

ANALISA PERBANDINGAN *FATIGUE* ANTARA *HULL-V* DAN *HULL-U* AKIBAT BEBAN *SLAMMING* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Muhammad Luqman Hakim dan Totok Yulianto

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: totoky@na.its.ac.id

Abstrak—Bentuk-bentuk penampang lambung mempunyai karakteristik yang berbeda dari berbagai segi, seperti perancangan, hidrodinamika, struktur maupun produksi. Hal tersebut mengakibatkan olah gerak kapal di laut bergelombang menjadi berbeda, salah satunya menyebabkan *dynamic effect* yang disebut *slamming*. *Slamming* merupakan beban dinamis yang berulang, dimana beban tersebut dapat menyebabkan kelelahan (*fatigue*) pada struktur. Oleh sebab itu, perbedaan bentuk lambung tentunya mengakibatkan peluang terjadinya *slamming*, intensitas *slamming* dan beban *slamming* yang berbeda, dimana hal tersebut mempengaruhi besar tegangan dan kelelahan pada struktur. Tugas Akhir ini menganalisa perbandingan *fatigue* akibat beban *slamming* dengan metode elemen hingga untuk bentuk lambung V dan U pada *FORMDATA 1, Some Systematically Varied Ship Forms and Their Hydrostatic Data* (1962). Perhitungan divariasikan dengan kecepatan 8 knots (di bawah kecepatan dinas), 12 knots (kecepatan dinas) dan 16 knots (di atas kecepatan dinas). Didapatkan hasil bahwa semakin besar kecepatan, menyebabkan semakin besar peluang terjadinya *slamming*, intensitas *slamming*, beban *slamming*, tegangan dan *fatigue life*. Lambung U mempunyai peluang terjadinya *slamming*, intensitas *slamming* dan beban *slamming* lebih besar dari pada V. Untuk beban yang sama, lambung U memiliki nilai tegangan yang lebih kecil dan memiliki umur kelelahan (*fatigue life*) lebih lama dari pada lambung V.

Kata Kunci – Slamming, Formdata, Lambung U, Lambung V, Metode elemen hingga, Tegangan, Umur kelelahan.

I. PENDAHULUAN

Bentuk lambung kapal menurut *lines plan* “*FORMDATA, Some Systematically Varied Ship Forms and Their Hydrostatic Data*”, Danish Technical Press, Copenhagen,[6] terdapat tiga bentuk, yaitu bentuk V, U dan N. Variasi bentuk lambung kapal tersebut pastinya mempunyai karakteristik yang berbeda. Karakteristik tersebut berpengaruh kepada perencana untuk memilih bentuk lambung yang tepat sesuai kebutuhan perencanaan. Dari segi hidrodinamika misalnya, lambung berbentuk V memiliki tahanan gesek lebih kecil namun memiliki tahanan gelombang yang lebih besar dari pada lambung berbentuk U.

Lambung kapal tidak pernah lepas dari masalah olah gerak kapal di laut bergelombang, sehingga bentuk lambung yang direncanakan harus mampu mengatasinya. Salah satu fenomena dari gerakan kapal di laut bergelombang adalah fenomena *slamming*. *Slamming* merupakan kejadian dimana

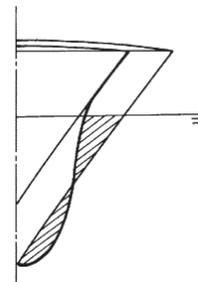
lambung kapal mengalami beda fase dengan fase gelombang laut, yang mengakibatkan bagian alas pada haluan terangkat dari permukaan dan turun menghantam gelombang. Kejadian ini menimbulkan beban *impact* dinamis berulang yang dinamakan beban *slamming*.

Bentuk lambung kapal berpengaruh terhadap bentuk konstruksi. Perbedaan lengkungan pada *lines plan* mengakibatkan bentuk profil juga melengkung. Hal tersebut tentunya memiliki perbedaan dari kekuatan lokal maupun kekuatan global. Perbedaan bentuk mengakibatkan nilai momen inersia berbeda, hingga menyebabkan hasil tegangan juga berbeda. Nilai tegangan yang berbeda menyebabkan umur kelelahan struktur yang berbeda pula.

Umur kelelahan struktur diakibatkan oleh beban yang terjadi secara berulang. Beban *slamming* juga termasuk beban dinamis yang dapat diperkirakan peluang, banyaknya dan besarnya dengan pendekatan statistik. Perhitungan umur kelelahan akibat beban *slamming* menjadi sangat perlu diperhitungkan. Perbedaan bentuk lambung mempengaruhi besarnya beban *slamming* dan besarnya respon tegangan struktur yang terjadi, sehingga juga menyebabkan perbedaan dari umur kelelahannya.

II. DASAR TEORI

A. Bentuk Lambung V dan U



Gambar 1. Bentuk potongan depan U dan V dengan luasan di bawah sarat sama.

Bentuk potongan bagian depan dapat dianalogikan menyerupai huruf V dan huruf U. Menurut Schneekluth dan Bertram [11], terdapat beberapa keuntungan dan kerugian pemilihan bentuk U atau V, yaitu:

1. Volume *topside* lebih besar.
2. WPA (*Water Plan Area*) lebih besar

3. WSA lebih kecil, baja yang digunakan lebih rendah.
4. Mengurangi kontruksi melengkung, pembuatan lebih mudah dan lebih murah.
5. Kemampuan *seakeeping* lebih baik.
6. *Deck* area yang lebih luas, sangat cocok pada bagian *hatch* depan pada *container*.
7. Dalam kondisi *ballast* pada *displacement* tertentu, bentuk V lebih mudah menenggelamkan pada sarat yang diinginkan dari pada bentuk U.

Kerugian bentuk V di *forebody* memiliki tahanan gelombang yang lebih tinggi dan memiliki tahanan gesek yang lebih kecil. Sehingga menyebabkan tahanan keseluruhan lebih tinggi dari bentuk U, untuk $0.18 < Fn < 0.25$ (tergantung pada efek lain yang mempengaruhi bentuk).

B. Dinamika Kapal (Ship Motions)

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 waktu adalah sebagai berikut :

Heave :

$$z = z_a \cos(\omega_c t + \varepsilon_z)$$

Pitch :

$$\theta = \theta_a \cos(\omega_c t + \varepsilon_\theta)$$

dimana :

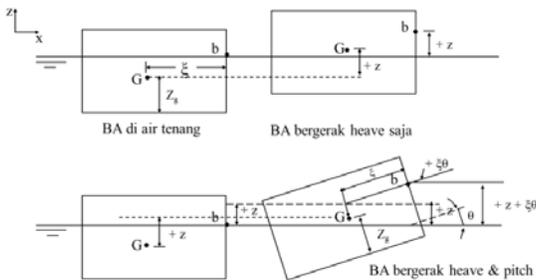
- z = gerakan *heave*
- z_a = amplitudo *heave*
- ε_z = sudut fase *heave*
- θ = gerakan *pitch*
- θ_a = amplitudo *pitch*
- ε_θ = sudut fase *pitch*

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 [3], gerakan vertikal sepanjang kapal dirumuskan sebagai berikut :

$$z_b = z + \xi \sin \theta$$

dimana :

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



Gambar 2. *Vertical motion*

C. Slamming

Sebuah kejadian *slamming* dicirikan dengan suatu beban tiba-tiba dengan durasi yang relatif singkat yang dikenakan

pada badan kapal, karena terdapat beda fase struktur kapal dengan fase gelombang.

Menurut Bhattacharyya [3], *slamming* akan terjadi bilamana 2 (dua) syarat berikut terpenuhi :

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

Dengan demikian peluang terjadinya *slamming* dirumuskan sebagai berikut :

$$\Pr(\text{slam}) = \Pr(Z_{br} > T_b \text{ dan } V_{br} > V_{th}) = \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{0Vbr}}\right)$$

dimana :

- \Pr = peluang terjadinya *slamming*
- Z_{br} = gerakan vertikal di haluan
- T_b = sarat haluan
- m_{0zbr} = luasan *respons spectrum* pada gerakan relatif kapal di haluan
- m_{0Vbr} = luasan *respons spectrum relative velocity* di haluan
- V_{th} = kecepatan ambang batas *slamming*

Sedangkan untuk frekuensi terjadinya *slamming* per satuan waktu (Ns) dapat diprediksi dengan persamaan :

$$N_{slam} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2zbr}}{m_{0zbr}}} \times \Pr(\text{slam})$$

- N_{slam} = jumlah kejadian *slamming* per detik
- m_{2zbr} = luasan respon *spectrum* pada kecepatan *relative* pada haluan

Menurut Bhattacharyya [3], besarnya tekanan yang terjadi pada dasar kapal di haluan akibat adanya *slamming* dapat dihitung dengan mempertimbangkan kecepatan relatif vertikal haluan ekstrim V_{br} , yaitu :

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

- P_s = Beban *slamming*
- ρ = massa jenis fluida
- k = koefisien *slamming* (= 9.0 rata-rata)
- V_{br} = kecepatan relatif vertikal haluan ekstrim

D. Teori Struktur

Struktur bangunan apung berbeda sekali dengan struktur-struktur di darat, sebuah kapal tidak ditumpu pada suatu sistem tumpuan tetap tetapi memperoleh tumpuan menyeluruh dari gaya tekan ke atas yang diberikan oleh sebuah lingkungan fluida yang dinamis dan selalu berubah [10].

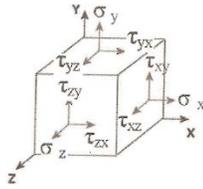
Hubungan linier antara tegangan dan regangan dinyatakan dalam persamaan yang dikenal dengan hukum *Hooke*, yaitu :

$$\sigma = E\varepsilon$$

E adalah konstanta proporsionalitas yang dikenal dengan modulus elastisitas atau *modulus young*. Modulus elastisitas adalah kemiringan kurva tegangan-regangan di dalam daerah elastisitas linier.

The Von Mises Kriteria, sering digunakan untuk memperkirakan titik kegagalan untuk material *ductile*. Kegagalan terjadi ketika energi distorsi atau tegangan mencapai nilai yang sama untuk hasil / kegagalan dalam uji kegagalan material pada beban aksial sederhana [5].

Von Mises stress, juga dikenal sebagai *Huber stress*, adalah kriteria yang memperhitungkan enam komponen tegangan yang digambarkan tiga dimensi seperti gambar dibawah ini [7].



Gambar 3. Kriteria *Von Mises* dengan 6 komponen tegangan *Von Mises stress* σ_{vm} , dengan enam komponen tegangannya dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_{vm} = \sqrt{0.5[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$$

E. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk memecahkan masalah teknik fisika dan matematika. Suatu masalah khusus yang menarik di bidang teknik dan matematika fisika yang dipecahkan dengan menggunakan metode elemen hingga meliputi analisa struktur, perpindahan panas, aliran fluida, transportasi massal, dan potensi elektromagnetik [9].

Menurut Tawekal [12], berdasarkan metode kekakuan, langkah umum Metode Elemen Hingga bisa diuraikan dalam 8 langkah (*step*).

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.

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

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.

$$\{F\} = [K]\{d\}$$

dimana:

$\{F\}$ = vektor gaya global pada titik simpul

$[K]$ = matrik kekakuan global struktur

$\{d\}$ = vektor perpindahan titik simpul = *unknown*

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

F. Umur Kelelahan Struktur (*Fatigue Life*)

Untuk analisis kelelahan berdasarkan tegangan nominal (*nominal stress approach*), bahwa hubungan antara rentang tegangan (*stress range*) dan jumlah kejadian beban (*load cycle*) telah dilakukan penelitian yang ditampilkan dalam kurva S-N. Kurva S-N memuat sebaran data hasil pengukuran kelelahan konfigurasi sambungan struktur tertentu. *Basic design* dari kurva S-N dinyatakan sebagai berikut:

$$\log N = \log K - m \log S$$

dimana:

S = Rentang tegangan

N = Nilai prediksi dari cycles untuk gagal pada rentang tegangan S

m = nilai slope inverse negative dari kurva S-N

log K = intersep dari log N-axis pada kurva S-N

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pengambilan Ukuran Utama Kapal

Untuk membuat model lines plan, penulis melakukan pengambilan ukuran utama kapal *Cargo Passenger Sabuk Nusantara 41* yang di klaskan kepada Biro Klasifikasi Indonesia. Ukuran-ukuran utama tersebut adalah :

Tabel 1. Ukuran utama model

Item	Value	Unit
LPP	59	m
B	12	m
H	4	m
T	2.7	m
Kecepatan	12	knots
CB	0.6	

B. Pembuatan Body Plan Lambung U dan V

Pembuatan body plan dapat dilakukan menggunakan metode Formdata I. Pada FORMDATA I, *Some Systematically Varied Ship Forms and Their Hydrostatic Data* [6].

C. Pembuatan Lines Plan dan Model

Setelah *body plan* didapatkan, langkah selanjutnya adalah membuat model agar nantinya bisa dilakukan perhitungan RAO pada aplikasi *seakeeping*.

D. Perhitungan Spectrum of RBM dengan Aplikasi Seakeeping

Sebelum menghitung slamming, terlebih dulu harus menghitung *Seakeeping* atau RAO (*Respon Amplitudo of Operator*) pada titik berat (*Center Gravity*) kedua model kapal tersebut dan nantinya diubah menjadi RAO of RBM (*Relative Bow Motion*) dan dikalikan dengan spectrum gelombang menjadi *Spectrum of RBM*.

E. Perhitungan Slamming

Perhitungan slamming ini terdiri dari perhitungan peluang terjadinya slamming, intensitas kejadian slamming dan beban slamming.

F. Perhitungan Konstruksi

Perhitungan konstruksi perlu dilakukan untuk membuat ukuran-ukuran profil dan tebal plat yang nantinya akan dimodelkan di aplikasi elemen hingga. Perhitungan konstruksi menggunakan Biro Klasifikasi Indonesia Volume II *Rules for Hull* [4].

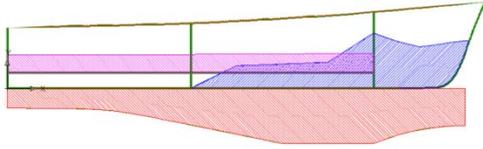
G. Pemodelan di Finite Element Software

Pemodelan dalam aplikasi ini terdapat beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut harus dilakukan secara benar, agar model dapat di-*running* (proses perhitungan yang dilakukan olah komputer).

Untuk memberikan nilai beban *impact slamming* kepada kedua model tersebut, penulis mengambil perhitungan Class Lloyd's Register - *Rules and Regulations for the*

Classification of Special Service Craft, July 2014. Menurut Lloyd's Register [8], beban *impact pressure* yang terjadi pada *bottom* dan *side shell* adalah sebagai berikut :

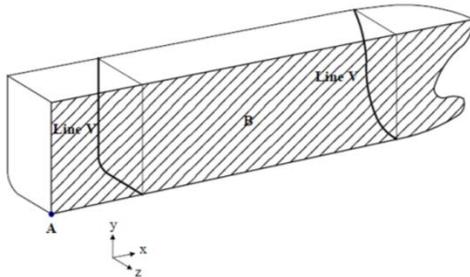
Selain beban *impact* yang terjadi pada *bottom* dan *side shell*, ada beban muatan yang juga bekerja pada *inner bottom* yang berlawanan arah dengan beban *slamming*. Beban muatan ini dihitung berdasarkan Class Biro Klasifikasi Indonesia – Rules for The Classification and Construction of Seagoing Steel Ships, Volume II [4].



Gambar 4. Ilustrasi penginputan beban pada model

Kondisi batas yang dipakai dalam perhitungan ini berdasarkan Guide for Slamming Loads And Strength Assessment For Vessels [1] dari American Bureau of Shipping (ABS).

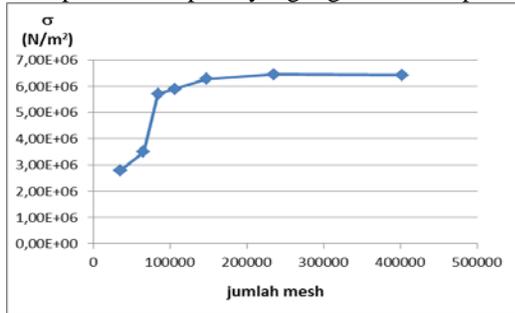
Point A	UX = 0, UY = 0
Line V	Attach spring rod elements
Section B	UZ = 0, RX = 0, RY = 0



Gambar 5. Kondisi batas menurut ABS

IV. KONVERGENSI

Model konstruksi ini terdiri dari banyak mesh yang membentuk struktur kapal. Ukuran mesh yang tepat perlu dicari agar nilai dari hasil perhitungan mendekati kondisi nyata dan kapasitas komputer yang digunakan tetap memadai.



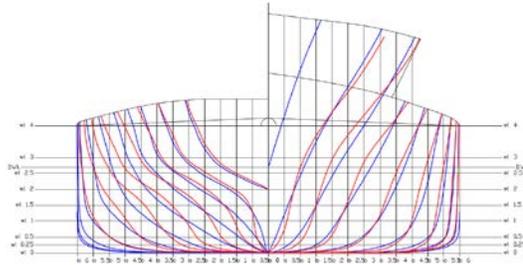
Gambar 6. Grafik hasil konvergensi

Sesuai dengan hasil konvergensi yang tertera pada grafik di atas, nilai yang paling optimum untuk analisa model konstruksi mempunyai ukuran meshing 0,05. Ukuran meshing 0,075 dipilih sebagai ukuran meshing paling optimum.

V. ANALISA HASIL

A. Perbandingan Lines Plan U dan V

Setelah dilakukan pengambilan section 0 sampai 10 dari masing-masing bentuk U dan V pada FORMDATA I, Some Systematically Varied Ship Forms and Their Hydrostatic Data [6], maka didapatkan perbandingan bentuk section U dan V seperti gambar dibawah ini.



Gambar 7. Perbandingan section U dan V hasil dari formdata

B. Perbandingan Hidrostatik Lambung U dan V

Telah didapatkan harga CB untuk model U dan V sama seperti hasil *hydrostatic* dibawah ini.

Measurement	Value	Units
1 Displacement	1219,998	tonne
2 Volume	1190,242	m ³
3 Draft to Baseline	2,7	m
4 Immersed depth	2,716	m
5 Lwl	61	m
6 Beam wl	12	m
7 WSA	726,396	m ²
8 Max cross sect area	31,873	m ²
9 Waterplane area	529,639	m ²
10 Cp	0,612	
11 Cb	0,599	
12 Cm	0,984	
13 Cwp	0,724	
14 LCB from zero pt	30,36	m
15 LCF from zero pt	28,91	m
16 KB	1,458	m
17 KG	0	m
18 BMT	3,96	m
19 BMI	89,993	m

Hidrostatik V

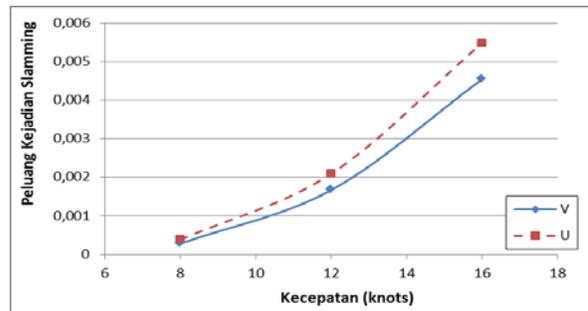
Hidrostatik U

Gambar 8. Hasil perhitungan *hydrostatic* kedua model

C. Perbandingan Probabilitas Slamming

Tabel 2. Hasil perhitungan probabilitas slamming

Kecepatan (knots)	Prob (slamming)	
	Hull-V	Hull-U
8	0.00029	0.00039
12	0.00167	0.00210
16	0.00455	0.00549

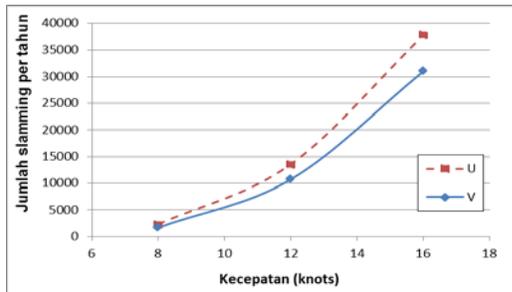


Gambar 9. Hasil perbandingan probabilitas slamming

D. Perbandingan Intensitas Terjadinya Slamming

Tabel 3. Hasil perhitungan intensitas slamming

Kecepatan (knots)	Periode (jam)		Intensitas (tahun)	
	Hull-V	Hull-U	Hull-V	Hull-U
8	5.170	3.786	1694	2314
12	0.817	0.646	10721	13562
16	0.283	0.283	31007	37819



Gambar 10. Hasil perbandingan intensitas slamming

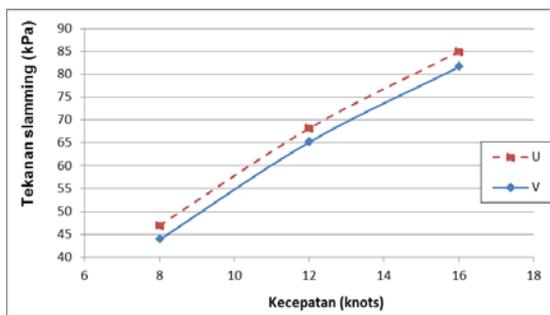
Dari hasil grafik-grafik di atas membuktikan bahwa lambung berbentuk U lebih sering mengalami slamming dari pada lambung berbentuk V.

Lambung U menahan gaya gelombang lebih banyak dari pada lambung V. Sesuai dengan hukum kekekalan momentum, dimana massa dikali kecepatan sama dengan konstan. Lambung U menyerap lebih banyak gaya gelombang dan meneruskannya. Sedangkan lambung V menyerap sedikit gaya dan meneruskannya dengan gaya yang sedikit.

E. Perbandingan Besarnya Beban Slamming

Tabel 4. Hasil perhitungan beban slamming

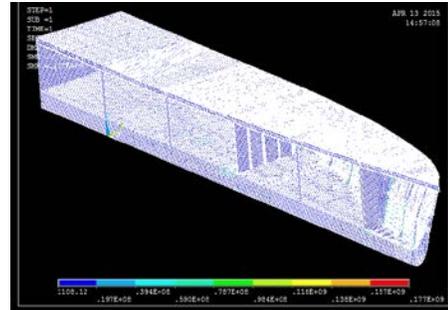
Kecepatan (knots)	Beban Slamming (kPa)	
	Hull-V	Hull-U
8	43.829	46.916
12	65.147	68.167
16	81.612	84.964



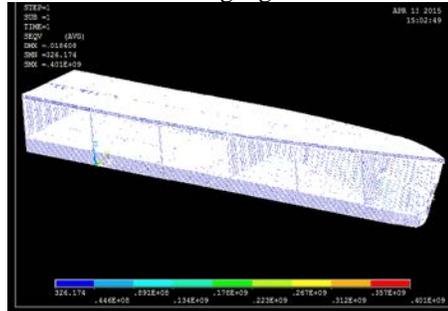
Gambar 11. Hasil perbandingan beban *slamming*

Dari hasil grafik di atas membuktikan bahwa lambung berbentuk U mempunyai beban *slamming* lebih besar dari pada lambung berbentuk V. Hal ini terjadi karena suatu benda yang membentur fluida dengan bentuk tajam dan tumpul berbeda. Bentuk lambung V dapat mengalirkan (memindahkan) fluida lebih baik (cepat) dari pada lambung U. Lambung U menahan aliran fluida lebih banyak dari pada lambung V.

F. Perbandingan Hasil Tegangan

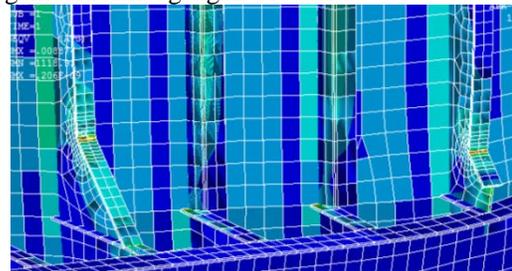


Gambar 12. Hasil analisa tegangan *Von Mises* lambung U



Gambar 13. Hasil analisa tegangan *Von Mises* lambung V

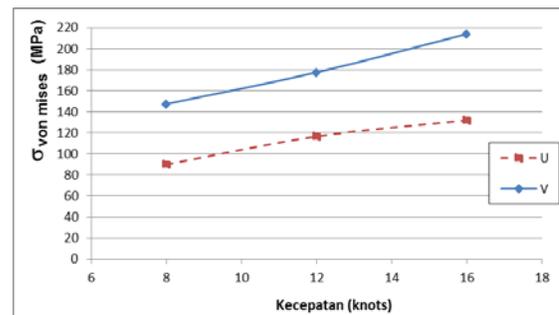
Tegangan terbesar terjadi pada sambungan webframe dengan wrang plat (*bracket*) pada daerah 0,94 L. Berikut adalah gambar letak tegangan terbesar :



Gambar 14. Letak tegangan terbesar

Tabel 5. Hasil perhitungan tegangan

Kecepatan (knots)	Tegangan (MPa)	
	Hull-V	Hull-U
8	125.4	78.518
12	148.8	107.87
16	183.44	115.49



Gambar 15. Hasil perbandingan tegangan

Dari hasil grafik di atas membuktikan bahwa lambung berbentuk U mempunyai tegangan *Von Mises* lebih kecil dari pada lambung V, yang artinya lambung U lebih kuat dari pada lambung V.

Rule – Biro Klasifikasi Indonesia Volume II *Rules for Hull* [4] memberikan batas tegangan ijin untuk kapal dengan panjang di bawah 90 meter adalah sebagai berikut :

$$\sigma_{ijin} = 18,5 \frac{\sqrt{L}}{K}$$

$$L = 60 \text{ meter}$$

$$K = 1$$

$$\sigma_{ijin} = 18,5 * (60)^{(1/2)} / 1$$

$$= 143,3 \text{ Mpa}$$

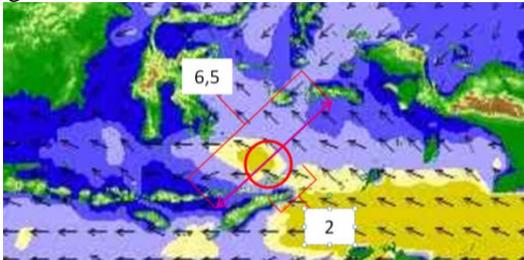
G. Perbandingan Fatigue

Setelah didapatkan nilai tegangan, maka dapat dilakukan perhitungan *fatigue life*. Tegangan yang terjadi adalah tegangan maksimal dan tegangan minimal sama dengan 0. Maka nilai $S_0 = \sigma_{max} - 0$.

Jika kapal diperhitungkan waktu pelayarannya dengan asumsi sebagai berikut :

1. Rute : Kupang – Ambon – Kupang
2. Jarak : 2 x 487 nm
3. Jadwal pelayaran : seminggu satu kali rute pp
4. Waktu docking : 1 bulan = 4 minggu
5. Areal bergelombang : 2/6,5 rute

Perbandingan daerah laut bergelombang tinggi dibandingkan seperti gambar di bawah ini :



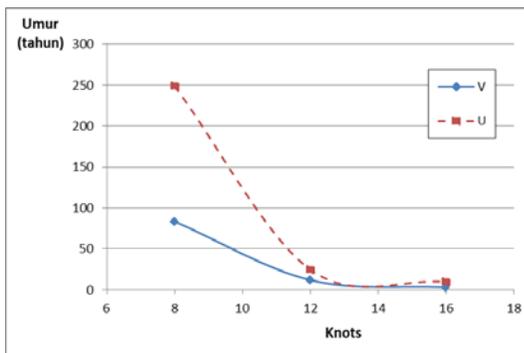
Gambar 16. Perbandingan area bergelombang dalam satu rute

Gambar di atas diambil dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika [1], dimana areal yang berwarna kuning tersebut adalah areal dengan tinggi gelombang significant = 1,5 meter.

Hasil perhitungan *fatigue life* menjadi :

Tabel 6. Hasil perhitungan *fatigue life*

Kecepatan (knots)	<i>Fatigue life</i> (tahun)	
	Hull-V	Hull-U
8	83.3	248.6
12	11.8	24.5
16	2.9	9.6



Grafik 17. Hasil analisa *fatigue life* setelah asumsi waktu pelayaran

Dari hasil grafik di atas membuktikan bahwa lambung berbentuk U mempunyai *fatigue life* lebih lama dari pada lambung V. Jadi perlu diberi penguatan tambahan untuk lambung berbentuk V agar nilai *fatigue life*-nya lebih lama.

VI. PENUTUP

A. Kesimpulan

Setelah dilakukan beberapa analisa perbandingan model kapal dengan lambung berbentuk U dan lambung berbentuk V dengan variasi kecepatan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Lambung kapal berbentuk U mempunyai peluang, jumlah dan tekanan *slamming* lebih besar dari pada lambung kapal berbentuk V.
2. Untuk beban yang sama, lambung kapal berbentuk V memiliki tegangan lebih besar dari pada lambung kapal berbentuk U.
3. Untuk beban yang sama namun intensitas berbeda, lambung kapal berbentuk U mempunyai harga *fatigue life* lebih lama dari pada lambung kapal berbentuk V.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan pada kajian Tugas Akhir ini adalah :

1. Untuk lebih akuratnya, sebaiknya diberikan variasi untuk ukuran kapal, tinggi gelombang, dan sudut hadap kapal terhadap gelombang.
2. Untuk lebih akuratnya, sebaiknya dilakukan variasi yang lebih banyak untuk kecepatan kapal.
3. Perlu penambahan kondisi beban berat konstruksi dan gaya angkat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. American Bureau of Shipping. *Guide for Slamming Loads and Strength Assessment for Vessels*. Houston, 2013.
- [2]. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. www.bmkg.go.id. 12 12 2014.
http://www.bmkg.go.id/BMKG_Pusat/Informasi_Cuaca/Maritim_-_Cuaca_Pelayaran/Prakiraan_Tinggi_Gelombang.bmkg (diakses 12 12, 2014).
- [3]. Bhattacharyya, Rameswar. *Dynamic of Marine Vehicle*. New York: John Wiley and Sons, 1978.
- [4]. Biro Klasifikasi Indonesia Volume II. *Rules for Hull*. 2014.
- [5]. eFunda. *Failure Criteria: Ductile Materials*. 2015.
http://www.efunda.com/formulae/solid_mechanics/failure_criteria/failure_criteria_ductile.cfm (diakses Maret 23, 2015).
- [6]. *FORMDATA, Some Systematically Varied Ship Forms and Their Hydrostatic Data*. Copenhagen: Danish Technical Press, 1962.
- [7]. Kurowsk, P. M. www.deu.edu.tr. 2012.
http://www.deu.edu.tr/userweb/zeki.kiral/CAD/Failure_Assesment.pdf (diakses Maret 22, 2015).
- [8]. Lloyd's Register. *Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft*. Juli 2014.
- [9]. Logan, Daryl L. *A First Course in the Finite Element Method, Fourth Edition*. Kanada: Thomson, 2007.
- [10]. Rosyid, Daniel Mohammad, dan Dony Setyawan. *Kekuatan Struktur Kapal*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 1999.
- [11]. Schneekluth, H., dan V. Bertram. *Ship Design for Efficiency and Economy*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998.
- [12]. Tawekal, Ricky Lukman. *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2010.