

Analisis Efek *Slamming* terhadap Kekuatan Konstruksi Haluan Lambung Kapal Patroli Menggunakan Metode Elemen Hingga

Omahira Al Kahfi Satrio Samudro, Achmad Zubaydi, dan Rizky Chandra Ariesta
Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: Zubaydi@na.its.ac.id

Abstrak—Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui probabilitas *deck wetness*, nilai beban *slamming*, dan pengaruh dari beban *slamming* terhadap konstruksi haluan lambung kapal patroli. Analisis dilakukan dengan sepuluh variasi kecepatan yaitu tiga secara dinamis untuk validasi nilai: (1) 8 knot, (2) 10 knot, (3) 12 knot dan tujuh secara empiris: (4) 8 knot, (5) 10 knot, (6) 12 knot, (7) 17 knot, (8) 20 knot, (9) 22 knot, dan (10) 24 knot. Analisis dinamis dilakukan menggunakan *software* Ansys Aqwa. Sedangkan, analisis empiris dilakukan dengan pendekatan dari Bhattacharya (1978). Dari analisis tersebut didapatkan nilai probabilitas *deck wetness* 0.000 untuk (4), 0.000 untuk (5), 0.000 untuk (6), 1.884 untuk (7), 5.433 untuk (8), 7.131 untuk (9), dan 11.64 untuk (10). Kemudian didapatkan nilai beban *slamming* sebesar 571.09 MPa untuk (1), 728.93 MPa untuk (2), 866.56 MPa untuk (3), 383.20 MPa untuk (4), 484.42 MPa untuk (5), 567.85 MPa untuk (6), 734.14 MPa untuk (7), 975.71 MPa untuk (8), 1135.58 MPa untuk (9), dan 1296.55 MPa untuk (10). Ditemukan bahwa nilai *bottom pressure* kapal untuk semua kecepatan masih memenuhi regulasi BKI yaitu sebesar 1395.60 MPa. Kemudian dilakukan analisis dengan *software* elemen hingga dan ditemukan nilai deformasi 1.02 mm untuk (4), 1.29 mm untuk (5), 1.51 mm untuk (6), 1.95 mm untuk (7), 2.59 mm untuk (8), 3.02 mm untuk (9), dan 3.44 mm untuk (10). Ditemukan juga nilai tegangan 65.84 MPa untuk (4), 83.23 MPa untuk (5), 97.56 MPa untuk (6), 126.13 MPa untuk (7), 167.63 MPa untuk (8), 195.1 MPa untuk (9), dan 222.73 MPa untuk (10).

Kata Kunci—*Slamming*, *Deck Wetness*, Deformasi, Tegangan.

I. PENDAHULUAN

PADA abad ke-19, pengembangan kapal cepat terjadi dengan adanya pengaplikasian mesin uap pada kapal besar. Mesin yang lebih kecil dan efisien serta pengembangan mesin diesel juga mempengaruhi produksi kapal cepat. Kompetisi kecepatan dipimpin oleh Inggris dengan kapal "Turbinia" yang memiliki kecepatan 34 knot [1].

Kapal cepat memiliki bentuk lambung V yang mempengaruhi kekuatan struktur. Kecepatan tinggi kapal menyebabkan perbedaan momen inersia dan tegangan, yang menghasilkan umur kelelahan struktur yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh beban yang berulang saat kapal cepat berlayar.

Kapal cepat menghadapi dua fenomena, yaitu *porpoising* dan *slamming*. *Porpoising* adalah gerakan naik turun dinamis kapal di permukaan air, menciptakan beban yang berbeda saat beroperasi. *Slamming* terjadi saat bagian haluan kapal muncul dan tenggelam. Fenomena tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada struktur kapal karena beban tinggi yang menyebabkan tegangan bending besar pada penumpu lambung. Analisis oleh Hui Sun dan O.M. Faltinsen (2007) mengenai *porpoising* dan perilaku dinamis kapal planing menunjukkan bahwa perhitungan beban pada *porpoising*

lebih kompleks daripada perhitungan beban *slamming*. Perhitungan beban *slamming* dapat menggunakan pendekatan statistik, sementara *porpoising* memerlukan input getaran sebelum menghitung beban pada lambung. Oleh karena itu, saat ini, perhitungan tegangan struktur pada kapal cepat lebih fokus pada beban *slamming*. Penting untuk memastikan bahwa beban yang terjadi memenuhi batas tegangan yang ditetapkan oleh kelas kapal [2].

Analisis pengaruh *slamming* pada kapal cepat, terutama kapal patroli di perairan Indonesia, diperlukan mengingat popularitas kapal patroli sebagai tipe kapal cepat yang paling sering digunakan di Indonesia. Analisis ini akan fokus pada efek *slamming* terhadap struktur lambung kapal patroli yang beroperasi di perairan Indonesia. Tujuannya adalah untuk memahami cara memodelkan efek *slamming* dan menentukan nilai beban yang terjadi pada lambung kapal. Analisis ini akan difokuskan pada bagian haluan lambung, di mana efek *slamming* diperkirakan paling signifikan dibandingkan dengan bagian lambung lainnya.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Dinamika Kapal

Saat kapal berlayar, kapal akan mengalami gerakan vertikal sepanjang kapal dengan gerakan harmoni sederhana. Gerakan vertikal ini adalah gerakan *heave* dan *pitch*. Dimana gerakan *heave* dan *pitch* ini berpusat pada titik berat kapal itu sendiri. Persamaan *heaving* dan *pitching* sebagai fungsi ditunjukkan oleh Persamaan (1) dan (2) berikut:

Heave:

$$z = z_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_z) \quad (1)$$

Pitch:

$$\theta = \theta_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_\theta) \quad (2)$$

Gerakan vertikal pada sepanjang kapal akan berbeda-beda. Hal ini terjadi karena terjadinya gerakan *heave* dan *pitch* bersamaan. Gerakan ini dinamakan *coupled heaving and pitching motion*. Menurut Bhattacharyya (1978), gerakan vertikal sepanjang kapal dirumuskan seperti Persamaan (3) [3].

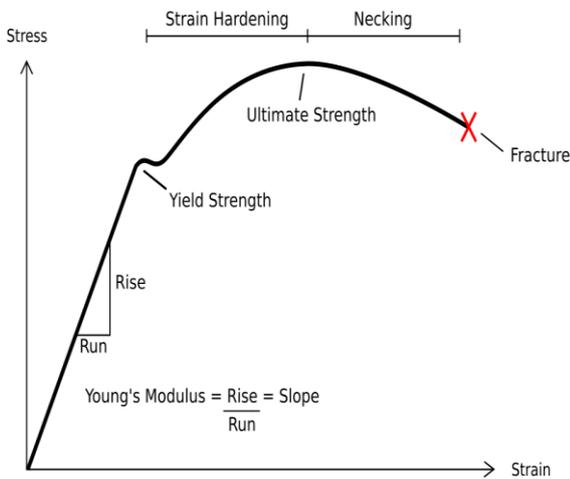
$$z_b = z + \xi \sin \theta \quad (3)$$

Dimana:

- z_b : vertical motion
- z : heaving motion
- ξ : jarak section terhadap CG
- θ : pitching motion

B. Gelombang Irregular

Gelombang laut yang tidak teratur adalah kombinasi



Gambar 1. Grafik Tegangan Regangan Material.

gelombang-gelombang acak dengan frekuensi, tinggi, dan fase yang berbeda. Pendekatan statistik digunakan untuk mempelajari perilaku gelombang ini, memungkinkan representasi kondisi sebenarnya.

Dalam merencanakan struktur bangunan laut, informasi karakteristik gelombang diperlukan. Namun, tidak semua wilayah laut memiliki data pengamatan gelombang yang lengkap. Dalam perancangan struktur, seringkali digunakan data lingkungan yang dianggap mewakili kondisi operasi, atau menggunakan rumus spektrum gelombang yang dikembangkan oleh institusi seperti Pierson & Moskowitz, Bretschneider, Ochi & Hubble, Jonswap, ITTC & ISSC spectrum, dan lainnya.

C. Response Amplitude Operator

Response Amplitude Operator (RAO) juga disebut sebagai gerakan suatu struktur pada gelombang regular. RAO adalah fungsi dari amplitude gerakan struktur terhadap amplitude gelombang. Banyak cara untuk mengetahui RAO, mulai dari tes menggunakan model di *towing tank*, pendekatan empiris maupun analitis baik secara manual ataupun menggunakan program tertentu.

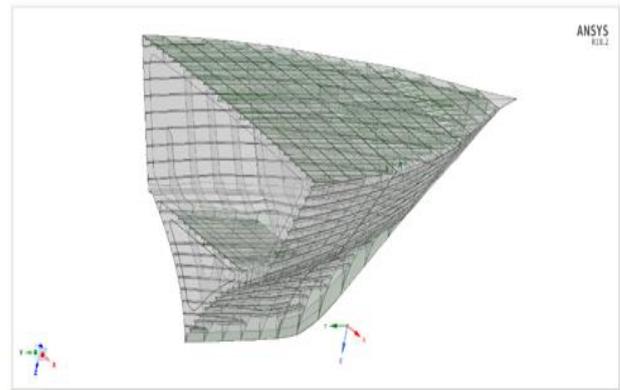
Persamaan kurva RAO terdiri dari koefisien *added mass*, *damping*, dan *restoring*. Pada kondisi gelombang regular, gaya – gaya yang mengenai badan kapal terdiri dari: (i) Gaya Froude Krylov, beban gelombang yang mengenai badan kapal yang tercelup, (ii) Gaya Difraksi, beban yang dipengaruhi oleh gelombang ketika kapal beroperasi.

D. Bottom Slamming

Slamming terjadi ketika kapal mengalami beban yang tiba-tiba dan berlangsung dalam waktu singkat. Hal ini disebabkan oleh perbedaan fase antara struktur kapal dan gelombang laut. Menurut Bhattacharyya (1978), *slamming* akan terjadi bilamana 2 (dua) syarat berikut terpenuhi [3]:

1. Dasar haluan naik melewati (*emerge*) gelombang, atau dengan kata lain gerakan relatif vertikal haluan melampaui sarat air bagian haluan ($z_b > T_b$).
2. Kecepatan relatif vertikal haluan mempunyai harga yang melewati harga kecepatan ambang batas *slamming* atau *threshold velocity*.

Besarnya tekanan yang terjadi pada dasar kapal di haluan akibat adanya *slamming* dapat dihitung dengan



Gambar 2. Hasil Pemodelan Haluan Lambung Kapal.

mempertimbangkan kecepatan relatif vertikal haluan ekstrim V_{br} , yaitu seperti Persamaan (4) [3]:

$$P_s = \frac{1}{2} \rho k V_{br}^2 (kPa) \tag{4}$$

Dimana:

- P_s : beban *slamming*
- ρ : massa jenis fluida
- k : koefisien *slamming*
- V_{br} : kecepatan relatif vertikal haluan ekstrim.

E. Tegangan dan Regangan

Konsep dasar dari mekanika adalah tegangan normal dan regangan normal. Konsep ini biasanya diilustrasikan dengan model yang mendasar dengan meninjau batang yang mengalami gaya aksial. Peninjauan ini dilakukan dengan asumsi bahwa tegangan terbagi rata di seluruh potongan melintang.

Untuk mengetahui kekuatan suatu material, dilakukanlah pengujian tarik dengan spesimen dari material yang akan diuji. Sehingga didapatkan hubungan tegangan dan regangan seperti pada Gambar 1.

F. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan pendekatan empiris yang digunakan untuk memecahkan berbagai masalah dalam bidang teknik dan matematika fisika. Beberapa contoh masalah yang sering diselesaikan menggunakan metode elemen hingga meliputi analisis struktur, transfer panas, aliran fluida, transportasi massa, dan potensi elektromagnetik [4].

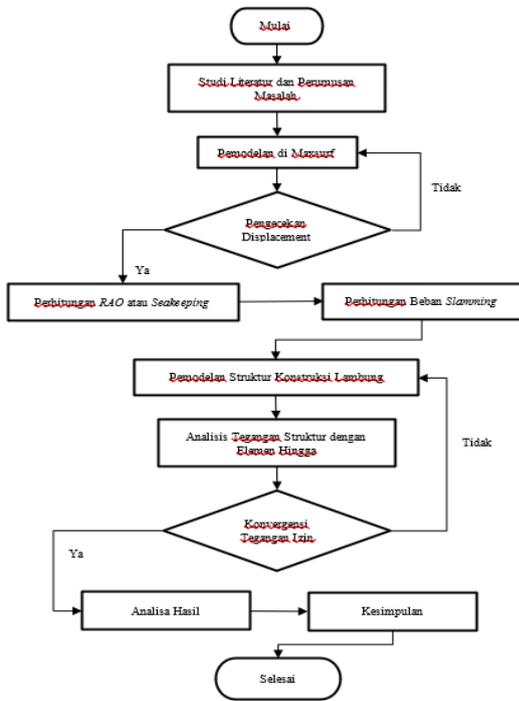
Menurut Tawekal (2010), berdasarkan metode kekakuan, langkah umum metode elemen hingga bisa diuraikan dalam 8 langkah, yaitu [5]:

1. Pembagian dan pemilihan jenis elemen.
2. Pemilihan fungsi perpindahan.
3. Tentukan hubungan *strain/displacement* dan *stress/displacement*.
4. Penurunan matrik dan persamaan kekakuan elemen seperti dalam Persamaan (5).

$$\{f\} = [k]\{d\} \tag{5}$$

dimana:

- $\{f\}$ = vektor gaya pada titik simpul
 - $[k]$ = matrik kekakuan elemen
 - $\{d\}$ = vektor perpindahan titik simpul
5. Penggabungan persamaan elemen untuk mendapatkan persamaan global/total dan penetapan syarat batas.



Gambar 3. Diagram Alir.

6. Penyelesaian persamaan global.
7. Penyelesaian regangan dan tegangan elemen.
8. Interpretasi hasil

III. METODOLOGI

A. Bagan Alir

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis efek *slamming* terhadap kekuatan konstruksi haluan lambung kapal patroli menggunakan metode elemen hingga. Perhitungan dilakukan dengan metode empiris dan menggunakan *software*. Sedangkan, pemodelan maupun simulasi dilakukan menggunakan *Software* elemen hingga. Secara garis besar proses pengerjaan dijelaskan pada diagram alir pada Gambar 3.

B. Tahap Pengerjaan

Adapun tahapan-tahapan yang dilalui dalam penelitian ini, yaitu:

1) Studi Literatur

Dalam proses ini dilakukan studi literatur yang bertujuan untuk merumuskan masalah yang berkaitan dengan penelitian yang akan dianalisis.

2) Pemodelan di Maxsurf

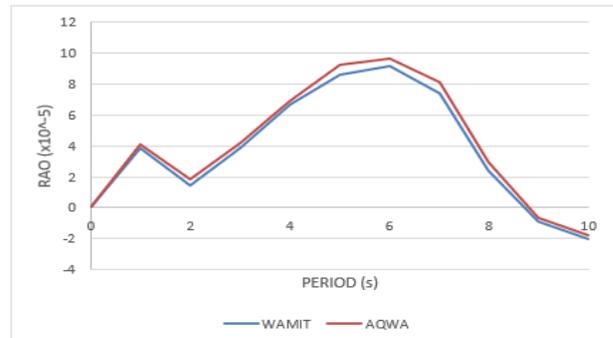
Model dibuat dengan *maxsurf modeler* yang dibuat dari data *engineering drawing* dan data kapal yang telah dikumpulkan.

3) Pengecekan Displacement

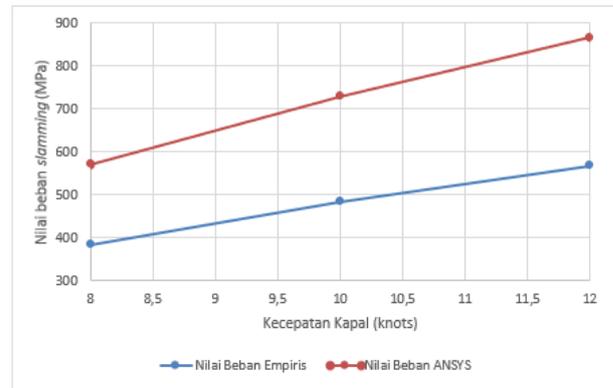
Model yang telah dibuat akan dilakukan pengecekan nilai dari *displacement* dari *maxsurf* dengan kapal yang asli.

4) Perhitungan RAO atau Seakeeping

Sebelum dilakukannya perhitungan *slamming*, dilakukan perhitungan RAO kapal. Tahap perhitungan empiris ini dimulai dengan perhitungan gelombang, *encounter frequency*, *relative bow motion*, luasan spektrum gelombang, dan *deck wetness*.



Gambar 2. Perbandingan RAO Rolling antara Aqwa dan WAMIT.



Gambar 3. Grafik Nilai beban Ansys dengan Empiris.

5) Perhitungan Beban Slamming

Beban *slamming* dihitung menggunakan metode empiris dan *software* Ansys Aqwa. Perhitungan ini dilakukan untuk menunjukkan perbedaan dan validasi nilai perhitungan secara statis dan dinamis.

6) Pemodelan Struktur Konstruksi Lambung

Pemodelan konstruksi Haluan lambung kapal dilakukan dengan *software space claim*. Pemodelan dilakukan dari 0.7 sampai 1 dari LOA kapal. Pemodelan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

7) Analisis Tegangan Struktur Kapal

Tahap ini dilakukan analisis elemen hingga untuk memastikan model yang dibuat sudah baik dan bisa dilakukan proses *running*. Proses ini dilakukan dengan *software ansys static structural* dengan beban *pressure* yang sudah didapatkan dari perhitungan sebelumnya.

8) Konvergensi

Konvergensi dilakukan untuk mendapatkan ukuran elemen yang efisien tapi tetap menghasilkan nilai yang valid dalam analisa. Hal ini dilakukan dengan ukuran *mesh* yang berbeda-beda hingga ditemukan nilai elemen yang sesuai.

9) Analisa Hasil

Proses ini dilakukan tahap analisa dari *slamming* yang terjadi pada konstruksi Haluan lambung kapal. Pada analisa ini didapatkan nilai tegangan dan regangan yang akan dicek nilainya dengan perhitungan dari Biro Klasifikasi Indonesia.

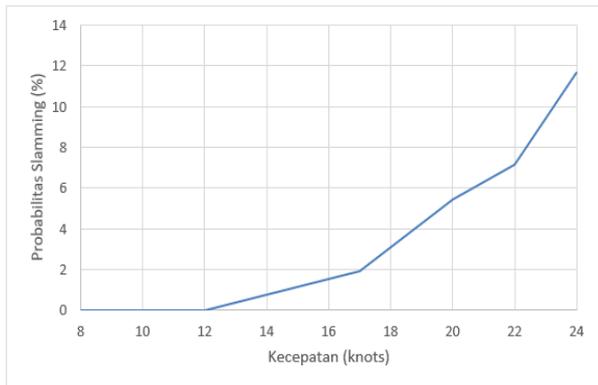
IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Validasi RAO Box Ansys Aqwa dengan RAO Box WAMIT

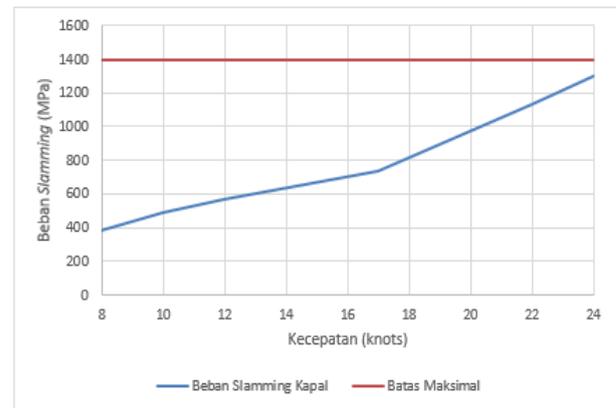
Proses validasi dilakukan dengan cara dibandingkannya RAO *box* dari Ansys Aqwa dengan WAMIT. Proses ini

Tabel 1.
Perbandingan Nilai Beban Ansys Aqwa dan Empiris

Speed (knot)	Nilai Beban (MPa)		Beban Izin (MPa)	Keterangan		Perbedaan
	Aqwa	Empiris		Aqwa	Empiris	
8	571.10	383.20	1395.6	Accepted	Accepted	0.19689
10	728.93	484.42	1395.6	Accepted	Accepted	0.201513
12	866.56	567.85	1395.6	Accepted	Accepted	0.208245



Gambar 4. Probabilitas Slamming.



Gambar 5. Grafik Beban Slamming.

dilakukan untuk memastikan bahwa parameter input yang dimasukkan pada Ansys Aqwa sudah benar.

Proses validasi dilakukan dengan cara membandingkan RAO *box* dari Ansys Aqwa dan dengan *paper* yang berjudul ‘Hydrodynamic Analysis Comparison Study’ yang ditulis oleh McDermott. Proses validasi ini dilakukan untuk memastikan bahwa parameter *input* yang dimasukkan pada Ansys Aqwa sudah benar.

Hasil simulasi RAO *box* pada Ansys Aqwa akan dibandingkan dengan RAO WAMIT dalam paper McDermott (2000) apabila hasil RAO *box* pada Ansys Aqwa dan WAMIT telah memiliki pola yang sama atau mendekati sama maka telah valid.

Setelah dilakukan proses *running* didapatkan nilai perbandingan RAO antara Ansys Aqwa dan WAMIT yang ditunjukkan Gambar 4. Dari hasil grafik pada Gambar 4, dibuktikan bahwa nilai RAO dari Ansys Aqwa dan WAMIT sudah memiliki kesamaan dalam sifat garis. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan nilai sebesar 0.05% untuk *Rolling*, 0.11% untuk *Yaw*, dan 0.12% untuk *Heaving*. Dengan demikian, bisa dikatakan bahwa nilai dari Ansys Aqwa bisa dikatakan sudah valid.

B. Analisa Beban Slamming Empiris dengan Ansys Aqwa

Perhitungan *slamming* untuk masing-masing variasi kecepatan digunakan persamaan empiris dari Bhattacharya dan Ansys Aqwa. Perbedaan metode perhitungan digunakan guna menunjukkan validasi nilai yang didapatkan dari pendekatan secara statis dan dinamis untuk variasi yang ditentukan. Dikarenakan *software* dari Ansys Aqwa tidak bisa melakukan *running* untuk kapal di atas 12 knot, maka variasi untuk validasi nilai ini juga dirubah menjadi 8, 10, dan 12 knot. Hasil perbandingan dari kedua metode dimuat dalam Tabel 1.

Dari Tabel 1 diketahui bahwa semua beban yang dialami oleh setiap variasi masih masuk untuk desain beban yang ditentukan oleh BKI. Kemudian, ditemukan perbedaan sekitar 20% untuk variasi kecepatan yang tertera. Dikarenakan perbedaan nilai yang bisa dikatakan jauh, dibutuhkan penyajian grafik seperti Gambar 5.

Ditunjukkan pada Gambar 5 bahwa peningkatan beban untuk setiap kecepatan memiliki kenaikan nilai secara linier yang relatif sama untuk kedua metode yang digunakan. Oleh karena itu, perbedaan nilai yang jauh tadi dapat ditoleransi dan nilai dapat dikatakan valid.

C. Analisa Beban Slamming Terhadap Kecepatan

Analisa beban *slamming* terhadap kecepatan dilakukan secara keseluruhan untuk setiap variasi kecepatan. Analisa ini meliputi probabilitas *deck wetness*, pengecekan beban BKI, dan nilai beban *slamming* terhadap kecepatan. Dari perhitungan empiris, didapatkan grafik seperti pada Gambar 6.

Kemudian, dari penyajian grafik pada Gambar 7 ditunjukkan bahwa probabilitas *deck wetness* dan kecepatan memiliki hubungan yang berbanding lurus. Nilai tersebut terus naik secara eksponensial hingga mencapai titik tertinggi pada kecepatan 24 knots dengan probabilitas sebesar 11.64%. Selain itu ditemukan bahwa kenaikan nilai untuk setiap kecepatan memiliki peningkatan relatif secara linier untuk beban *slamming* yang didapatkan. Dengan demikian hubungan antara probabilitas *deck wetness*, beban *slamming*, dan kecepatan memiliki sifat yang sama yaitu berbanding lurus satu sama lain. Sehingga, jika kecepatan dari kapal meningkat maka probabilitas *deck wetness* dan beban *slamming* juga akan meningkat.

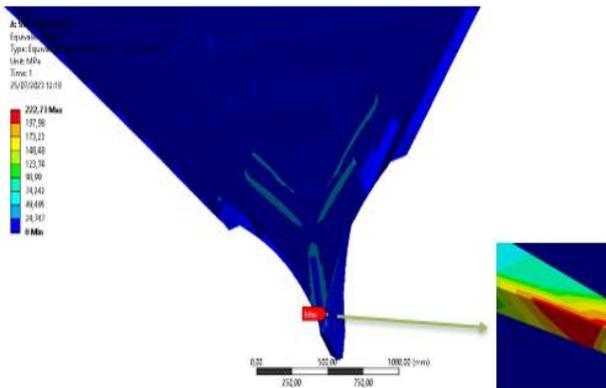
D. Analisa Nilai Tegangan dan Deformasi dari Konstruksi Haluan Kapal

Pemodelan dan perhitungan yang telah dilakukan pada lambung kapal dilakukan analisis kekuatannya berupa tegangan dan deformasi yang terjadi pada model. Adapun data yang diperoleh dari perhitungan secara keseluruhan dalam Tabel 2. Dari data dapat dijabarkan secara detail untuk setiap variasi kecepatan.

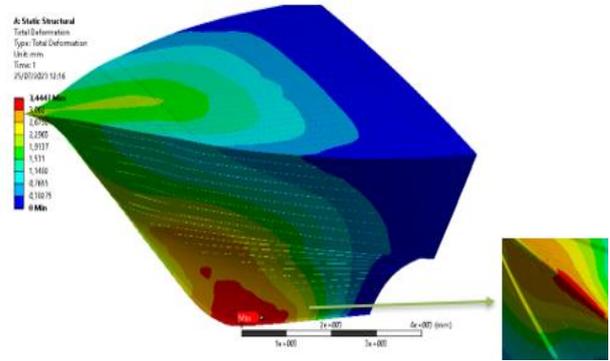
Gambar 8 menunjukkan visualisasi dari tegangan tertinggi yang dialami oleh model. Ditunjukkan bahwa tegangan tertinggi terpusat pada pembujur T *inner bottom* dengan *web frame* 57. Dari hasil analisis ditemukan bahwa adanya besar tegangan untuk kecepatan 8 knot sebesar 65.84 MPa, 10 knot

Tabel 2.
Rekapitulasi Nilai Slamming, Deformasi, dan Tegangan

Rekapitulasi Nilai Slamming					
Speed (knot)	Probabilitas deck wetness	Nilai beban (MPa)	Beban Izin BKI	Deformasi (mm)	Stress (MPa)
8	1.78E-18	383.21	Accepted	1.02	65.84
10	1.39E-10	484.42	Accepted	1.29	83.23
12	6.17E-05	567.85	Accepted	1.51	97.56
17	1.88	734.14	Accepted	1.95	126.13
20	5.43	975.71	Accepted	2.59	167.63
22	7.13	1135.58	Accepted	3.02	195.1
24	11.64	1296.55	Accepted	3.44	222.73



Gambar 7. Tegangan Von Mises Pada Kecepatan 8 knot.



Gambar 6. Deformasi Pada Kecepatan 24 knot.

sebesar 83.23 MPa, 12 knot sebesar 97.56 MPa, 17 knot 126.13 MPa, 20 knot sebesar 167.63 MPa, 22 knot sebesar 195.1 MPa, 24 knot sebesar 222.73 MPa.

Dari data yang diperoleh, didapatkan bahwa nilai dari tegangan *Von Mises* yang dialami oleh struktur kapal memiliki hubungan berbanding lurus dengan kecepatan kapal. Sedangkan, untuk lokasi tegangan tidak mengalami perubahan untuk setiap variasi kecepatan. Ditunjukkan bahwa tegangan terpusat secara konsisten pada setiap variasi yang diberikan.

Gambar 9 menunjukkan visualisasi dari lokasi deformasi tertinggi yang dialami oleh model kapal. Ditemukan bahwa deformasi dari kapal tertinggi terdapat pada pembujur *main deck* dengan *web frame 70*. Dari hasil analisis ditemukan bahwa besar deformasi untuk kecepatan 8 knot sebesar 1.02 mm, 10 knot sebesar 1.29 mm, 12 knot sebesar 1.51 mm, 17 knot sebesar 1.95 mm, 20 knot sebesar 2.59 mm, 22 knot sebesar 3.02 mm, dan 24 knot sebesar 3.44 mm.

Data yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai deformasi memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan kecepatan kapal, di mana semakin tinggi kecepatan maka deformasi akan semakin besar. Kemudian, lokasi deformasi terbesar tidak mengalami perubahan untuk setiap variasi kecepatan. Hal ini didukung oleh analisis yang hanya divariasikan bebannya saja dan tidak mengganti atau menambahkan model.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

A. Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian tentang analisa efek *slamming* terhadap kekuatan konstruksi Haluan lambung kapal, didapatkan kesimpulan sebagai berikut: (1) Beban *slamming* ditemukan dengan metode empiris dan *software* Ansys Aqwa. Beban dari kedua metode memiliki perbedaan nilai sebesar kurang lebih 20% dengan persamaan *trend line* pada grafik setiap kecepatan. Beban untuk metode dinamis adalah 570.95 MPa untuk 8 knot, 728.93 MPa untuk 10 knot,

dan 866.56 MPa untuk 12 knot. Sedangkan ditemukan beban sebesar 383.2 MPa untuk 8 knot, 484.42 MPa untuk 10 knot, 567.85 MPa untuk 12 knot, 734.14 MPa untuk 17 knot, 974.71 MPa untuk 20 knot, 1135.58 MPa untuk 22 knot, dan 1296.55 MPa untuk 24 knot. Kemudian dari data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa beban *slamming* memiliki hubungan berbanding lurus dengan kecepatan kapal.

Kesimpulan berikutnya, (2) analisis dari dampak *slamming* menunjukkan bahwa hubungan antara *deck wetness* dan beban memiliki hubungan berbanding lurus dengan kecepatan kapal. Beban *slamming* yang diberikan ke lambung kapal menghasilkan tegangan *Von Mises* dan deformasi pada struktur kapal. Ditemukan besar tegangan untuk kecepatan 8 knot sebesar 65.84 MPa, 10 knot sebesar 83.23 MPa, 12 knot sebesar 97.56 MPa, 17 knot 126.13 MPa, 20 knot sebesar 167.63 MPa, 22 knot sebesar 195.1 MPa, 24 knot sebesar 222.73 MPa. Sedangkan untuk deformasi ditemukan untuk kecepatan 8 knot sebesar 1.02 mm, 10 knot sebesar 1.29 mm, 12 knot sebesar 1.51 mm, 17 knot sebesar 1.95 mm, 20 knot sebesar 2.59 mm, 22 knot sebesar 3.02 mm, dan 24 knot sebesar 3.44 mm. (3) Analisis diceknya *design bottom pressure* dilakukan dengan regulasi dari Biro Klasifikasi Indonesia. Perhitungan beban *slamming* yang dianalisis untuk semua kecepatan masih memenuhi nilai dari BKI yaitu sebesar 1395.6 MPa.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan pada kajian penelitian ini adalah: (1) Perhitungan *deck wetness*, *bottom pressure* hanya dilakukan dengan variasi kecepatan dan sudut 180°. Untuk selanjutnya, sebaiknya dilakukan perhitungan pada *sea state* dan nilai sudut yang variatif. (2) Analisis dilakukan dengan posisi 0.7 sampai 1 LOA kapal. Hal ini mengakibatkan beban yang dihitung untuk satu kapal disimulasikan untuk bagian haluan saja. Untuk selanjutnya, sebaiknya dibuat model konstruksi untuk 1 kapal patroli guna mendapatkan data yang lebih akurat. (3) Analisis dilakukan dengan bentuk elemen

campuran. Untuk selanjutnya, sebaiknya dilakukan pemodelan dengan bentuk elemen yang seragam guna mendapatkan data *running* yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. S. Carlton, *Marine Propellers and Propulsion*. USA: Elsevier Ltd, 2007.
- [2] G. K. Kapsenberg, "Slamming of ships: Where are we now?," *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 369, no. 1947, pp. 2892–2919, Jul. 2011, doi: 10.1098/rsta.2011.0118.
- [3] R. Bhattacharya, *Dynamics of Marine Vehicles*. New York: John Wiley & Sons Inc., ISBN-13: 9780471072065, 1978.
- [4] Y. Lee, N. White, Z. Wang, and J.-B. Park, "Whipping Responses and Whipping Effects on Design Bending Moments of A Large Container Ship," *Sixth International Conference on Hydroelasticity in Marine Technology*, Tokyo: ClassNK, 2012.
- [5] T. Taniguchi and T. Katayama, "Development of Porpoising Simulation Method for Real Scaled High Speed Planing Craft with Outboard Engine," *The 5th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics-APHydro2010*, Osaka: National Maritime Research Institute, 2010.