

## STUDY NUMERIK DISTRIBUSI TEGANGAN BADAN KAPAL BERBAHAN ALUMINUM ( EN AC- $AlSi10Mg(b)$ )

Wibowo. H. Nugroho<sup>1</sup> dan Pitoyo<sup>1</sup>

### Abstrak

Paper ini berupa laporan studi tentang pemodelan numerik berbasis metode elemen hingga dari badan kapal berbahan aluminium EN AC-43100( $AlSi10Mg(b)$ ) dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS ver.12,0. Hasil dari pemodelan ini ini berupa sebaran tegangan normal untuk seluruh badan kapal pada kondisi gelombang ( wave induced). Verifikasi hasil dari pemodelan numerik ini dilakukan dengan melakukan perbandingan antara hasil pemodelan numerik ini dengan perhitungan analitik kekuatan memanjang. Hasil yang diperoleh dari perbandingan ini menunjukkan perbedaan yang cukup kecil yaitu kurang dari 5%. Hasil dari distribusi tegangan normal ini juga memperlihatkan potensi penggunaan casting aluminium (EN AC-43100( $AlSi10Mg(b)$ )) ini sebagai material alternatif untuk menambah khazanah dari jenis paduan aluminium yang banyak digunakan untuk konstruksi kapal saat ini.

**Kata kunci :** sebaran tegangan, EN AC-43100( $AlSi10Mg(b)$ ), kekuatan kapal, metode elemen hingga

### Abstract

*This paper reports the study of the numerical modeling that based on the finite element method of ship hull made from aluminum EN AC-43100 ( $AlSi10Mg(b)$ ) using ANSYS software ver.12, 0. Results of this modeling are the stress distribution of the ship hull on the wave conditions (wave-induced). Verification results of the numerical modeling is done by performing a comparison between the results of numerical modeling with the analytic calculation of longitudinal strength. The results obtained from this comparison showed that the differences are quite small ie less than 5%. The results of the stress distribution are also demonstrated the potential use of casting aluminum (EN AC-43100 ( $AlSi10Mg(b)$ )) as an alternative material in addition to the other types of aluminum alloys which are widely used for the construction of the ship at this time.*

**Keywords :** stress distribution , EN AC-43100 ( $AlSi10Mg(b)$ ), ship strength, finite element method

---

<sup>1</sup>Perekayasa bidang hidroelastik Lab. Hidrodinamika Indonesia UPT-BPPH, BPPT  
Surabaya(60111), Jawa Timur, Indonesia

## PENDAHULUAN

Material kapal non baja salah satunya adalah dari material paduan aluminum yang telah berkembang cukup lama lebih dari 30 tahun telah menggantikan posisi baja yaitu dalam pemakaian kapal-kapal komersial dan pada kapal-kapal perang permukaan, khususnya untuk dek dan superstrukturnya. Material aluminum yang dipakai umumnya adalah dari jenis *wrought aluminum Alloy* yaitu paduan aluminium yang dibuat dengan cara ditempa. Tujuan pemakaian aluminum/paduan aluminum disebabkan karena densitas dan modulus aluminum 1/3 dari baja, sehingga secara signifikan mengurangi berat kapal secara keseluruhan. Namun demikian struktur dan konstruksi kapal yang terbuat dari paduan aluminum, apabila mengalami kegagalan lelah (*fatigue failure*) yang disebabkan oleh retak struktur kapal, merupakan masalah yang cukup serius. Keretakan itu sendiri biasanya disebabkan oleh kombinasi tegangan putar (torsi) dan konsentrasi tegangan yang berinteraksi dengan daerah-daerah pada material yang lemah (Pearce & Grabovac, 1994). Kelajuan retak struktur pada aluminum lebih cepat 30 kali bila dibandingkan dengan laju retak pada baja jika diuji pada tegangan yang sama dengan ukuran retak yang sama pula. Di sisi lain ketahanan aus pada aluminum ini juga rendah, karena aluminium tergolong bahan yang ‘lunak’ dibandingkan logam lainnya. Meninjau dari ‘kelemahan’ material aluminum untuk kapal dari jenis *wrought aluminum alloy*, maka dalam penelitian ini mencoba memberikan material alternatif untuk bangunan kapal dari material aluminum jenis *Casting Aluminum Alloy*. yaitu material paduan aluminum AISi10Mg(b) merupakan material bangunan kapal berdasarkan *European Nation (EN) Aluminum Casting (AC)-43100*, sehingga biasa ditulis dengan **EN AC-43100 (AISi10Mg(b))**. Paduan EN AC-43100 (AISi10Mg(b)) termasuk dalam paduan aluminium silikon yang tidak dapat diperlakukanaskan (*non heat-treatable*). Dalam keadaan cair, mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Paduan ini banyak digunakan sebagai bahan atau logam las dalam pengelasan paduan aluminum baik paduan cor maupun paduan tempa. Paper ini berupa laporan studi tentang pemodelan numerik berbasis metode elemen hingga dari badan kapal berbahan aluminum EN AC-43100(AISi10Mg(b)) dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS ver.12,0. Dimana hasil dari

pemodelan ini akan memperlihatkan potensi penggunaan casting aluminum (EN AC-43100(AISi10Mg(b))) ini sebagai material alternatif untuk menambah khazanah dari jenis paduan aluminum yang banyak digunakan untuk konstruksi kapal saat ini.

## BALOK BERNOULLI – EULER

Analisa kekuatan struktur kapal diperlukan dengan melakukan perhitungan tegangan maksimum yang terjadi, dalam hal ini perhitungan tegangan langsung primer pada struktur kapal dapat didekati dengan cukup realistis dengan konsep balok ekuivalen . Penurunan persamaan-persamaan tegangan dan lendutan dengan teori balok elementer (balok Bernoulli-Euler) dapat diperoleh dari banyak buku mengenai kekuatan bahan, dan di sini akan dibahas secara ringkas. Hasil terpenting dalam kerangka perhitungan kekuatan adalah hubungan antara tegangan normal kapal yang bekerja di bidang pelat dengan momen lengkung yang bekerja di sebuah titik (x,z) pada panjang kapal  $M(x)$ :

$$\sigma_x = -\frac{M(x)z}{I} \quad (1)$$

Dimana  $z$  adalah jarak meninggi titik yang ditinjau pada  $x$ , dan  $I$  adalah momen inersia keseluruhan penampang melintang struktur kapal di titik  $x$  dihitung terhadap sumbu netral melintang kapal tempat titik berat keseluruhan penampang melintang buoy tersebut berada. Jelas, bahwa tegangan-tegangan ekstrem terjadi pada serat teratas (dek utama) atau terbawah(konstruksi alas) pada balok, yaitu saat  $z$  memiliki harga-harganya yang terbesar  $z_{max}$ . Besaran  $I/z_{max}$  disebut modulus penampang balok di titik  $x$  (tepatnya bidang melintang yang melalui titik  $x$ ).

## METODE ELEMEN HINGGA

Perpindahan  $\delta$  dari pegas sederhana yang terkena gaya tarik  $p$  pada ujungnya diberikan oleh  $p = k \delta$  dimana  $k$  adalah kekakuan. Alternatifnya,  $\delta = fp$  dimana  $f$  adalah fleksibilitas dan  $f = k^{-1}$ . Jika gaya dan perpindahan tidak segaris dari pegas atau anggota struktur tetapi merupakan kumpulan dari koordinat Cartesian, kekakuan ini akan berbeda dalam tiga arahnya, secara umum

$$P_1 = k_{11} \delta_1 + k_{12} \delta_2 \quad (2)$$

$$P_2 = k_{21} \delta_1 + k_{22} \delta_2 \quad (3)$$

Pasangan di atas ditulis dalam bahasa aljabar matriks

$$P = Kd \quad (4)$$

**P** adalah sekumpulan yang lengkap dari gaya terpakai dan **d** adalah perpindahan yang dihasilkan. **K** disebut dengan matriks kekakuan dan dibentuk dari faktor **k<sub>11</sub>** yaitu anggota matrik kekakuan (submatrik). Sebagai contoh, periksalah suatu anggota struktur yang terkena beban  $p_x$  dan  $p_y$  dan momen  $m$  pada masing – masing ujung yang menyebabkan perpindahan  $\delta_x$ ,  $\delta_y$  dan  $\theta$  (lihat Gambar 1).



Gambar 1. Anggota struktur yang terkena beban  $p_x$  dan  $p_y$  dan momen  $m$

Untuk kesetimbangan ,

$$m_1 + m_2 + p_{y2}l = 0 = m_1 + m_2 + p_{y1}l \quad (5)$$

$$\text{juga } p_{x1} + p_{x2} = 0 \quad (6)$$

Untuk elastisitas,

$$P_{x1} = P_{x2} = \frac{EA}{l} (\delta_{x1} - \delta_{x2}) \quad (7)$$

Dari analisa kemiringan lendutan dapat diperoleh

$$m_1 = \frac{6EI}{l^2} \delta_{y1} + \frac{4EI}{l} \theta_1 - \frac{6EI}{l^2} \delta_{y2} + \frac{2EI}{l} \theta_2 \quad (8)$$

Persamaan ini dapat diatur kembali menjadi;

$$\begin{bmatrix} p_{x1} \\ p_{y1} \\ m_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{x1} \\ \delta_{y1} \\ \theta_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} \\ 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{x2} \\ \delta_{y2} \\ \theta_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

atau  $p = k_{11}\delta_{11} + k_{12}\delta_{12}$

Contoh yang sangat sederhana ini cukup untuk menunjukkan bahwa permasalahan satuan dapat di buat dalam bentuk matrik. Ini juga menunjukkan bahwa kita dapat menggunakan matematika aljabar yang hebat ini untuk menyelesaikan permasalahan struktur yang mana sangat kompleks untuk diselesaikan. Lebih jauh lagi, komputer telah siap diprogram untuk menyelesaikan matriks tersebut.

Permasalahan dasar merupakan inverse dari matriks untuk mendapatkan perpindahan yang muncul dari aplikasi beban yakni

$$d = K^{-1}P \quad (10)$$

jika regangan dihubungkan dengan perpindahan

$$\epsilon = Bd \quad (11)$$

Untuk bidang regangan sebagai contoh

$$\epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{bmatrix} = Bd \quad (12)$$

Tegangan dihubungkan dengan regangan

$$\sigma = D\epsilon \quad (12)$$

**D** adalah konstanta elastik, yang mana untuk bidang tegangan untuk bahan isotropis adalah

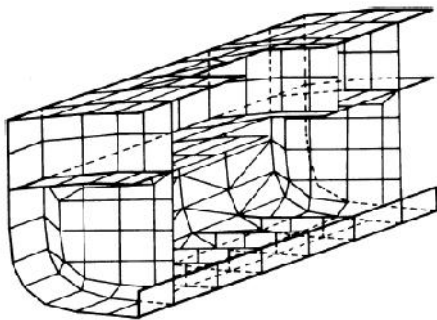
$$D = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2}(1-\nu) \end{bmatrix} \quad (14)$$

Ada juga hubungan yang lain yang sangat berharga seperti matriks transformasi yang merubah sumbu acuan. Hal ini bersama – sama membentuk alat yang berguna untuk menyelesaikan permasalahan menggunakan teknik elemen hingga. Analisa elemen hingga didekati secara garis besar sebagai berikut:

- a) Struktur dibagi dengan garis – garis imajiner yang bertemu pada nodal, membentuk elemen hingga yang sering berupa segitiga atau segi empat dan bidang (tetapi bisa berupa tak beraturan dan tiga – dimensi)
- b) Untuk setiap elemen, fungsi perpindahan diturunkan yang menghubungkan perpindahan di setiap titik pada elemen ke perpindahan pada nodal. Dari perpindahan ini regangan ditemukan dan dari regangan, tegangan diturunkan.

- c) Gaya – gaya dari masing masing nodal ditentukan ekuivalen dengan gaya – gaya sepanjang batas dari elemen.
- d) Perpindahan dari elemen dibuat sesuai(kompatibel) dengan elemen didekatnya(hal ini tidak selalu berhasil)
- e) Keseluruhan kumpulan dari beban terpakai dan gaya internal diatur dalam kesetimbangan.

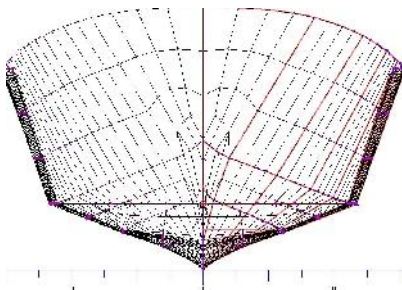
Gambar dari potongan struktur kapal yang didiskritisize oleh metode elemen hingga diperlihatkan pada Gambar 2. di bawah ini



Gambar 2. Penegar – penegar kapal yang didiskritkan oleh elemen hingga

### MODEL ELEMEN HINGGA DARI KAPAL ALUMINUM

Pemodelan elemen hingga dari kapal ini menggunakan perangkat lunak ANSYS ver.12,0. Jenis kapal yang digunakan dalam paper ini adalah kapal cepat FPB (*Fast Patrol Boat*), dengan bentuk lambung berbentuk V khususnya pada bagian depan (Gambar 3). Kapal aluminium yang akan dimodelkan ini mempunyai ukuran utama yang diperlihatkan pada Tabel 1.



Gambar 3. Kapal Patroli Cepat dengan bentuk lambung V

Tabel1. Ukuran Utama Kapal

Panjang (LOA)	seluruhnya	42 m
Panjang antara garis tegak (LPP)		39 m
Lebar (B)		7 m
Tinggi (H)		4 m
Sarat (T)		1,8 m
Berat ( )		54.865 ton
Kecepatan Dinas (V)		24 knot

Dalam melakukan pemodelan numerik dari kapal ini pemilihan jenis elemen adalah penting. Sebagai acuan pemilihan jenis elemen dapat dijelaskan sebagai berikut. Struktur pipa dengan tipe elemen 2D atau 3D Beam. Jenis 3D - SHELL model digunakan untuk struktur tipis di ruang 3D. Sedangkan 3D - SOLID model analisis digunakan untuk struktur tebal di ruang 3D yang tidak memiliki penampang melintang konstan ataupun sumbu simetri. Untuk pemodelan penumpu, penegar, flens, gading, balok geladak dan profile yang lainnya digunakan *Beam 189\_Quadratic Finite Strain Beam*.

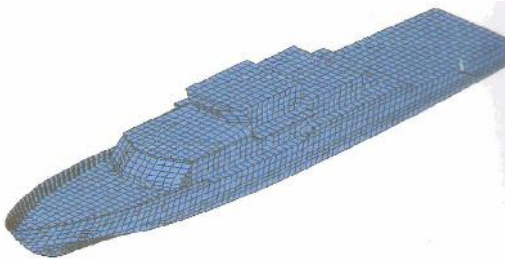
Untuk pemodelan pelat kapal dapat digunakan *Shell 93\_8node Structural Shell*. Shell 93 pada khususnya baik digunakan untuk pemodelan pelat lengkung. Elemen ini memiliki enam derajat kebebasan di tiap node: translasi pada arah x,y dan z serta rotasi pada arah sumbu x, y dan z. Untuk selanjutnya pada pemodelan massa dilakukan untuk mesin induk, mesin bantu, gear box, pompa-pompa, bollard, windlass, pondasi windlass, mesin hidrolis kemudi, jangkar, rantai jangkar, dan peralatan yang memiliki massa cukup besar. Pada pemodelan massa ini digunakan *Mass 21*, yaitu elemen titik yang memiliki enam derajat kebebasan dan merupakan elemen massa terpusat. Masukan yang diperlukan berikutnya adalah sifat material (material properties) dari aluminium EN AC-43100 (AISi10Mg(b)) yang diperlihatkan pada Tabel 2. Penggunaan jenis elemen pada badan kapal cepat ini berbentuk elemen quadrilateral (segi empat) dan triangular dengan perbandingan panjang dengan lebar maksimum 2.

Ukuran elemen terbesar yang dapat dibuat dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut: jarak gading, yang bervariasi antara 500 mm sampai dengan 600 mm. Dengan pemodelan elemen hingga ini memiliki 155.988 derajat kebebasan diharapkan model numerik ini telah terwakili dengan baik. Untuk lambung kapal ini pemodelan “meshing” diperlihatkan pada Gambar 4. Untuk perhitungan beban yang terjadi pada kapal

dilakukan prinsip superposisi dimana pembebanan dari distribusi berat kapal (still water load) dan karena beban gelombang (wave induced load). Beban gelombang dihitung memakai aturan BKI untuk panjang kapal kurang dari 60m.

Tabel 2. Sifat Bahan Material Aluminium ENAC-43100 AISi10Mg(b)

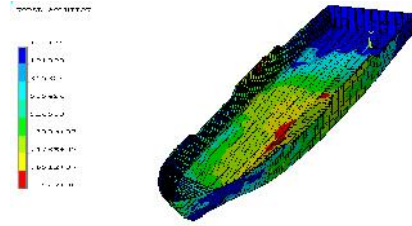
Densitas	2,703 (gram/cm <sup>3</sup> )
Modulus Elastisitas	70.000 (MPa)
Poisson Ratio	0,33
Kekuatan Tarik	173,11 (MPa)
Tegangan ijin( $\sigma$ 0,2)	46,54 MPa



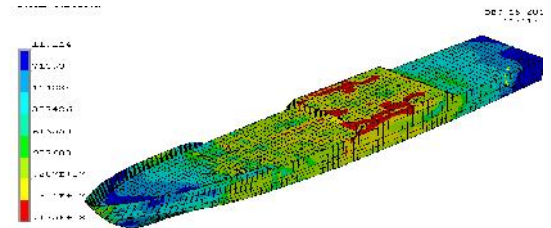
Gambar. 4. Meshing Keseluruhan Badan Kapal

## HASIL & DISKUSI

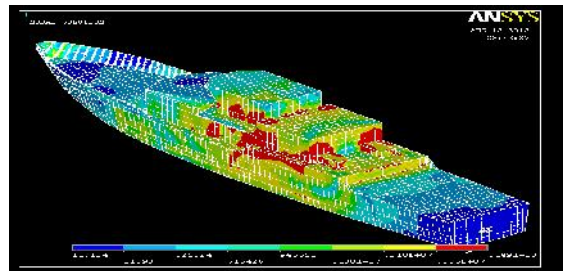
Hasil pemodelan numerik ini berupa sebaran tegangan (stress distribution) normal pada lambung dan konstruksi alas (bottom), lambung dan main deck, Serta sebaran tegangan normal untuk seluruh badan kapal dalam kondisi beban induksi gelombang( wave induced). Hal ini ditunjukkan pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7. Pemilihan tegangan normal ditampilkan karena keperluan akan validasi hasil pemodelan numerik ini dengan perhitungan analitik terhadap kekuatan memanjang kapal (longitudinal strength) yang menggunakan teori balok sederhana untuk mendapatkan tegangan normalnya. Pada Gambar 5 ditunjukkan bahwa tegangan normal maksimum terjadi pada konstruksi alas dengan nilai 19,6 MPa. Sedangkan pada Gambar 6 untuk pemodelan pada badan kapal dan dek utama tegangan normal maksimum terjadi pada dek utama senilai 17,5 MPa. Dan pada Gambar 7, ditunjukkan pula tegangan normal terjadi pada keseluruhan badan kapal dengan tegangan normal maksimum terjadi sebesar 14,9 Mpa pada daerah dek utama dan bangunan atas.



Gambar 5. Sebaran tegangan kapal untuk lambung dan konstruksi alas(*bottom*) dengan kondisi beban induksi gelombang



Gambar 6. Sebaran tegangan kapal untuk daerah lambung dan dek utama dengan kondisi beban induksi gelombang



Gambar 5.b Sebaran tegangan kapal untuk daerah seluruh badan kapal dengan kondisi beban induksi gelombang

Hasil dari pemodelan numerik ini selanjutnya dibandingkan dengan hasil perhitungan secara analitik (metode balok – Bernoulli euler). Rangkuman hasil perhitungan analitik untuk kapal material aluminium EN AC-43100(AISi10Mg(b)) dalam kondisi beban induksi gelombang ditunjukkan pada Tabel 3. Selisih perhitungan keduanya relatif kecil, sehingga dianggap bahwa harga keduanya tidak beda jauh (kurang dari 5%) dalam perhitungannya. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan numerik ini relative dapat teruji kebenarannya sehingga dapat digunakan sebagai prediksi tegangan pada tempat lain dari kapal aluminium ini.

Tabel 3. Selisih hasil perhitungan tegangan normal antara FEM dan Analitik(kekuatan memanjang kapal)

Posisi	FEM (ANSYS)	Analitik (Euler Beam)	Selisih %
Konstruksi Alas	19,6 MPa	20,1 MPa	2,49
Dek Utama	17,5 MPa	18.1 MPa	3,31

### KESIMPULAN

Dari hasil pemodelan numerik kapal patroli berbahan aluminum jenis EN AC-43100(AISI10Mg(b)) terlihat bahwa tegangan normal yang terjadi pada kondisi beban gelombang pada kapal masih jauh berada di bawah kuat tarik dari material hal ini menunjukkan bahwa material ini mempunyai potensi penggunaan pada kapal dimana dapat menambah perbendaharaan bahan kapal alternatif untuk jenis logam aluminum.

### DAFTAR PUSTAKA

- BKI Volume V Edisi 2009 Section 10  
 Rawson KJ, Tupper EC, "Basic Ship Theory vol 1, 2001, Structural Design and analysis," Butterworth - Heinemann  
 Sielski.RA, Taylor P, 2008, 'Predicting the Failure of Aluminum Exposed to Simulated Fire and Mechanical Loading Using Finite Element Model', Journal of Offshore and Arctic Engineering, 3(1), pp57-65  
 Tjahjanti P.H, Darminto, Panunggal Eko, Nugroho W.H , 2013, "Numerical Modeling of Ship Composite-Based on Aluminum Casting as Alternative Materials for Ship Building, International Symposium on Mechanical and Maritime Engineering (accepted)  
 Tjahjanti P.H, Darminto, Panunggal Eko, Nugroho W.H, 2012, *Sifat Mampu Las Material Komposit EN AC-43100 (AISI10Mg(b))+SiC\*/15p Dilihat dari Hasil Uji Mekaniknya*, Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) ISSN 1411-9471 Volume 12, nomor 1 Januari 2012 Halaman: 38-45.