

# Analisa Pengaruh Variasi Jarak Gading Terhadap Lenturan dan Tegangan Pada Pelat Sisi dengan Metode Elemen Hingga

Teguh Putranto, Asjhar Imron

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

*E-mail:* aimron@na.its.ac.id

**Abstrak**—Pelat berpenegar pada ponton yang terletak diantara 2 sekat kedap air dengan beberapa kondisi batas dianalisa menggunakan metode elemen hingga dan metode beda hingga. Gaya hidrostatik yang bekerja diambil dari gaya per satuan luas yang bekerja pada pelat sisi kapal sesuai dengan peraturan BKI. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa perbedaan lenturan relatif kecil antara kedua metode pada jumlah elemen yang besar. Analisa dilakukan dengan variasi jarak penegar. Lenturan paling besar terjadi pada jarak gading 0.8 m dan jarak sekat 3 kali jarak gading besar, sedangkan lenturan paling kecil terjadi pada jarak gading 0.65 m dan jarak sekat 2 kali jarak gading besar. Analisa dilakukan pada variasi kondisi batas. Tumpuan sederhana lebih konservatif dari pada tumpuan jepit. Tegangan yang dihasilkan oleh Metode Elemen Hingga dengan kondisi batas jepit-sederhana selalu lebih kecil dari tegangan izin dari Biro Klasifikasi Indonesia pada setiap variasi jarak gading.

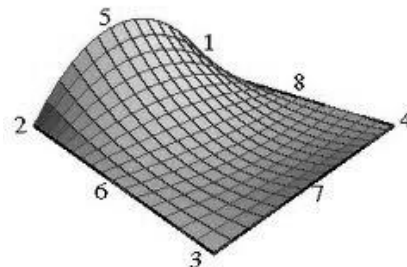
**Kata Kunci**—Metode Beda Hingga, Metode Elemen Hingga, Gaya Hidrostatik

## I. PENDAHULUAN

Metode elemen hingga adalah salah satu metode perhitungan untuk menyelesaikan masalah struktur. Metode ini dapat digunakan untuk penyelesaian persamaan diferensial dalam bidang fisika meskipun penyelesaiannya tanpa perlu menggunakan persamaan diferensial tersebut. Pada kasus geometri, kondisi batas, pembebanan, dan penyelesaian eksak lenturan pelat sulit untuk diterapkan dalam praktek. Pendiskritisasi elemen menjadi lebih kecil dan pemilihan fungsi polinomial menjadi inti dalam metode ini. Dari proses ini akan diperoleh sistem persamaan linier simultan, yang pemecahannya menghasilkan distribusi translasi arah Z dan rotasi dalam arah X dan Y, sehingga dapat ditentukan besar lenturan maksimum pada pelat datar.

Pada kasus ini, dibahas tentang besar lenturan dan konsentrasi tegangan pada pelat sisi akibat beban sisi dan variasi jarak gading. Suatu pelat berpenegar memiliki kekakuan yang disebabkan oleh penegar. Penegar pada pelat berfungsi sebagai penguat sehingga momen inersia struktur yang berpenegar akan menjadi lebih besar. Hal ini akan mempengaruhi besar lenturan dan konsentrasi tegangan pada pelat sisi. Selain itu, dimensi penegar yang digunakan adalah salah satunya fungsi dari jarak penegar. Variasi jarak penegar akan mengakibatkan perbedaan ukuran dimensi penegar yang

digunakan pada tiap-tiap jarak gading.



Gambar 1. Analisa deformasi pelat

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan besar lenturan dan konsentrasi tegangan, membandingkan hasil lenturan antara Metode Elemen Hingga dengan Metode Beda Hingga, membandingkan antara tegangan dari metode elemen hingga dengan tegangan izin dari Biro Klasifikasi Indonesia, dan menentukan kekonservatifan antara tumpuan jepit dengan tumpuan sederhana.

Penelitian tentang analisa lenturan dengan metode elemen hingga dengan metode beda hingga sudah pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Analisa dilakukan pada pelat alas kapal dengan tekanan konstan pada bidangnya. Pada penelitian kali ini, analisa dilakukan pada pelat sisi dengan tekanan yang berubah-ubah pada bidangnya. Penentuan *nodal load equivalent* menjadi *point* penting untuk menyelesaikan dengan metode elemen hingga.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi metode untuk penyelesaian pelat berpenegar pada tekanan berubah-ubah dalam menentukan lenturan dan konsentrasi tegangan dengan metode elemen hingga.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Analisa lenturan antara metode elemen hingga dan metode beda hingga pernah dilakukan oleh peneliti lainnya. Hal yang dibahas adalah faktor-faktor yang mempengaruhi lendutan dan jumlah elemen yang digunakan. Metode Elemen Hingga dengan menggunakan *finite element package* dan metode beda hingga dengan dibantu oleh *visual basic* dalam pembuatan programnya. Kondisi batas yang digunakan pada penelitian tersebut adalah tumpuan jepit dan sederhana. Pembebanan

dilakukan pada pelat alas yang mana beban tersebut konstan terhadap luas alas [1].

Penelitian menggunakan pembebanan kurva yang mana pembebanan ini akan ditransformasikan ke pembebanan segitiga. Pembebanan kurva ini berubah-ubah pada luas. Hal ini disebabkan karena pelat sisi pada kapal dikenai oleh gaya hidrostatik yang mana gaya tersebut adalah fungsi dari ketinggian. Untuk kondisi tumpuan, penelitian ini memakai kondisi tumpuan jepit di alas dan geladak, tumpuan sederhana di sekat, Tumpuan sederhana di setiap sisi. Hal ini akan menunjukkan kekonservatifan hasil lenturan dan tegangan akibat variasi tumpuan. Penelitian ini membahas perbandingan antara hasil tegangan yang didapatkan dari Metode Elemen Hingga dengan tegangan izin dari Biro Klasifikasi Indonesia. Pembagian elemen menggunakan elemen segiempat karena memiliki 4 node pada setiap elemennya [2].

Analisa penentuan elemen merupakan alternatif untuk mendefinisikan suatu penegar. Penelitian ini membahas tentang pendefinisian suatu penegar pada pelat yang diasumsikan oleh suatu garis yang memiliki kekakuan sama dengan penegar tersebut. Pendefinisian penegar tersebut telah diterapkan pada *software* NISA. Pemodelan ini dapat membantu permasalahan pada suatu pelat berpenegar atau lebih dikenal dengan sifat ortotropis pelat. Pada penelitian ini, digunakan pendefinisian pelat pada *finite element software* dengan suatu garis yang kaku. Hal ini mempermudah pemodelan dan mengurangi *missing model* pada penelitian ini. Elemen segiempat adalah bentuk elemen yang digunakan pada penelitian ini [3].

### III. DASAR TEORI

Penyelesaian dengan metode elemen hingga dilakukan dengan cara sebagai berikut :

Pembagian elemen disesuaikan dengan jarak gading dan jarak sarat. Pelat dibatasi oleh jarak sekat 2 kali jarak gading besar maka pembagian elemennya dimulai dari 10x8, 20x16, 30x24, 40x32, dan 50x40. Pelat dibatasi oleh jarak sekat 3 kali jarak gading besar maka pembagian elemennya dimulai dari 15x8, 30x16, 45x18, 60x32, dan 75x40.

Penentuan *Nodal Load Equivalent* atau gaya simpul di setiap titik [4].

$$F_i = \iint p(x) f_i(x, y) dx dy \quad (1)$$

dengan :

$F_i$  : Gaya atau momen pada setiap titik.

$p(x)$  : beban tekanan

$f_i(x, y)$  : konstanta dari persamaan lenturan

Untuk menentukan  $f_i(x, y)$  harus diketahui persamaan lenturan pelat [5].

$$w(x, y) = c_1 + c_2x + c_3y + c_4x^2 + c_5xy + c_6y^2 + c_7x^3 + c_8x^2y + c_9xy^2 + c_{10}y^3 + c_{11}x^3y + c_{12}xy^3 \quad (2)$$

Persamaan lenturan pelat di atas, dapat dilihat dengan jelas dengan menggunakan segitiga pascal.

$$\begin{matrix} & & & & 1 \\ & & & x & y \\ & & x^2 & xy & y^2 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} & & x^3 & x^2y & xy^2 & y^3 \\ & x^4 & x^3y & x^2y^2 & xy^3 & y^4 \end{matrix}$$

Penyelesaian dengan metode beda hingga dimulai dari penentuan jumlah elemen dilakukan dengan cara yang sama pada metode elemen hingga. Penentuan persamaan diferensial pelat ortotropis [6].

$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2B \frac{\partial^4 w}{\partial^2 x \partial^2 y} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p_z(m, n) \quad (3)$$

Penyelesaian persamaan diferensial pelat ortotropis ini dengan menggunakan metode numerik [3].

$$\left( \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} \right)_{m,n} \cong \frac{1}{\lambda^4} (w_{m+2,n} - 4w_{m+1,n} + 6w_{m,n} - 4w_{m-1,n} + w_{m-2,n}) \quad (4)$$

$$\left( \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right)_{m,n} \cong \frac{1}{\lambda^4} (w_{m,n+2} - 4w_{m,n+1} + 6w_{m,n} - 4w_{m,n-1} + w_{m,n-2}) \quad (5)$$

$$\left( \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} \right)_{m,n} \cong \frac{1}{\lambda^4} \left( 4w_{m,n} - 2(w_{m+1,n} + w_{m-1,n}) + w_{m,n+1} + w_{m,n-1} + w_{m+1,n-1} + w_{m-1,n-1} \right) \quad (6)$$

Penentuan ukuran profil penegar dengan menggunakan peraturan dari Biro Klasifikasi Indonesia [7].

Modulus gading biasa :

$$W = n.c.a.l^2 . c_r . p_s . k \quad (7)$$

Modulus gading besar :

$$W = 0,55.e.l^2 . p_s . k.n \quad (8)$$

Untuk beban sisi,  $p_s$  digunakan persamaan :

Beban statis di bawah garis air :

$$p_s = 10(T - Z) + p_0 . c_F \left( 1 + \frac{Z}{T} \right) \quad (9)$$

$$p_s = 10(T - Z) + p_{01} \left[ 1 + \frac{Z}{T} \left( 1 + \frac{Z}{T} \right) \right] . 2 \cdot \left( \frac{y}{B} \right) \quad (10)$$

Beban statis di atas garis air :

$$p_s = \frac{20 . p_0 . c_F}{(10 + Z - T)} \quad (11)$$

$$p_s = 20 . p_{01} . \frac{|y|}{(5 + z - T)B} \quad (12)$$

Persamaan beban di atas diambil nilai yang terbesar pada beban di atas garis air dan beban di bawah garis air.

### IV. METODOLOGI

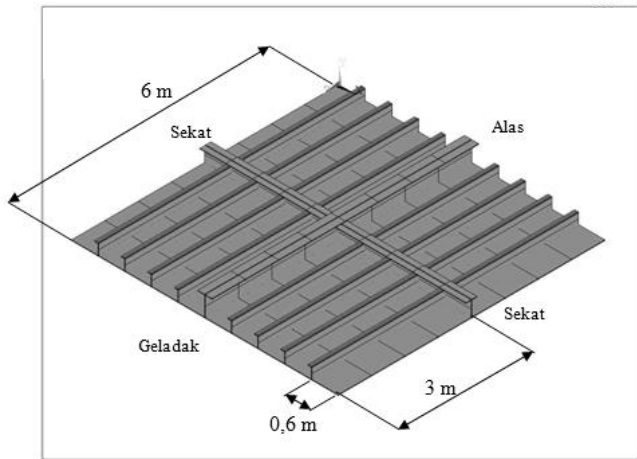
Pada kasus ini, suatu pelat berpenegar dan dibatasi oleh jarak sekat serta jarak alas dan geladak. Pelat tersebut dibagi menjadi beberapa elemen sesuai dengan jarak penegarinya dan jarak saratnya. Ukuran profil penegar menggunakan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia dan tebal pelat diambil 12 mm.

Hasil lenturan didapatkan dari Metode Elemen Hingga dan Metode Beda Hingga. Metode Elemen Hingga dibantu oleh *software of finite element*, sedangkan metode beda hingga dibantu oleh excel.

Metode elemen hingga dimulai dari penentuan jumlah elemen ditentukan oleh pembagian elemen. Penomoran titik ditentukan untuk menentukan beban simpul dan lenturan yang

terjadi. Beban simpul terdiri dari gaya dan momen. Setiap titik memiliki 3 derajat kebebasan.

Metode beda hingga dimulai dari penentuan jumlah elemen yang ditentukan oleh pembagian elemen. Pembagian elemen ini sama dengan pembagian elemen pada metode elemen hingga. Penomoran jaringan antara metode elemen hingga dengan metode beda hingga terdapat perbedaan pada daerah tumpuannya. Metode elemen hingga daerah tumpuannya diberi nomor sedangkan metode beda hingga daerah tumpuannya tidak diberi nomor tetapi diberi nomor fiktif/khayal pada luar daerah tumpuan.



Gambar 1. Model pelat dengan *finite element software*.

Sistem tumpuan dianalisa tumpuan jepit pada alas dan geladak, serta tumpuan sederhana pada sekat, tumpuan sederhana pada setiap sisi. Tumpuan jepit pada alas dan geladak digunakan pada analisa lenturan antara metode elemen hingga dengan metode beda hingga dan menentukan lenturan dan tegangan maksimum.

Jarak sekat divariasikan, jarak sekat 2 kali jarak gading besar dan jarak sekat 3 kali jarak gading besar.

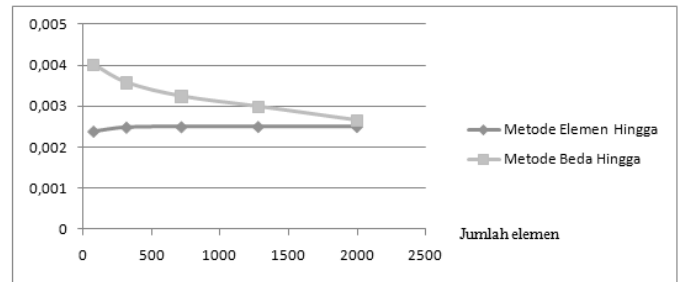
Hasil Tegangan yang didapatkan dari metode elemen hingga dibandingkan dengan tegangan izin dari Biro Klasifikasi Indonesia. Tegangan izin dari Biro Klasifikasi Indonesia diambil 180 MPa. Hasil tegangan dari tumpuan jepit-jepit dibandingkan dengan tumpuan sederhana-sederhana untuk menentukan kekonservatifan lenturan dan tegangan dari perbedaan tumpuan tersebut.

V. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, diambil kapal ponton dengan ukuran sebagai berikut :

- L = 102,626 m
- B = 30,48 m
- T = 4,5 m
- H = 6 m
- Cb = 0,9

Hasil lenturan yang diperoleh dari metode elemen hingga dan metode beda hingga pada masing-masing jumlah elemen dapat dilihat pada Grafik 1.



Grafik 1. Besat lenturan pada jarak gading 0.65 m dan jarak sekat 2 kali jarak gading besar.

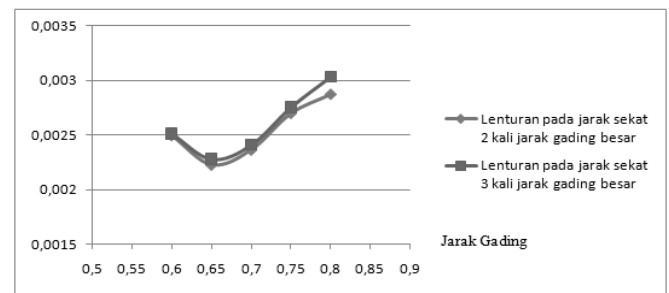
Besar Lenturan dan Konsentrasi Tegangan pada setiap jarak gading dapat dilihat pada Grafik 2 dan 3 (tumpuan jepit pada alas dan geladak, tumpuan sederhana pada sekat).

Tabel 1. Besar lenturan dan tegangan pada jarak sekat 2 kali jarak gading besar.

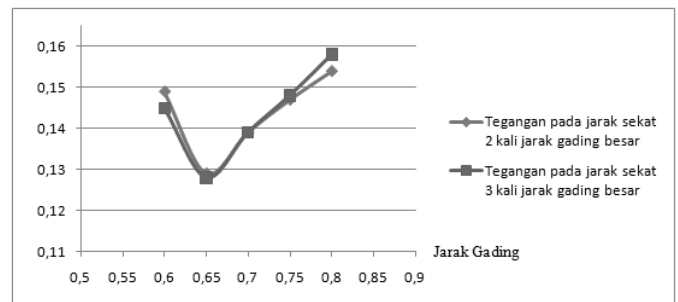
No.	Jarak Gading	Lenturan max. (m)	Tegangan max. (GPa)
1	0.6	0.002499	0.149
2	0.65	0.002230	0.144
3	0.7	0.002367	0.139
4	0.75	0.002701	0.147
5	0.8	0.002875	0.154

Tabel 2. Besar lenturan dan tegangan pada jarak sekat 3 kali jarak gading besar.

No.	Jarak Gading	Lenturan max. (m)	Tegangan max. (GPa)
1	0.6	0.002514	0.145
2	0.65	0.002282	0.131
3	0.7	0.002411	0.139
4	0.75	0.002754	0.148
5	0.8	0.003032	0.158



Grafik 2. Besar lenturan pada setiap jarak gading



Grafik 3. Besar tegangan pada setiap jarak gading

Hasil lenturan dan konsentrasi pada jarak gading 0.65 dan 0.8 m dibandingkan dengan tegangan izin dari Biro Klasifikasi Indonesia. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4

(tumpuan jepit pada alas dan geladak, tumpuan sederhana pada sekat).

Tabel 3. Tegangan pada jarak gading 0.65 m

	Tegangan dari FEM (GPa)	Tegangan izin (GPa)	Rasio
Jarak sekat 2 kali jarak gading besar	0,144	0,180	0,800
Jarak sekat 3 kali jarak gading besar	0,131	0,180	0,727

Tabel 4. Tegangan pada jarak gading 0.8 m

	Tegangan dari FEM (GPa)	Tegangan izin (GPa)	Rasio
Jarak sekat 2 kali jarak gading besar	0,158	0,180	0,877
Jarak sekat 3 kali jarak gading besar	0,154	0,180	0,855

Pengaruh jenis tumpuan dianalisa untuk mengetahui kekonservatifan tegangan yang terjadi. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 5 (tumpuan sederhana pada setiap sisi).

Tabel 5. Tegangan pada jarak gading 0.65 m

	Tegangan dari FEM (GPa)	Tegangan izin (GPa)	Rasio
Jarak sekat 2 kali jarak gading besar	0,201	0,180	1,116
Jarak sekat 3 kali jarak gading besar	0,177	0,180	0,983

Tabel 5 dapat dibandingkan dengan Tabel 3, tegangan pada tumpuan sederhana lebih besar dari pada tegangan pada tumpuan jepit-sederhana.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisa didapatkan beberapa kesimpulan adalah sebagai berikut :

1. Pada jarak sekat 2 kali maupun 3 kali jarak gading besar, lenturan terbesar terjadi pada jarak gading 0.8 m dan lenturan terkecil terjadi pada jarak gading 0.65 m.
2. Faktor-faktor yang mempengaruhi besar lenturan antara lain, modulus elastisitas, ukuran profil dan tebal pelat, sistem konstruksi, dan jenis tumpuan yang dipakai.
3. Metode elemen hingga dan metode beda hingga menghasilkan besar lenturan yang relatif sama pada jumlah elemen besar.
4. Tumpuan sederhana pada semua sisi lebih konservatif dibandingkan dengan tumpuan campuran (jepit-sederhana). Hal ini dapat dibuktikan pada pengujian antara kondisi batas campuran (jepit-sederhana) dengan kondisi batas sederhana di semua sisi.

Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat meneliti variasi tumpuan dan membandingkan antara perhitungan lenturan dan tegangan pada kondisi model seluruhnya dengan model sebagian.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah membimbing penelitian ini sampai terbitnya jurnal ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] L.A. Wibowo, *Analisa Pengaruh Jarak Penegar Terhadap Besar Lenturan dengan Metode Beda Hingga*, Jurusan Teknik Perkapalan ITS, Surabaya (2010).
- [2] N. Xuan, T. Rabczuk S. Bordas, J.F. Debongni, *A Smoothed Finite Element Method For Plate Analysis*, Mechanical Engineering, University of Canterbury, (2008).
- [3] S. Kumar, M. Mukhopadhy, *Finite Element Analysis of Ship Structure Using A New Stiffened Plate Element*, Departement of Ocean Engineering and Naval Architecture, Indian Institute of Technology, Kharagpur 721 302, India (2000).
- [4] T.Y. Yang, *Finite Element Structural Analysis*, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs (1986).
- [5] R. Szilard, *Teori dan Analisis Pelat Metode Klasik dan Numerik*, PT. Gelora Aksara Pratama. Jakarta (1974).
- [6] S.P. Timoshenko, K.S. Woinowsky, *Theory of Plate and Shells*, Mcgraw-Hill Publishing Co. (1959).
- [7] B.K. Indonesia, *Rules For The Clasification And Construction Of Seagoing Steel Ships*, Biro Klasifikasi Indonesia, Jakarta (2004).