

Analisa Pengaruh Gerakan Kapal Terhadap *Added Wave Resistance* Studi Kasus: Kapal *Corvette*

Yuda Wikara Kusumah, Aries Sulisetyono, dan Teguh Putranto

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

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

Abstrak—Kapal *Corvette* merupakan kapal yang membutuhkan kecepatan yang tinggi pada berbagai macam perairan guna melindungi wilayah, masyarakat, dan sumber daya yang ada di perairan. Ketika kapal berlayar di laut, kapal membutuhkan tenaga tambahan. Hal ini disebabkan pada perairan bergelombang kapal mengalami gerakan *heave* dan *pitch* yang bisa mengakibatkan adanya *added wave resistance*, *added power*, dan *speed loss*. Pada studi ini dilakukan perhitungan *added wave resistance*, *added power*, dan *speed loss* dengan menggunakan metode Havelock, Gerritsma & Beukelman, dan Salvesen pada sea state 2-6 dengan heading angle 180,135, dan 90. Nilai *added wave resistance* terbesar untuk ketiga metode terdapat pada sea state 6, dengan heading angle 90. Hasil *added wave resistance* menggunakan metode Havelock Theory tertinggi yaitu 33.33 KN. Nilai terbesar *added wave resistance* dengan menggunakan Salvesen yaitu sebesar 24.73 KN. Untuk metode Gerritsma & Beukelman nilai tertinggi yaitu sebesar 45.89 KN. Nilai RMS terbesar antara metode Havelock dengan Gerritsma & Beukelman yaitu 0,969 pada sea state 2 dan heading angle 180. Sedangkan antara metode Havelock dengan Salvesen nilai RMS terbesar yaitu 0,932 pada sea state 2 dan heading angle 135. Untuk perbandingan antara metode Gerritsma & Beukelman dengan Salvesen, didapatkan nilai RMS terbesar yaitu 2,771 pada sea state 2 dan heading angle 180. Nilai *added power* untuk metode Salvesen, Gerritsma & Beukelman, dan Havelock Theory memiliki nilai terbesar pada sea state 6 dengan heading angle 90. Nilai *added power* tertinggi untuk metode Salvesen yaitu 381.6 kW. Untuk metode Gerritsma & Beukelman memiliki nilai *added power* terbesar yaitu 708.1 kW. Nilai terbesar *added power* untuk metode Havelock Theory yaitu 514.4 kW. Nilai *speed loss* untuk metode Salvesen, Gerritsma & Beukelman, dan Havelock Theory memiliki nilai terbesar pada sea state 6 dengan heading angle 90. Nilai *speed loss* tertinggi untuk metode Salvesen yaitu 0.2053 knot. Untuk metode Gerritsma & Beukelman memiliki nilai *speed loss* terbesar yaitu 1.1328 knot. Nilai terbesar *speed loss* untuk metode Havelock Theory yaitu 1.0009 knot.

Kata Kunci—Kapal *Corvette*, *Added Wave Resistance*, *Added Power*, *Speed Loss*, *Havelock Theory*, *Gerritsma & Beukelman*, *Salvesen*.

I. PENDAHULUAN

KAPAL korvet merupakan jenis kapal perang yang lebih kecil dari fraget dan lebih besar dari kapal patrol pantai. Biasanya kapal korvet dimasukkan kedalam kategori kapal patrol yang mampu menyelesaikan operasi sergap dan serbu secara mandiri. Dilihar dari fungsinya kapal ini merupakan kapal yang membutuhkan kecepatan yang tinggi pada berbagai macam perairan guna melindungi wilayah, masyarakat, dan sumber daya yang ada di perairan. Seperti diketahui Indonesia

yang memiliki wilayah lautan yang sangat luas sehingga rawan pelanggaran yang terjadi di wilayah perairan.

Analisis gerakan kapal korvet yang berlayar pada perairan Indonesia sangat perlu untuk dilakukan dalam proses desainnya. Hal ini dapat memberikan jaminan keselamatan dan performance kapal tersebut untuk berlayar. Untuk mencapai kecepatan yang diinginkan terdapat beberapa pendekatan yang bisa dilakukan, salah satunya yaitu dengan mengetahui seberapa besar hambatan yang terjadi pada kapal sehingga dapat ditentukan kapasitas mesin yang sesuai. Hambatan itu sendiri terdiri dari beberapa komponen, ada hambatan yang disebabkan udara, hambatan yang disebabkan gelombang, dll. Salah satu komponen hambatan yang sangat berpengaruh yaitu adalah *added wave resistance*.

Secara umum, fokus dalam mendesain kapal hanya pada hambatan kapal dan performa pada air tenang. Namun, ketika kapal berjalan melewati gelombang irregular, kapal membutuhkan tenaga tambahan. Penurunan performa pada lautan ini biasanya dihitung dengan menambahkan 15-30% pada tenaga yang dibutuhkan di perairan tenang atau biasa disebut dengan *sea margin* [1]. Prediksi yang lebih akurat dibutuhkan untuk menentukan *added wave resistance*, karena dengan mengetahui besarnya *added wave resistance* maka dapat ditentukan berapa besar power yang dibutuhkan dan *speed loss* kapal *corvette*.



Gambar 1. Kapal *Corvette*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Referensi pertama adalah penelitian yang dilakukan oleh Rebull [2]. Penelitian ini memperdalam perhitungan hambatan total kapal dimana, *added wave resistance* merupakan salah satu komponen yang sangat berpengaruh terhadap hambatan total kapal sehingga dilakukan penelitian lebih lanjut. Terdapat

perhitungan *added wave resistance* yang dikalkulasi menurut Gerritsma & Beukelman dan Havelock Theory.

Referensi kedua adalah penelitian yang dilakukan oleh Salvesen [3] mengenai perhitungan *added wave resistance* yang dikalkulasi menurut Gerritsma & Beukelman serta dibandingkan dengan perhitungan Salvesen dan dibandingkan dengan hasil eksperimen pada sudut hadap gelombang 180. Penelitian ini dilakukan dengan variasi bentuk lambung kapal dan Froude number.

Referensi ketiga adalah penelitian yang dilakukan oleh Iqra [4] mengenai perhitungan *added wave resistance* dikalkulasi menurut Gerritsma & Beukelman serta dibandingkan dengan perhitungan menurut Havelock dan Joosen, sedangkan *added power* menggunakan pendekatan EHP (Effisiensi Horse Power). Penelitian ini melakukan perhitungan dengan variasi kecepatan, heading angle, dan sea state. Output yang dihasilkan dari penelitian ini yaitu adalah nilai *added wave resistance*, *added power*, dan biaya pelayaran.

Referensi keempat yaitu penelitian yang dilakukan oleh Kim [5] mengenai perhitungan *speed loss*. Penelitian ini melakukan perhitungan dengan variasi kecepatan, dan *heading angle*. Untuk menghitung *speed loss* dilakukan perhitungan *power* pada air tenang dan gelombang irregular. *Speed loss* dapat dihitung dari selisih kecepatan pada *power* yang sama antara kondisi air tenang dan gelombang irregular.

III. DASAR TEORI

A. Kapal Corvette

Korvet merupakan jenis kapal perang yang lebih kecil dari fregat dan lebih besar dari kapal patroli pantai, walaupun banyak desain terbaru yang menyamai fregat dalam ukuran dan tugas. Biasanya dimasukan kategori sebagai kapal patroli yang mampu melakukan operasi sergap dan serbu secara mandiri. Istilah korvet sendiri diperkenalkan oleh Angkatan Laut Perancis pada abad ke-17 untuk menyebut suatu kapal kecil (biasanya membawa 20 meriam) yang digunakan untuk melindungi kapal dagang dan patroli lepas pantai. Angkatan Laut Inggris kemudian juga mengadopsi istilah ini pada abad ke-19.

Desain kapal korvet yang umum digunakan hingga saat ini merupakan hasil pengembangan dari kapal penangkap ikan paus (*whale chatcher*). Kapal ini merupakan jawaban akan kapal perusak/*destroyer* atau kapal penghancur kapal torpedo (*torpedo boat destroyer*) yang berukuran lebih besar. Kapal korvet sendiri memiliki fungsi yang serupa dengan kapal perusak, tetapi berukuran lebih kecil.

B. Gerakan Struktur Pada Gelombang Reguler

Response Amplitude Operator (RAO) juga disebut sebagai gerakan suatu struktur pada gelombang reguler. RAO adalah fungsi dari amplitudo gerakan struktur terhadap amplitudo gelombang [6] Banyak cara untuk mengetahui RAO, mulai dari tes menggunakan model di towing tank, pendekatan numerik maupun analitis baik secara manual ataupun menggunakan program tertentu. Secara matematis persamaan RAO dapat dituliskan seperti ini [7]:

Tabel 1.
Persamaan *Response Amplitude Operator* (RAO)

No.	Gerakan	RAO
1	<i>Surge</i>	$(x_a/\delta a)^2$
2	<i>Sway</i>	$(y_a/\delta a)^2$
3	<i>Heave</i>	$(z_a/\delta a)^2$
4	<i>Roll</i>	$(\phi_a/\delta a)^2$
5	<i>Pitch</i>	$(\theta_a/\delta a)^2$
6	<i>Yaw</i>	$(\psi_a/\delta a)^2$

C. Gerakan Struktur Pada Gelombang Irregular

Gelombang tak beraturan adalah gabungan dari beberapa gelombang beraturan yang dijumlahkan yang masing-masing memiliki frekuensi, tinggi, dan fase gelombang yang berbeda. Dengan mengalikan RAO dengan spektrum gelombang pada gelombang tak beraturan maka akan didapatkan response dari struktur. Spektrum gelombang (ω) sebelumnya harus diubah terlebih dahulu menjadi spektrum encountered (ω_e). Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut [2]:

$$\omega_e = \omega - \frac{\omega^2 v}{g} \cos \mu \tag{1}$$

D. Spektrum Gelombang

Pola gelombang irregular dapat dihasilkan jika sejumlah gelombang sinusoidal dengan panjang gelombang dan tinggi yang berbeda digabungkan. Gelombang hasil penggabungan tidak menunjukkan pola yang pasti untuk ketinggian gelombang, panjang gelombang, ataupun periode gelombang [7].

Penggabungan beberapa gelombang sinusoidal tidak hanya menghasilkan gelombang irregular, tetapi juga pola gelombang tidak pernah terulang dari satu waktu ke waktu lain. Namun, ada satu cara untuk memperhitungkan gelombang irregular yaitu dengan menentukan total energi. Hal ini diperoleh dengan menjumlahkan energi dari semua gelombang reguler yang menghasilkan gelombang irregular dengan superposisi.

Pada studi ini digunakan wave spectrum dari International Towing Tank Conference (ITTC). Rumus dari spektrum dapat dituliskan sebagai berikut [7]:

$$S(\omega) = \frac{A}{\omega^5} e^{-B/\omega^4} \tag{2}$$

Spektrum gelombang encounter didapatkan dengan merubah spectrum gelombang dengan rumus:

$$S(\omega_e) = S(\omega) \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{4\omega e v}{g}\right) \cos \mu\right]^{0.5}} \tag{3}$$

E. Havelock

Metode Havelock merupakan salah satu metode dari beberapa metode untuk memprediksi *added wave resistance*. Metode ini menghitung berdasarkan integral dari komponen komponen beban longitudinal terhadap permukaan basah dari lambung kapal. Dimana perhitungan dari teori Havelock ini menggambarkan bahwa, secara umum, *drifting force* merupakan penyebab yang paling berpengaruh terhadap

besarnya *added wave resistance*. Persamaan dari *added wave resistance* sendiri yaitu sebagai berikut [7]:

$$R_{aw} = -\frac{k}{2} (F_a \alpha_a \sin \varepsilon_{ZF} + M_a \theta_a \sin \varepsilon_{\theta M}) \quad (4)$$

F. Salvesen

Metode Salvesen merupakan metode untuk memprediksi *added wave resistance*. Pada metode Salvesen terdapat komponen gaya dan momen Froude – Krilov dan *diffraction*. Berikut merupakan persamaan dari Metode Salvesen [3]:

$$R = -\frac{i}{2} k \cos \beta \sum_{j=3,5}^{\infty} \{F_j^{I*} + \hat{F}_j^D\} + R_T \quad (5)$$

G. Gerritsma & Beukelman

Metode ini biasa disebut dengan *The Radiated Energy Method* karena Gerritsma dan Beukelman merupakan orang pertama yang menggunakan metode *The Radiated Energy* untuk melakukan perhitungan *added wave resistance*. Dari metode *The Radiated Energy* bisa didapatkan gelombang yang dihasilkan oleh olah gerak kapal. Energi yang terdapat pada gelombang tersebut lah yang digunakan untuk perhitungan metode Gerritsma & Beukelman. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung *added wave resistance* [2]:

$$R_{AW} = \frac{k}{2w_c} \int_{x_0}^{x_f} b(x) V_{za}^2(x) dx \quad (6)$$

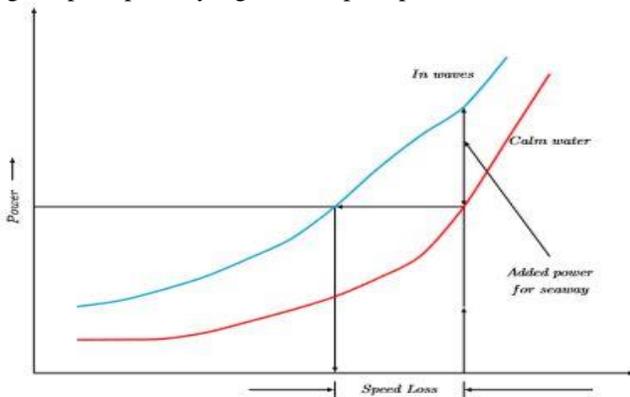
H. Added power

Added power dapat dihitung dengan menambahkan *added wave resistance* pada hambatan kapal untuk air tenang lalu dihitung *effective horse power*-nya [7]. Persamaan untuk menghitung *effective horse power* sebagai berikut [8]:

$$EHP = R_T V \quad (7)$$

I. Speed Loss

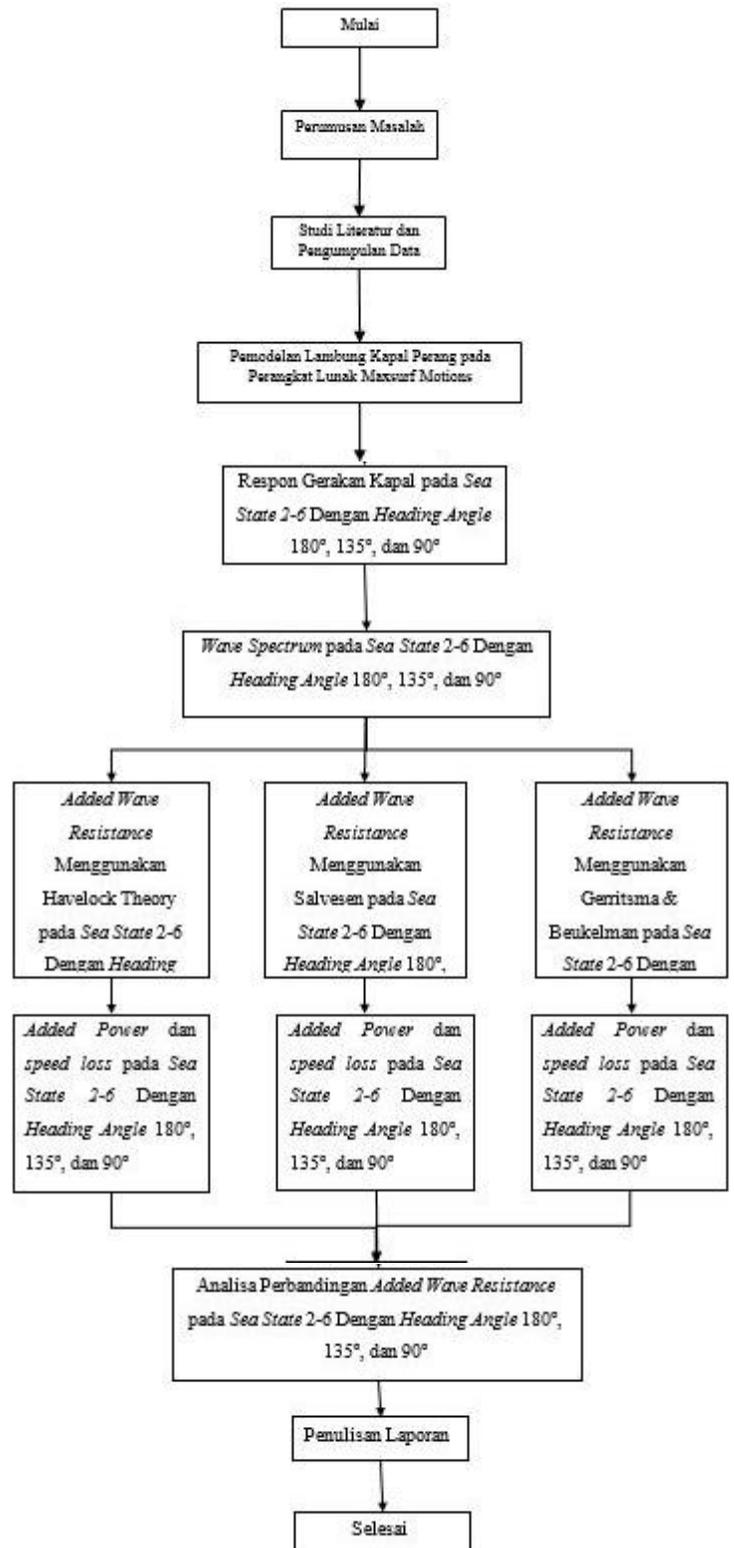
Perhitungan speed loss pada penelitian ini yaitu dengan memanfaatkan grafik power pada air tenang dan gelombang irregular. Proses perhitungannya dengan mengambil selisih perbedaan antara speed di air tenang dengan gelombang irregular pada power yang sama, seperti pada Gambar 2 [4].



Gambar 2. Grafik *Speed Loss* dan *Added Power*

IV. METODOLOGI

Secara umum, pada studi ini di lakukan analisis secara numerical. Untuk mengetahui pengaruh gerak kapal terhadap *added wave resistance* dilakukan metodologi penelitian seperti pada gambar 3

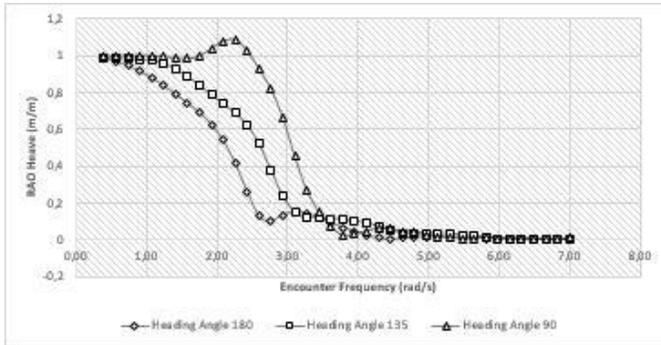


Gambar 3. Diagram Alir

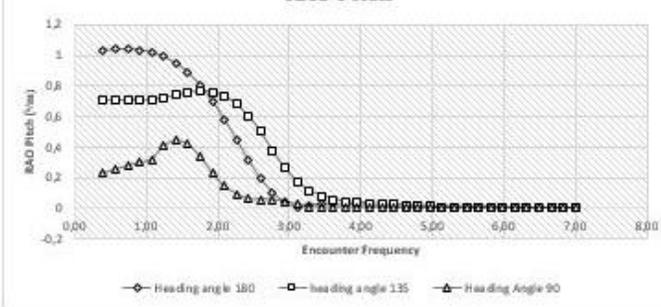
V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. RAO Heave dan Pitch

Hasil perhitungan dari RAO *heave* dan *pitch* didapatkan setelah perangkat lunak Maxsurf Motions selesai di *running*. Analisis RAO dihitung pada sudut hadang 180°, 135°, dan 90° pada *sea state* 2 - 6. Hasil dari RAO dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4. RAO Heave

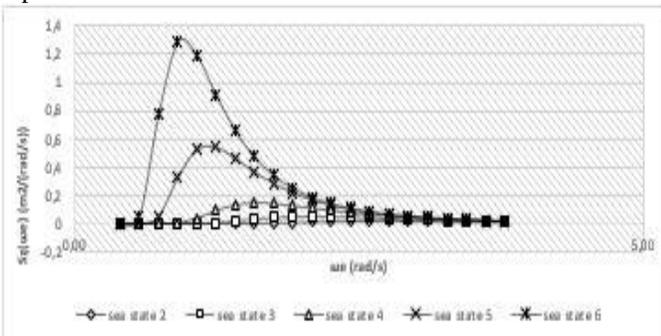


Gambar 5. RAO Pitch

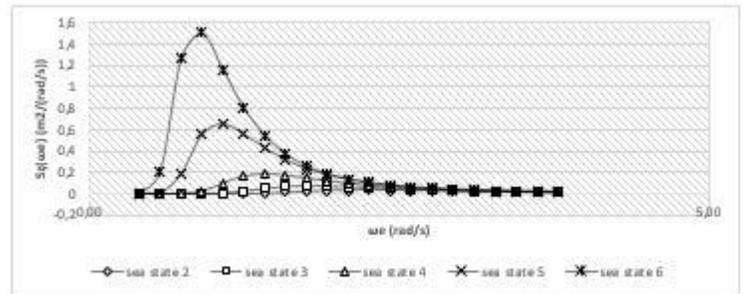
Dari gambar 4 dapat diketahui bahwa RAO *heave* terbesar terjadi pada *heading angle* 90 dan pada gambar 5 dapat diketahui bahwa RAO *pitch* terbesar terjadi pada *heading angle* 180.

B. Wave Spectrum

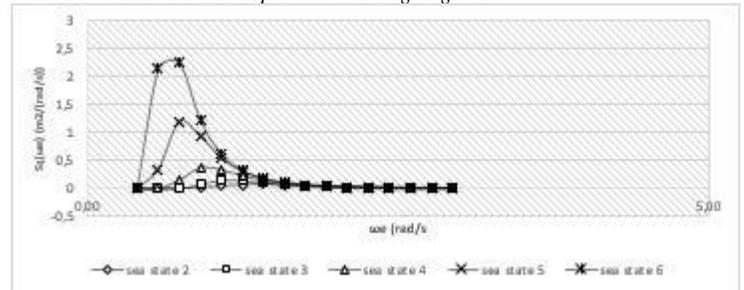
Untuk mendapatkan gerakan kapal karena pengaruh gelombang irreguler, maka dilakukan perhitungan spectrum gelombang. Spektrum gelombang ITTC digunakan dalam pengerjaan studi ini. Spektrum gelombang tersebut kemudian ditransformasikan menjadi spectrum gelombang encounter dengan *heading angle* 180°, 135°, dan 90° pada *sea state* 2 – 6. Berikut merupakan spectrum gelombang *encounter* yang diperoleh dari Maxsurf Motions:



Gambar 6. Encounter Wave Spectrum Heading Angle 180



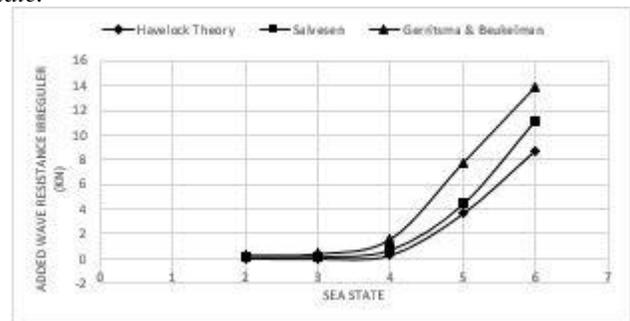
Gambar 7. Encounter Wave Spectrum Heading Angle 135



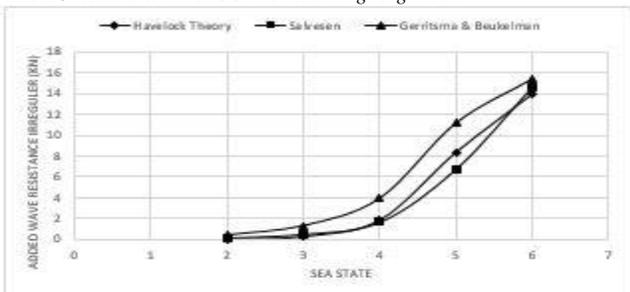
Gambar 8. Encounter Wave Spectrum Heading Angle 90

C. Perbandingan Added Wave Resistance

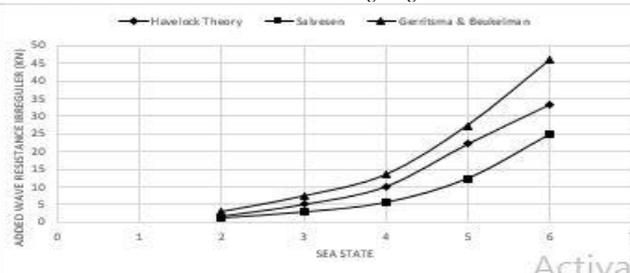
Pada Gambar 9-11 menunjukkan perbandingan hasil *added wave resistance* menggunakan metode Havelock, Salvesen, dan Gerritsma & Beukelman untuk tiap *heading angle* dan *sea state*.



Gambar 9. Added Wave Resistance Heading Angle 180



Gambar 10. Added Wave Resistance Heading Angle 135



Gambar 11. Added Wave Resistance Heading Angle 90

Nilai *added wave resistance* tertinggi untuk ketiga metode terdapat pada *sea state 6*, dengan *heading angle 90*. Nilai tertinggi *added wave resistance* menggunakan metode Havelock yaitu 33.33 KN. Nilai tertinggi *added wave resistance* dengan menggunakan Salvesen yaitu sebesar 24.73 KN. Untuk metode Gerritsma & Beukelman nilai tertinggi yaitu sebesar 45.89 KN. Persamaan (4) dan (5) menjelaskan komponen dari masing masing metode Havelock dan Salvesen. Dimana untuk metode Havelock perhitungan motion kapal, phase lag, dan gaya dan momen eksitasi sangat berpengaruh terhadap *added wave resistance*. Sementara untuk metode Salvesen, terdapat komponen exciting force dan momen Froude-Krilov. Perhitungan metode Havelock merupakan sebuah pendekatan karena pada perhitungan tersebut komponen diffraction diabaikan. Pada perhitungan metode Gerritsma & Beukelman dengan menggunakan persamaan (6) lebih akurat disebabkan oleh terdapatnya komponen diffraction [2].

Perbandingan antara tiap metode dapat dihitung dengan menggunakan RMS (*Root Mean Square*). Persamaan untuk menghitung RMS yaitu sebagai berikut [4]:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i^2)} \tag{5.1}$$

Dengan menggunakan perhitungan RMS (*Root Mean Square*) didapatkan nilai RMS terbesar antara metode havelock dengan Gerritsma & Beukelman yaitu 0,969 pada sea state 2 dan heading angle 180. Sedangkan antara metode Havelock dengan Salvesen nilai RMS terbesar yaitu 0,932 pada sea state 2 dan heading angle 135. Untuk perbandingan antara metode Gerritsma & Beukelman dengan Salvesen, didapatkan nilai RMS terbesar yaitu 2,771 pada sea state 2 dan heading angle 180.

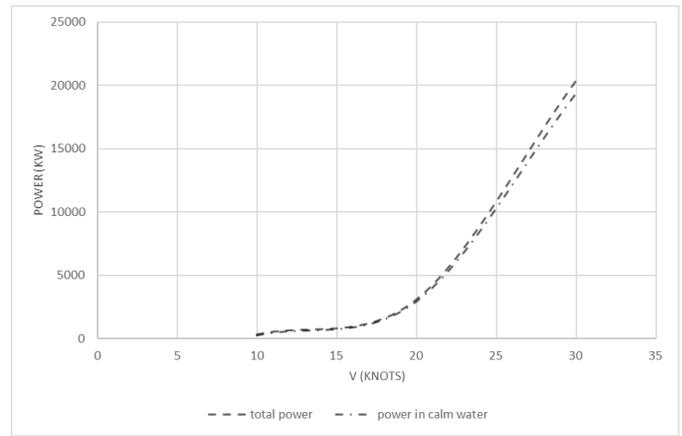
D. Perhitungan Added Power

Nilai *added power* untuk metode Salvesen, Gerritsma & Beukelman, dan Havelock memiliki nilai terbesar pada *sea state 6* dengan *heading angle 90*. Nilai *added power* tertinggi untuk metode Salvesen yaitu 381.6 kW. Untuk metode Gerritsma & Beukelman memiliki nilai *added power* terbesar yaitu 708.1 kW. Nilai terbesar *added power* untuk metode Havelock Theory yaitu 514.4 kW.

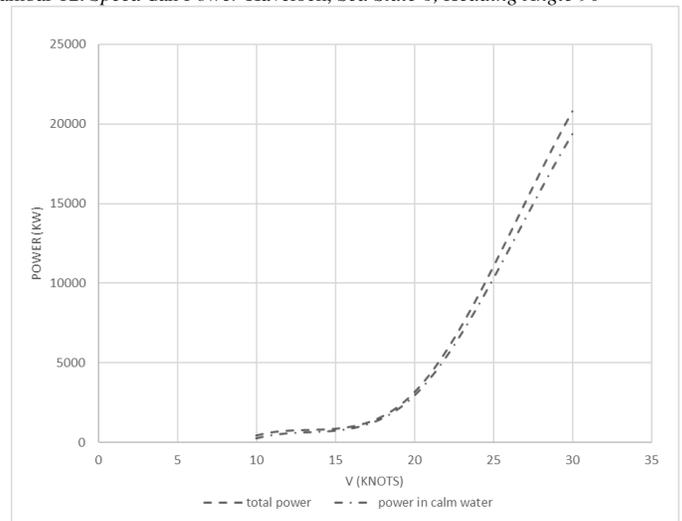
E. Perhitungan Speed Loss

Speed loss merupakan pengurangan kecepatan akibat penggunaan power yang tetap pada gelombang air tenang dan gelombang irregular. Proses perhitungan speed loss ini dengan mengambil selisih nilai antar power di air tenang dan gelombang irregular.

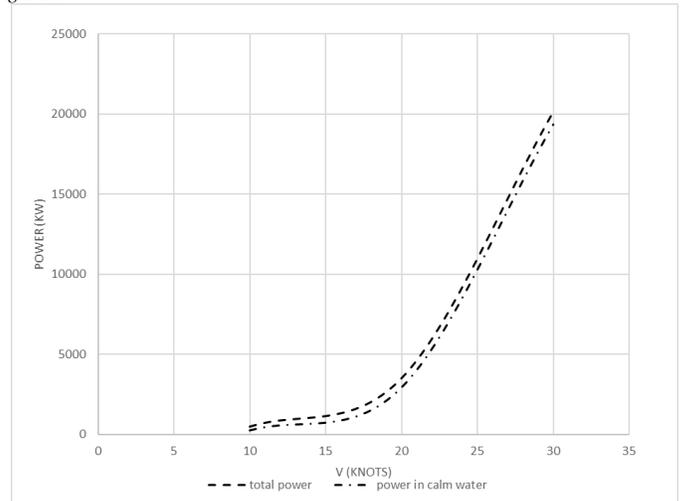
Penelitian lain yang melakukan estimasi *speed loss* dilakukan oleh Kim [5]. Pada penelitian tersebut dilakukan perhitungan *speed loss* pada kapal dengan $C_B = 0.51$, $F_n = 0.26$. Penelitian tersebut menunjukkan hasil speed loss terbesar pada *heading angle 90* dengan nilai 1.05 knot. Tren ini memiliki kemiripan dengan hasil yang didapatkan pada penelitian ini dimana *speed loss* terbesar yaitu 1.1328 knot.



Gambar 12. Speed dan Power Havelock, Sea State 6, Heading Angle 90



Gambar 13. Speed dan Power Gerritsma & Beukelman, Sea State 6, Heading Angle 90



Gambar 14. Speed dan Power Salvesen Sea State 6, Heading Angle 90

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dengan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Motion, dapat dilakukan perhitungan seakeeping kapal, dimana dapat ditambahkan input variasi seperti heading angle, kecepatan kapal, dan sea state. Untuk melakukan analisis seakeeping

pada maxsurf motion, terdapat dua metode yaitu strip theory dan panel method. Selain digunakan untuk analisis seakeeping sebuah kapal, Maxsurf Motion juga dapat melakukan analisis added wave resistance dengan menggunakan tiga metode yaitu, Havelock, Salvesen, dan Gerritsma & Beukelman.

1. Nilai terbesar RAO gerakan heave yaitu (1.088 m/m) pada frekuensi gelombang 2.25 rad/s pada heading angle 90. Sedangkan nilai RAO terbesar gerakan pitch yaitu (1.038 °/m) pada heading angle 180 dan terjadi pada frekuensi gelombang 0.75 rad/s.
2. Nilai added wave resistance terbesar untuk ketiga metode terdapat pada sea state 6, dengan heading angle 90. Hasil added wave resistance menggunakan metode Havelock tertinggi yaitu 33.33 KN. Nilai terbesar added wave resistance dengan menggunakan Salvesen yaitu sebesar 24.73 KN. Untuk metode Gerritsma & Beukelman nilai tertinggi yaitu sebesar 45.89 KN.
3. Dari sea state 2-6 nilai added wave resistance dengan menggunakan metode Havelock, Salvesen, dan Gerritsma & Beukelman mengalami kenaikan.
4. Nilai RMS terbesar antara metode Havelock dengan Gerritsma & Beukelman yaitu 0,969 pada sea state 2 dan heading angle 180. Sedangkan antara metode Havelock dengan Salvesen nilai RMS terbesar yaitu 0,932 pada sea state 2 dan heading angle 135. Untuk perbandingan antara metode Gerritsma & Beukelman dengan Salvesen, didapatkan nilai RMS terbesar yaitu 2,771 pada sea state 2 dan heading angle 180.
5. Nilai added power untuk metode Salvesen, Gerritsma & Beukelman, dan Havelock memiliki nilai terbesar pada sea state 6 dengan heading angle 90. Nilai added power tertinggi untuk metode Salvesen yaitu 381.6 kW. Untuk metode Gerritsma & Beukelman memiliki nilai added power terbesar yaitu 708.1 kW. Nilai terbesar added power untuk metode Havelock yaitu 514.4 kW.

6. Nilai speed loss untuk metode Salvesen, Gerritsma & Beukelman, dan Havelock memiliki nilai terbesar pada sea state 6 dengan heading angle 90. Nilai speed loss tertinggi untuk metode Salvesen yaitu 0.2053 knot. Untuk metode Gerritsma & Beukelman memiliki nilai speed loss terbesar yaitu 1.1328 knot. Nilai terbesar speed loss untuk metode Havelock Theory yaitu 1.0009 knot.

B. Saran

Pada Studi ini, masih terdapat kekurangan-kekurangan yang terjadi dan juga masih banyak pokok bahasan yang dapat dikembangkan, maka dari itu saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Analisis olah gerak kapal dapat dilakukan dengan eksperimen model kapal atau pun menggunakan software selain dari Maxsurf Motion.
2. Selanjutnya, dapat dilakukan analisis kenaikan biaya pelayaran kapal akibat added wave resistance.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Tejsen, "Added Resistance in Waves," *Soc. Nav. Archit. Mar. Eng.*, vol. 81, pp. 109–143, 1973.
- [2] B. Rebull, "Powering Vessel in a Seaway," Universitat Politecnica de Catalunya, 2014.
- [3] N. Salvesen, "Added Resistance of Ships in Waves," *J. Hydronautics*, vol. 12, pp. 24–34, 1978.
- [4] M. Iqra, "Perhitungan Added Wave Resistance, Added Power, dan Speed Loss Pada Kapal Di Gelombang Irregular," 2014.
- [5] M. Kim, "Estimation of added resistance and ship speed loss in a seaway," University of Strathclyde, 2016.
- [6] S. . Chakrabarti, *Hydrodynamics of Offshore Structures*. USA: CBI Industries, Inc, 1987.
- [7] R. Bhattacharya, *Dynamic of Marine Vehicles*. New York, 1978.
- [8] E. V Lewis, *Principles of Naval Architecture Vol II Resistance, Propulsion and Vibration*. New Jersey, 1988.