{27,95}}} = 1,11 \approx 1,0$$

- Kondisi Hogging

$$M_{wv(\text{hogging})} = L^2 \cdot 4B \cdot 4C_o \cdot 4C_{1H} \cdot 4C_L \cdot 4C_{MH} [\text{kNm}]$$

$$= (27,95)^2 \cdot 4(9) \cdot 4(4,58) \cdot 4(0,43) \cdot 4(0,31) \cdot 4(1)$$

$$= 781,20 \times 36 \times 17,52 \times 1,70 \times 1,24 \times 4$$

$$= 4160480,72 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{M_{wv} \cdot e_z}{I_y \cdot 10^3}$$

$$= \frac{4160480,72 \times 1,39}{17,35 \times 10^3}$$

$$= 335,12 \text{ kN/m}^2 = 335,12 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$$

- Kondisi Sagging

$$M_{wv(\text{sagging})} = L^2 \cdot 4B \cdot 4C_o \cdot 4C_{1S} \cdot 4C_L \cdot 4C_{MS} [\text{kNm}]$$

$$= (27,95)^2 \cdot 4(9) \cdot 4(4,58) \cdot 4(0,14) \cdot 4(0,31) \cdot 4(1)$$

$$= 781,20 \times 36 \times 17,52 \times 0,55 \times 1,24 \times 4$$

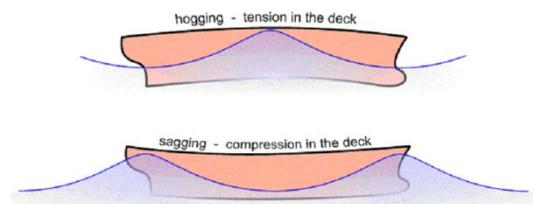
$$= 1344135,97 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{M_{wv} \cdot e_z}{I_y \cdot 10^3}$$

$$= \frac{1344135,97 \times 1,39}{17,35 \times 10^3} = 107,69 \text{ kN/m}^2$$

$$= 107,69 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$$

Berdasarkan kondisi dilapangan, konstruksi *bottom* kapal dan sistem perpipaan *ballast* akan menerima beban dengan gambarang seperti berikut:



Gambar 4 Simulasi gelombang *hogging* dan *sagging* mengenai kapal

• Penentuan Material

Kemudian untuk jenis material yang digunakan adalah baja standar BKI KI – A 36 untuk pelat dan BKI KI – R 360 untuk pipa, dengan kriteria-kriteria sebagai berikut:

- **Pelat**

- Modulus Elastisitas Young (E) = 200 Gpa
- Poisson's Ratio (u) = 0.3

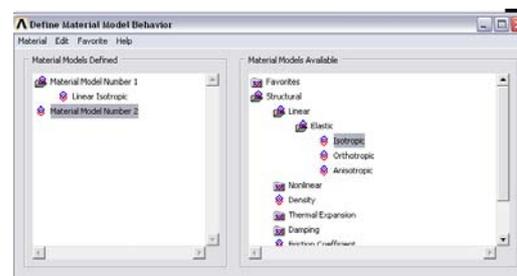
Sumber : Biro Klasifikasi Indonesia 2013 Vol.II *section* 2

- **Pipa**

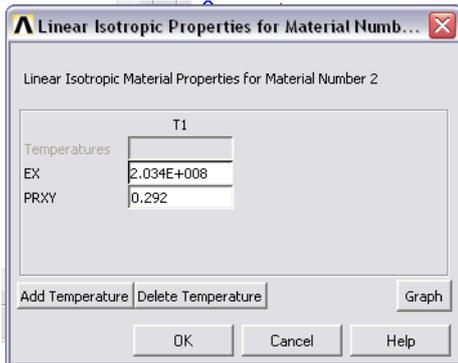
- Modulus Elastisitas Young (E) = 203.4 Gpa
- Poisson's Ratio (u) = 0.292

Sumber : Biro Klasifikasi Indonesia 2013 Vol.V *section* 5

Material yang dimasukkan dalam program bantu ANSYS ini dianggap isotropic, sehingga sifat-sifat material serta hubungan elastisitas arah x, y dan z sama atau hubungannya konstan.



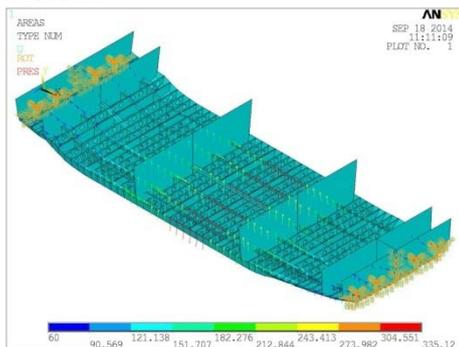
Gambar 5 Pemilihan kriteria pelat dan pipa



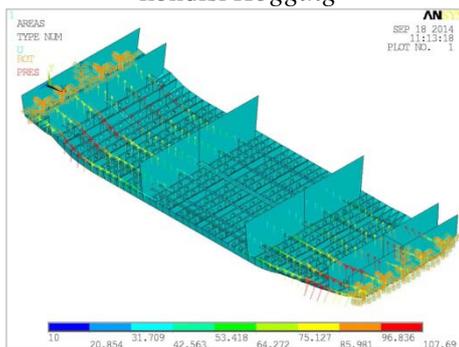
Gambar 6 Pemilihan jenis material

- **Force/Moment (Penentuan Beban)**

Untuk menentukan tegangan maksimum sistem perpipaan *ballast* yang akan digunakan dalam kondisi *hogging* dan *sagging*, dari hasil perhitungan beban pada tahap sebelumnya dijadikan sebagai titik maksimum gelombang pada kapal. Dengan asumsi beban mengecil beraturan di sekitar titik maksimum tersebut.



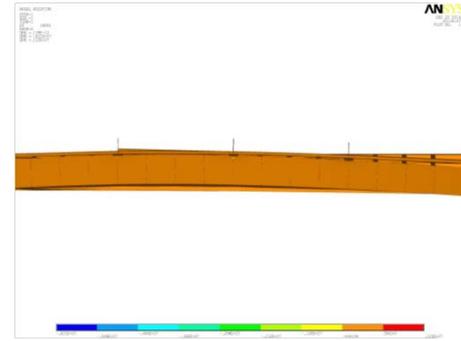
Gambar 7 Force/Moment Load pada kondisi Hogging



Gambar 8 Force/Moment Load pada kondisi Sagging

Dalam tahap *postprocessing* akan dapat diketahui hasil dari running perhitungan *software* sesuai dengan masing-masing kejadian beban yaitu pada dikenai kondisi gelombang *hogging* dan gelombang *sagging* maka dapat di peroleh hasil, yaitu :

KONDISI HOGGING



Gambar 9 Hasil perhitungan tegangan pada model beban gelombang *hogging* dengan *software* ANSYS

```

**** POST1 NODAL STRESS LISTING ****
PowerGraphics Is Currently Enabled

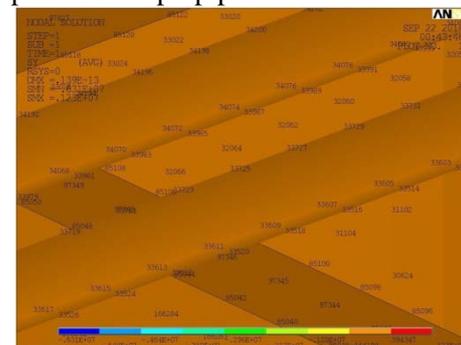
LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP/BOTTOM FOR MATERIAL 1

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

```

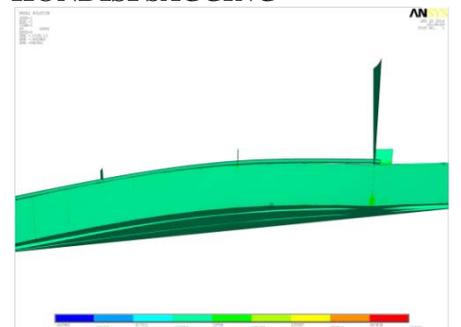
NODE	STX	STY	STZ	STXY	STYZ	STXZ
36601	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
36601	-0.26664E-26	-0.21209E+06	-0.71094E+06	-0.89002E-12	11838.	0.43538E-10
36601	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
36603	-0.35441E-26	-0.25983E+06	-0.94480E+06	-0.14323E-11	16973.	0.57861E-10
36603	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
36603	-0.34894E-26	-0.25506E+06	-0.93022E+06	-0.13969E-11	16515.	0.56968E-10
36603	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
36605	-0.19786E-17	-0.27370E+06	-0.98109E+06	-0.12601E-06	0.13806E+06	-0.90363E+06
36605	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
36605	-0.19809E-17	-0.27329E+06	-0.98019E+06	-0.12674E-06	0.13679E+06	-0.90416E+06
36605	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
36607	0.41884E+06	704.35	0.14263E+07	2366.2	31696.	0.10648E+06
36607	0.26901E-16	0.34492E+06	0.11918E+07	0.22302E-05	0.27429E+06	0.52595E-05

Gambar 10 Hasil *result* tegangan maksimum pada pipa akibat beban gelombang *hogging* pada sistem perpipaan *ballast*



Gambar 11 Titik nodal 33607 tegangan maksimum yang terjadi pada pipa akibat beban gelombang *hogging* pada *software* ANSYS

KONDISI SAGGING



Gambar 12 Hasil perhitungan tegangan pada model beban gelombang *sagging* dengan *software* ANSYS

```

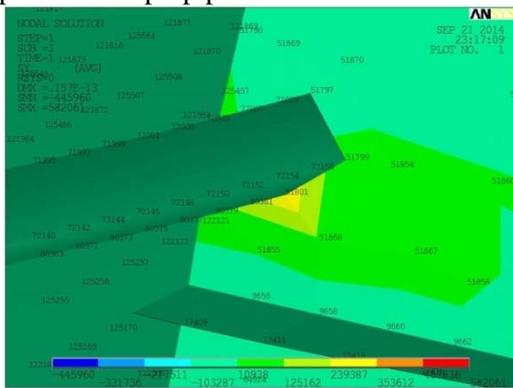
**** POST1 NODAL STRESS LISTING ****
PowerGraphics Is Currently Enabled

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
SHELL NODAL RESULTS ARE AT TOP/BOTTOM FOR MATERIAL 1
THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE   SX       SY       SZ       SWX       SWY       SWZ
51801  0.14873E+06  0.32532E+06  0.29406E-16  -11613.    -0.23639E-05  0.24549E-06
51801  -0.15346E+06  -0.32464E+06  0.29679E-16  7292.7    0.23677E-05  -0.20846E-06
51854  13481.    21796.    0.42626E-17  -25672.    0.15329E-06  0.69012E-07
51854  -16906.    -22891.    -0.46391E-17  26671.    -0.15589E-06  0.86708E-07
51855  5903.2    16251.    0.20658E-17  -5444.4    0.84202E-07  0.87634E-07
51855  -13398.    -18144.    -0.28810E-17  -2575.4    -0.60824E-07  0.11120E-06
51856  781.24    1235.16  0.0000  -1798.1    0.0000  0.0000
51856  -419.63    -1699.0  0.0000  1162.0    0.0000  0.0000
51857  943.72    -766.51  0.0000  -1324.3    0.0000  0.0000
51857  -571.18    -184.81  0.0000  1711.1    0.0000  0.0000
51858  -14638.    16906.    -0.41171E-18  6704.5    0.95449E-07  0.21292E-07
51858  -897.41    -15374.    -0.80674E-18  -3859.1    -0.86677E-07  0.27639E-07
51859  -5766.5    7468.16  0.0000  5069.1    0.0000  0.0000
51859  335.24    -12325.  0.0000  480.55    0.0000  0.0000
51860  -4166.2    12796.    0.0000  -6106.2    0.0000  0.0000
51860  2584.3    -15430.  0.0000  6681.1    0.0000  0.0000
51861  1217.1    4020.9   0.0000  -3404.6    0.0000  0.0000
51861  -1120.1    -5392.2  0.0000  2882.0    0.0000  0.0000

```

Gambar 13 Hasil *result* tegangan maksimum pada pipa akibat beban gelombang *sagging* pada sistem perpipaan *ballast*



Gambar 13 Titik nodal 51801 tegangan maksimum yang terjadi pada pipa akibat beban gelombang *sagging* pada *software ANSYS*

Dengan mengetahui tegangan tertinggi suatu bahan, kemudian membandingkan dengan tegangan design maka di peroleh tegangan ijin material. Dimana faktor tegangan ijin ini digunakan sebagai acuan dalam mengetahui faktor keamanan suatu bahan. Kriteria pipa yang digunakan adalah pipa baja kekuatan normal dengan standar BKI KI – R 360 yang memiliki kriteria – kriteria dibawah ini :

- Tegangan ijin = 360 - 500 N/mm²
- Tegangan luluh = 235 N/mm²

Sumber : Biro Klasifikasi Indonesia 2013
Vol.V section 5

Tabel 4.1 Rekapitulasi hasil dan pengecekan dengan tegangan ijin

No	Beban	Maksimum Stresses (N/mm ²)
1	Gelombang <i>Hogging</i>	344,92
2	Gelombang <i>Sagging</i>	325,32

Dari hasil rekapitulasi pada table 4.1 dapat diketahui bahwa tegangan terbesar terjadi pada kondisi *Hogging*. Tegangan tersebut masih dalam kondisi aman.

4.3 Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Faktor yang digunakan untuk mengevaluasi agar perencanaan elemen konstruksi terjamin keamanannya dengan tegangan yang diterimanya. Sebagai acuannya diambil tegangan yang paling tinggi dari tiap beban, *Safety factor* menurut BKI yaitu :

$$SF = \frac{\text{tegangan ijin}}{\text{tegangan yang bekerja}}$$

- Beban Gelombang *Hogging*
$$SF = \frac{360 \text{ N/mm}^2}{344,92 \text{ N/mm}^2} = 1,04$$

- Beban Gelombang *Sagging*
$$SF = \frac{360 \text{ N/mm}^2}{325,32 \text{ N/mm}^2} = 1,11$$

Karena nilai *safety factor* yang dihasilkan melebihi 1, maka perhitungan ini sudah memenuhi ketentuan menurut rules BKI.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan tahap pengumpulan data, permodelan, perhitungan serta analisa terhadap sistem perpipaan *ballast Landing Craft Tank* 200 GT maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan tegangan dengan menggunakan ANSYS terhadap model pada kondisi *hogging* dengan tekanan maksimum sebesar 335,12 x 10³ N/mm², diketahui bahwa tegangan maksimum terjadi pada nodal 36607 sebesar 344,92 N/mm², dimana nodal 36607 ini terletak pada pipa yang berada tepat diatas gading no.34. Tegangan ini masih dalam kondisi aman karena setelah dibandingkan dengan σ_{ijin} material sebesar 360 N/mm² berdasarkan *rules* BKI menghasilkan nilai *safety factor* sebesar 1,04.
2. Dari hasil perhitungan tegangan dengan menggunakan ANSYS terhadap model pada kondisi *sagging* dengan tekanan maksimum sebesar 107,69 x 10³ N/mm², diketahui bahwa tegangan maksimum terjadi pada nodal 51801 sebesar 325,32 N/mm², dimana nodal 51801 ini terletak pada pipa yang dilas

dengan pelat yang terhubung dengan *side girder* no.1 dan *bukhead* tangki *ballast* no.1. Tegangan ini masih dalam kondisi aman karena setelah dibandingkan dengan σ_{ijin} material sebesar 360 N/mm^2 berdasarkan *rules* BKI menghasilkan nilai *safety factor* sebesar 1,11.

5.2 Saran

1. Peng-inputan data kedalam perangkat lunak ANSYS harus dilakukan secara teliti pada setiap elemen atau nodal dengan memperhatikan satuan-satuan yang digunakan dan pemodelan harus dilakukan dengan detail geometri yang sesuai. Kesalahan dalam pemodelan akan mempengaruhi keakuratan perhitungan.
2. Perlu diadakannya penelitian perhitungan lanjutan dengan mempertimbangkan pengaruh gaya sumbu horizontal arah melintang kapal, dan pengaruh dari gaya berat kapal.

- [8] Putra, Fadhillah M. 2012. *Analisa Tegangan Statik Sistem Perpipaan pada Tangki Minyak (Oil Tank) dengan Menggunakan Software Caesar II v.5.10*. Sumatera Utara: Universitas Sumatera Utara.
- [9] Raswari. 2007. *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan*. Penerbit Universitas Indonesia. UI-PRESS. Jakarta.
- [10] Smith. 1978. *Piping and Pipe Support System*. McGraw-Hill. United State of America.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agustinus, Donny. 2009. *Pengantar Piping Stress Analysis*. Entry Agustino Publisher. London - Jakarta.
- [2] Departemen Pendidikan Nasional. 2003. *Pengetahuan jenis-jenis Pompa dan Sistem Perpipaan*. Jakarta: Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan.
- [3] Ervin, L. G. (1978). *Chapter Piping Components*, dalam Mohinder L. Nayar ed *Piping Handbook 7th Edition*.
- [4] Halong. 2006. *Standard for Ship Piping*. Vinashin Group Halong Shipbuilding Company.
- [5] Kannappan, S. 1986. *Introduction to Pipe Stress Analysis*. A Wile-Interscience Publication. United States of America.
- [6] Kiryanto. 2008. *Sistem dalam Kapal*. Fakultas Teknik. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [7] Kurnia, A. 2010. *Analisa Tegangan Sistem Perpipaan Bongkar Muat Kapal Tanker MT. Avila 6300 DWT dengan Menggunakan Perangkat Lunak Caesar II v5.10*. Semarang: Universitas Diponegoro.