

PENGARUH PENAMBAHAN *BILGE KEEL* TERHADAP *RAO (RESPONSE AMPLITUDE OPERATOR)* KAPAL PATROLI CEPAT

Muhd Ridho Baihaque^{1,*}, Nursidik Anggara², M Riza Mahendra³, Sonia Oktavianty⁴, Yuki Zebua⁵,
Adyk Marga Raharja⁶, Deny Nusyirwan⁷

^{1,2,4,5,6,7}Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Maritim Raja Ali Haji
^{1,2,3,4,5,6,7}Jl. Politeknik Senggarang, Tanjungpinang 29100

*Corresponding Author: ridhobaihaque@umrah.ac.id

Abstract—Maritime transportation plays a vital role in mobility within archipelagic regions, and Fast Patrol Boat are an efficient choice to meet the needs of defence and maritime patrol in Indonesia. The innovation of adding bilge keels to the vessel is expected to enhance the performance of fast patrol vessels. This study aims to identify and evaluate the motions of Fast Patrol Boat to understand their performance under various sea conditions. Fast Patrol Boat operating at high speeds require a responsive pitch motion, making them well-suited for safeguarding Indonesia's archipelagic waters. The analysis results show that patrol Boat equipped with bilge keels perform better in terms of response and manoeuvrability, especially at high speeds, compared to vessels without bilge keels, although for other degrees of freedom such as heave and roll motions, there is no significant difference between the two types of vessels

Keywords—Fast Patrol Boat, RAO (Response Amplitude Operator), Ship Dynamics, Bilge Keel

Intisari—Transportasi laut memegang peranan penting dalam mobilitas di wilayah Kepulauan, dan kapal Patroli Cepat menjadi pilihan yang efisien dalam memenuhi kebutuhan pertahanan dan patroli perairan Indonesia dengan inovasi penambahan lunas bilga pada kapal diharapkan dapat meningkatkan performa kapal patrol cepat. Penelitian ini bertujuan untuk Mengidentifikasi dan mengevaluasi gerakan kapal Patroli Cepat agar dapat memahami kinerja kapal dalam berbagai kondisi laut. kapal patroli cepat yang menggunakan kecepatan tinggi membutuhkan Gerakan Pitch yang responsif sehingga cocok digunakan dalam menjaga laut kepulauan wilayah Indonesia. Hasil analisa didapat untuk kapal Patroli dengan menggunakan *Bilge Keel* baik dalam hal respon dan manuver terutama dalam kecepatan tinggi daripada kapal tanpa menggunakan *Bilge Keel* walaupun pada keadaan derajat kebebasan yang lain seperti Gerakan Heave dan Rolling tidak ada perbedaan yang signifikan diantara kedua kapal ini

Kata kunci—Kapal Patroli Cepat, RAO (Respon Amplitudo Operator), Dinamika Kapal, Lunas Bilga

I. PENDAHULUAN

Transportasi laut memegang peranan penting dalam mobilitas di wilayah Kepulauan, dan kapal Patroli Cepat menjadi pilihan yang efisien dalam memenuhi kebutuhan pertahanan dalam melindungi perairan Indonesia khususnya wilayah Kepulauan dengan kapal kapal berkecepatan tinggi [1]. Kebutuhan akan desain

kapal yang stabil dan responsif terhadap dinamika laut menjadi esensial untuk memastikan keamanan dan kenyamanan selama operasional kapal terutama dalam patrol wilayah keamanan laut Indonesia. Oleh karena itu, analisa dinamika kapal menjadi suatu langkah kritis dalam proses desain dan pengembangan kapal Patroli Cepat [2] [3].

Kemajuan Teknologi Perangkat lunak dalam permodelan kapal terhadap bentuk lambung kapal memberikan peluang untuk memahami respons dinamika kapal dengan berbagai macam variasi kondisi laut sehingga dapat meningkatkan performa kapal Patroli cepat dalam berbagai skenario operasional [4].

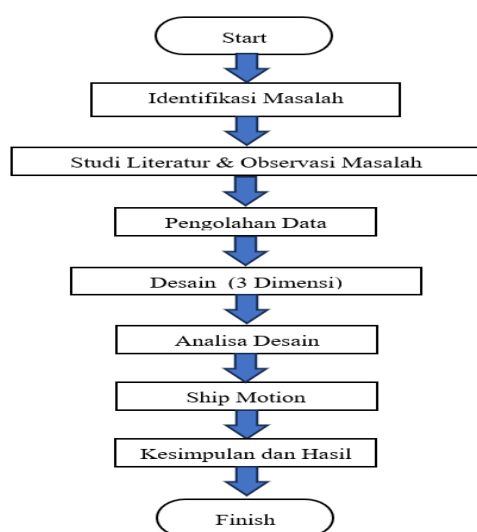
Dalam konteks pengembangan kapal Patroli Cepat diperlukan analisa bagaimana kapal merespons dinamika kapal yang kompleks. Hal ini mencakup aspek-aspek seperti kestabilan, kinerja pada kecepatan tertentu, dan respons terhadap sudut kemiringan gelombang. melalui analisis menggunakan perangkat lunak simulasi Maxsurf

Penelitian ini memiliki tujuan untuk :

1. Mengetahui karakteristik dinamika kapal Patroli Cepat melalui pembuatan model dengan Maxsurf Modeller.
2. Menganalisis Respons Dinamika Kapal terhadap variasi gelombang dan kecepatan menggunakan Maxsurf Motion untuk mendapatkan Response Amplitude Operator (RAO).
3. Evaluasi Pergerakan pada Gerakan kapal terutama gerakan *Heaving*, *rolling* dan *Pitching* serta Mengidentifikasi dan mengevaluasi gerakan kapal Patroli Cepat agar dapat memahami kinerja kapal dalam berbagai kondisi laut.

II. METODE PENELITIAN

A. Alur Penilitan



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Metodelogi Penelitian dapat dilihat pada gambar 1 dimana dimulai dengan identifikasi masalah mengenai Kapal patroli cepat dengan melakukan studi literatur dan observasi dengan desain Kapal Patroli Cepat selanjutnya mencari data Ukuran utama kapal patroli cepat dengan kapal pembanding yang ada di lapangan. Desain 3 dimensi dimulai dari penggambaran rencana garis dan rencana umum kapal dengan penambahan *Bilge Keel* atau lunas bilga dibandingkan dengan Kapal Patroli Cepat tanpa menggunakan *Bilge Keel* untuk selanjutnya analisa menggunakan perangkat lunak Maxsurf Ship Motion untuk menganalisa RAO (*Response Amplitude Operator*) sehingga dapat diambil Kesimpulan dan hasil [5].

Dalam menganalisa RAO (*Response Amplitude Operator*) Kapal Patroli Cepat digunakan kecepatan dinas sebesar 27 knot dengan memvariasikan beberapa arah gelombang kapal seperti *Following*, *Head*, *Beam*, *Stern Seas* dengan variasi sudut (0° , 180° , 90° , dan 45°). Analisa dinamika Kapal Patroli Cepat menggunakan gelombang acak gelombang *Spectrum* yang ditentukan oleh JONSWAP dengan tinggi minimum gelombang 0.7 meter dan tinggi gelombang maksimum 1 meter [6].

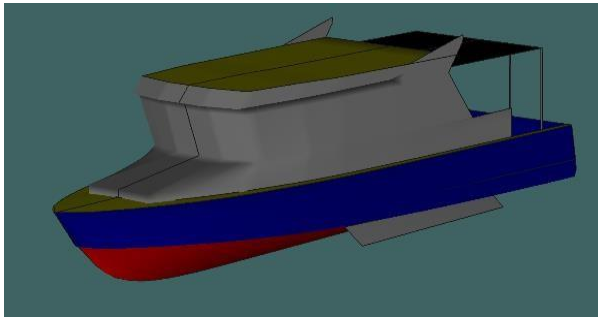
B. Ukuran Utama Kapal

Ukuran utama kapal Patroli Cepat diterangkan oleh tabel 1 :

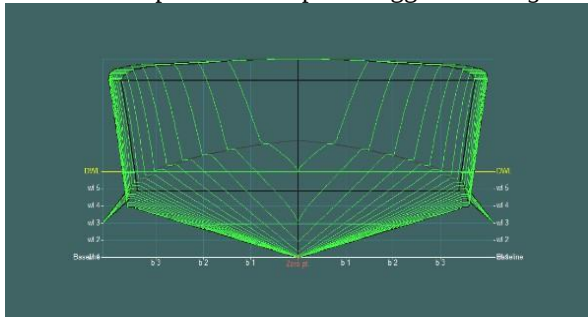
Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

No	Keterangan	Dimensi
1	<i>Length Over All (LOA)</i>	12,6 m
2	<i>Length of Perpendicular (LPP)</i>	11,6 m
3	<i>Breadth (B)</i>	3,1 m
4	<i>Depth (H)</i>	1,5 m
5	<i>Draft (T)</i>	0,65 m
6	<i>Service Speed (VS)</i>	27 Knot

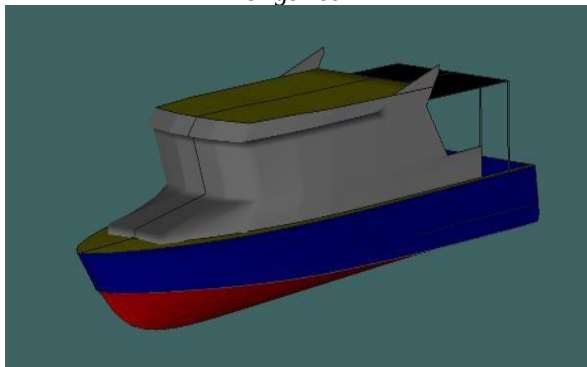
Desain 3 dimensi Kapal Patroli Cepat dapat dilihat pada gambar 1,2,3, dan 4 dengan menampilkan desain 3 dimensi dan *Body Plan* menggunakan *bilge keel* dan tanpa menggunakan *bilge keel*.



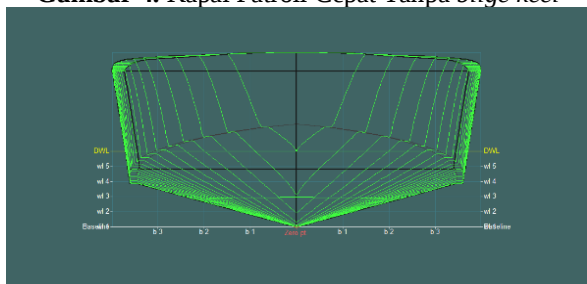
Gambar 2. Kapal Patroli Cepat Menggunakan *bilge keel*



Gambar 3. Body Plan Kapal Patroli Cepat Menggunakan *bilge keel*



Gambar 4. Kapal Patroli Cepat Tanpa *bilge keel*



Gambar 5. Body Plan Kapal Patroli Cepat tanpa *bilge keel*

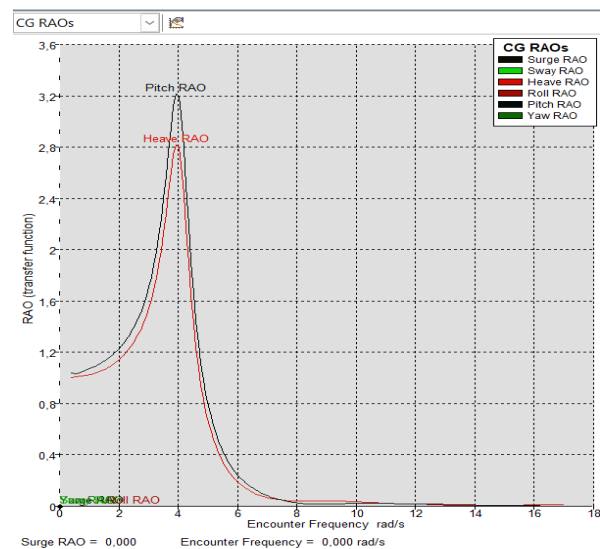
C. Analisa Pernangkat Lunak

Penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Motion*. dimana *Maxsurf motion* ini merupakan salah satu aplikasi pilihan yang ada di *maxsurf modelling* yang bisa menganalisis RAO dengan beberapa variasi sudut gelombang dan kecepatan yang telah ditentukan.

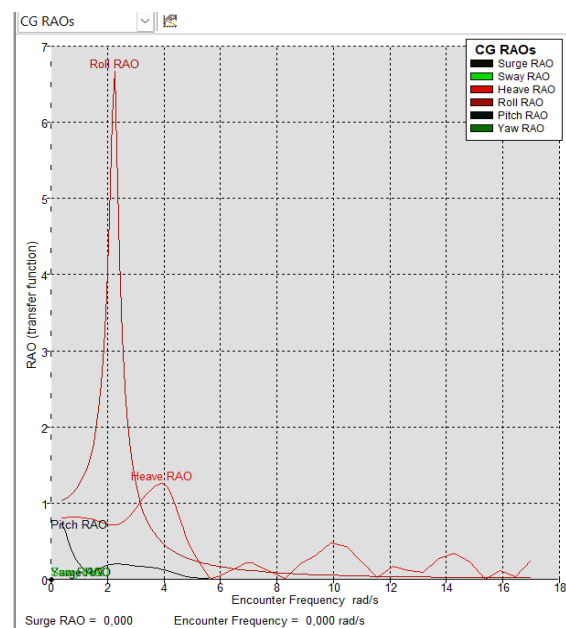
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Response Amplitude Operator

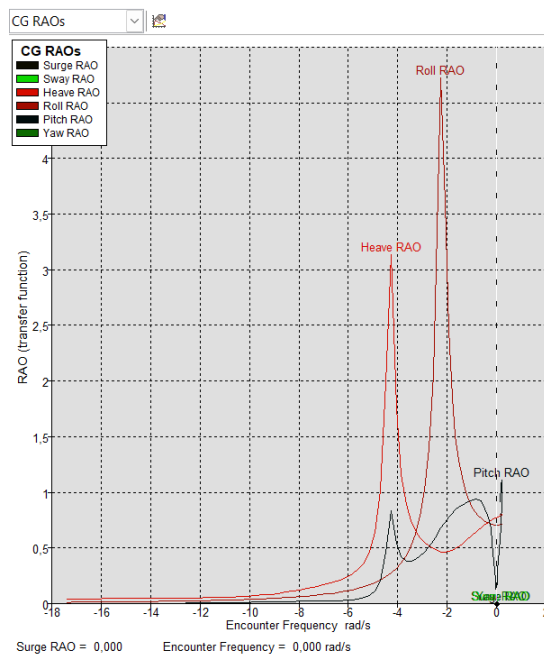
Grafik yang ditunjukkan pada gambar 5,6,7 dan 8 menampilkan RAO (*Response Amplitude Operator*) untuk *Heave*, *Roll*, dan *Pitch* Kapal Patroli Cepat tanpa menggunakan *Bilge Keel* dengan kecepatan dan arah gelombang *Head Seas* 180° , *beam seas* 90° , *Stern Seas* 45° serta *Following Seas* 0° dengan tinggi gelombang 0.7 meter menggunakan kecepatan dinas Kapal Patroli Cepat 27 knots



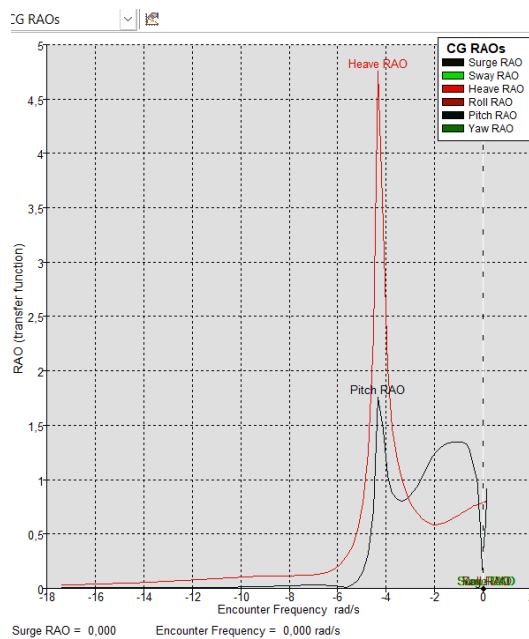
Gambar 6. RAO Heave,Roll,Pitch, tanpa *Bilge Keel*, kecepatan 27 knot arah gelombang 180° dan tinggi gelombang 0,7 meter.



Gambar 7. RAO Heave,Roll,Pitch, tanpa *Bilge Keel*, kecepatan 27 knot arah gelombang 90° dan tinggi gelombang 0,7 meter



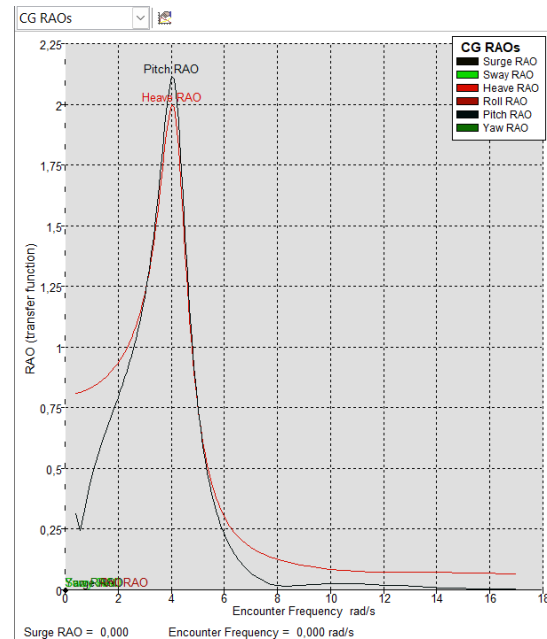
Gambar 8. RAO Heave, Roll, Pitch, tanpa *Bilge Keel*, kecepatan 27 knot arah gelombang 45° dan tinggi gelombang 0,7 meter



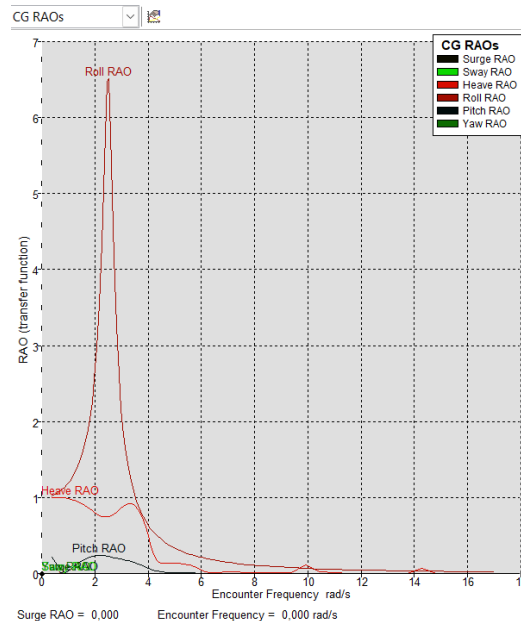
Gambar 9. RAO Heave, Roll, Pitch, tanpa *Bilge Keel*, kecepatan 27 knot arah gelombang 0° dan tinggi gelombang 0,7 meter

Grafik yang ditunjukkan pada gambar 10,11,12 dan 13 menampilkan RAO (*Response Amplitude Operator*) untuk *Heave*, *Roll*, dan *Pitch* Kapal Patroli Cepat dengan menggunakan *Bilge Keel* dengan kecepatan dan arah gelombang *Head Seas* 180°, *beam seas* 90°, *Stern Seas* 45°

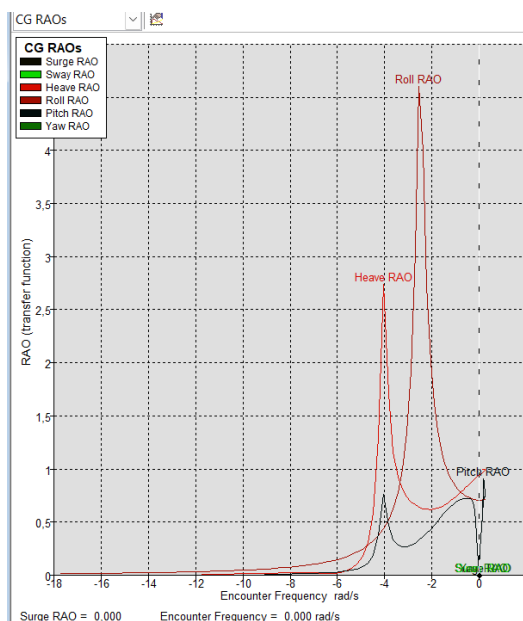
serta *Following Seas* 0° dengan tinggi gelombang 0.7 meter menggunakan kecepatan dinas Kapal Patroli Cepat 27 knots



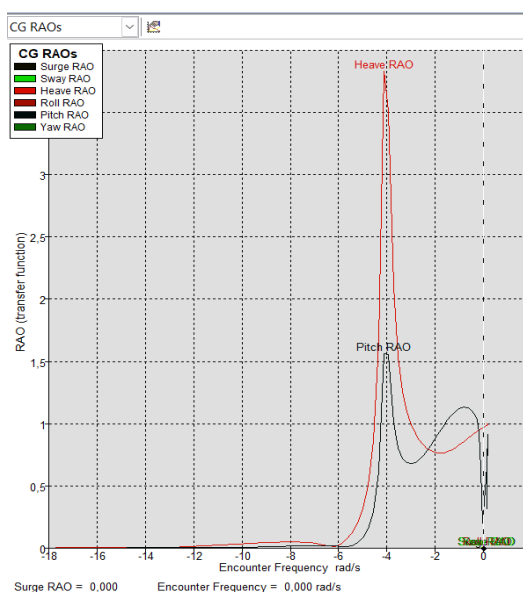
Gambar 10. RAO Heave, Roll, Pitch, Dengan Menggunakan *Bilge Keel*, kecepatan 27 knot arah gelombang 180° dan tinggi gelombang 0,7 meter



Gambar 11. RAO Heave, Roll, Pitch, Dengan Menggunakan *Bilge Keel*, kecepatan 27 knot arah gelombang 90° dan tinggi gelombang 0,7 meter



Gambar 12. RAO Heave,Roll,Pitch, **Dengan Menggunakan Bilge Keel**, kecepatan 27 knot arah gelombang 45° dan tinggi gelombang 0,7 meter



Gambar 13. RAO Heave,Roll,Pitch, **Dengan Menggunakan Bilge Keel**, kecepatan 27 knot arah gelombang 0° dan tinggi gelombang 0,7 meter

B. Perbandingan data Grafik RAO

Perbandingan data grafik pada Kapal Patroli cepat dengan dan tanpa menggunakan *Bilge Keel* dapat dilihat pada Tabel 2,3,4, dan 5 dengan menampilkan RAO antara Heave, Roll, dan Pitch dengan sudut gelombang *head Seas* 180° dan *Beam Seas* 90° pada variasi kecepatan 27 knots dan tinggi gelombang 0.7 meter

Tabel 2. Data grafik RAO Heave dan Pitch, **tanpa Bilge Keel**, kecepatan 27 knot arah gelombang 180° dan tinggi gelombang 0,7 meter

Heave RAO X (rad/s)	Heave RA	Pitch RAO X (rad/s)	Pitch RAO
0.400009	1.002878	0.400009	1.038641
0.568889	1.006719	0.568889	1.033237
0.737778	1.012321	0.737778	1.046598
0.906667	1.019906	0.906667	1.061023
1.075556	1.029709	1.075556	1.077562
1.244444	1.042036	1.244444	1.096479
1.413333	1.057274	1.413333	1.118244
1.582222	1.075915	1.582222	1.143944
1.751111	1.098591	1.751111	1.173032
1.920000	1.126118	1.920000	1.207881
2.003810	1.141898	2.003810	1.227539
2.087619	1.159293	2.087619	1.249019

Tabel 3. Data grafik RAO Heave dan Pitch, **dengan Bilge Keel**, kecepatan 27 knot arah gelombang 180° dan tinggi gelombang 0,7 meter

Heave RAO X (rad/s)	Heave RAO Y	Pitch RAO X (rad/s)	Pitch RAO Y
0.400009	1.005011	0.400009	0.305245
0.582222	1.010419	0.582222	0.547611
0.764444	1.017792	0.764444	0.677598
0.946667	1.027270	0.946667	0.765489
1.128889	1.039103	1.128889	0.830601
1.311111	1.053605	1.311111	0.883349
1.493333	1.071144	1.493333	0.930529
1.675556	1.092151	1.675556	0.975712
1.857778	1.116923	1.857778	1.018394
2.040000	1.146661	2.040000	1.064343

Pada tabel 2 dan 3 dapat dilihat hasil RAO dengan sudut gelombang 180° *following seas* untuk Gerakan Heave tanpa menggunakan *Bilge Keel* yang terbesar pada angka 1,159 Rad/s dan dengan menggunakan *Bilge Keel* terbesar pada angka 1,181 Rad/s sedangkan pada Gerakan Pitch tanpa menggunakan *Bilge Keel* yang terbesar pada angka 1,249 Rad/s dan dengan menggunakan *Bilge Keel* terbesar pada angka 1,136 Rad/s.

Tabel 4. Data grafik RAO Heave, roll dan Pitch, **tanpa Bilge Keel**, kecepatan 27 knot arah gelombang 90° dan tinggi gelombang 0,7 meter

Heave RAO X (rad/s)	Heave RA	Roll RAO X (rad/s)	Roll RAO Y	Pitch RAO X (rad/s)	Pitch RAO
0.400000	1.000662	0.400000	1.025794	0.400000	0.213149
0.515556	1.000656	0.515556	1.043583	0.515556	0.152137
0.631111	0.999912	0.631111	1.066742	0.631111	0.096518
0.746667	0.998306	0.746667	1.095945	0.746667	0.051215
0.862222	0.994405	0.862222	1.132107	0.862222	0.011732
0.977778	0.988559	0.977778	1.176455	0.977778	0.024431
1.093333	0.978576	1.093333	1.230646	1.093333	0.056351
1.208889	0.967585	1.208889	1.296993	1.208889	0.089963
1.324444	0.952128	1.324444	1.378467	1.324444	0.119744
1.440000	0.932527	1.440000	1.479695	1.440000	0.147263
1.531429	0.914144	1.531429	1.576043	1.531429	0.166054

Heave RAO X (rad/s)	Heave RAO Y (rad/s)	Roll RAO X (rad/s)	Roll RAO Y (rad/s)	Pitch RAO X (rad/s)	Pitch RAO Y (rad/s)
1.622857	0.894037	1.622857	1.696873	1.622857	0.184905

Tabel 4. Data grafik RAO Heave, roll dan Pitch, *dengan menggunakan Bilge Keel*, kecepatan 27 knot arah gelombang 90° dan tinggi gelombang 0,7 meter

Heave RAO X (rad/s)	Heave RAO Y (rad/s)	Roll RAO X (rad/s)	Roll RAO Y (rad/s)	Pitch RAO X (rad/s)	Pitch RAO Y (rad/s)
0.400000	1.004706	0.400000	1.025658	0.400000	0.774057
0.515556	1.006923	0.515556	1.043350	0.515556	0.534698
0.631111	1.008527	0.631111	1.066376	0.631111	0.384465
0.746667	1.010087	0.746667	1.093054	0.746667	0.276707
0.862222	1.011040	0.862222	1.131340	0.862222	0.192911
0.977778	1.008547	0.977778	1.175992	0.977778	0.125890
1.093333	1.000683	1.093333	1.229148	1.093333	0.073491
1.208889	0.998827	1.208889	1.294707	1.208889	0.044700
1.324444	0.993112	1.324444	1.375807	1.324444	0.030320
1.440000	0.985251	1.440000	1.476600	1.440000	0.025702
1.537778	0.969885	1.537778	1.580669	1.537778	0.117772
1.635556	0.957500	1.635556	1.709192	1.635556	0.143377

Pada tabel 4 dan 5 dapat dilihat hasil RAO dengan sudut gelombang 90° *following seas* untuk Gerakan Heave tanpa menggunakan *Bilge Keel* yang terbesar pada angka 1,000 Rad/s dan dengan menggunakan *Bilge Keel* terbesar pada angka 1,009 Rad/s sedangkan pada Gerakan Roll tanpa menggunakan *Bilge Keel* yang terbesar pada angka 1,697 Rad/s dan dengan menggunakan *Bilge Keel* terbesar pada angka 1,709 Rad/s dan terakhir Gerakan *pitch* tanpa menggunakan *Bilge Keel* yang terbesar pada angka 0,213 Rad/s dan dengan menggunakan *Bilge Keel* terbesar pada angka 0,774 Rad/s.

IV. KESIMPULAN

Kapal patroli cepat dianalisa dalam berbagai kondisi sudut gelombang melihatkan hasil dengan Gerakan *heave* yang tidak ada perbedaan yang signifikan antara kapal tanpa dan menggunakan *Bilge Keel*. Pada Gerakan *Rolling* kedua kapal menunjukkan peningkatan RAO seiring dengan peningkatan frekuensi dan tidak ada perbedaan yang signifikan. Perbedaan yang besar terletak pada Gerakan *pitch* dimana pada frekuensi rendah kapal dengan menggunakan *Bilge Keel* memiliki Gerakan *pitch* RAO yang lebih besar dari kapal yang tidak memakai *Bilge Keel* tapi angkanya mengecil dengan peningkatan frekuensi *pitch* dengan hasil yang lebih bagus dari kapal tanpa menggunakan *Bilge keel*

Dalam operasional kapal patroli cepat selalu menggunakan kecepatan tinggi diatas 25 knots ini berarti membutuhkan Gerakan Pitch yang responsif sehingga cocok digunakan dalam menjaga laut kepulauan wilayah Indonesia. Kesimpulan yang bisa diambil untuk kapal Patroli dengan menggunakan *Bilge Keel* baik dalam hal respon dan manuver terutama dalam kecepatan tinggi daripada kapal tanpa menggunakan *Bilge Keel* walaupun pada keadaan derajat kebebasan yang lain seperti Gerakan Heave dan Rolling tidak ada perbedaan yang signifikan diantara kedua kapal ini.

REFERENSI

- [1] Y. Listiyono, L. Y. Prakoso Och D. Sianturi, "Membangun kekuatan laut indonesia dipandang dari pengawal laut dan deterrence effect Indonesia," *urnal Strategi Pertahanan Laut*, vol. 5, nr 1, pp. 73-84, 2021.
- [2] M. R. Baihaque, I. U. NST, F. Zuriana, K. Panggalaira, P. A. Febrianto, Andrizal och A. Adeyandra, "Konversi Kapal Sabuk Nusantara 48 Menjadi Kapal Rumah Sakit di Wilayah Kepulauan Riau," *Jurnal Sustainable: Jurnal Hasil Penelitian dan Industri Terapan*, vol. 12, nr 1, pp. 1-6, 2023.
- [3] F. Apriansyah, M. R. Baihaque Och F. N. Akbar, "Perancangan Kapal Ikan Hemat Energi Untuk Wilayah Provinsi Kepulauan Riau," *Jurnal Jalasena*, Vol. 5, Nr 1, Pp. 1-7, 2023.
- [4] A. Nababan, D. Chrismianto Och B. A. Adietya, "Optimasi Bentuk Haluan Kapal Ferry Untuk Mendapatkan Olah Gerak Yang Terbaik Di Daerah Kepulauan Mentawai," *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 5, Nr 2, Pp. 438-445, 2017.
- [5] P. M. Fernandez, W. D. Aryawan Och G. M. Ahadyanti, "Jadwal Km Sabuk Nusantara 48 Terbaru," *Desain Fast Displacement Ship Untuk Lomba Kapal Cepat Pada Hydrocontest. Jurnal Teknik Its*, Vol. 7, Nr 2, Pp. 192-196, 2019.
- [6] Romadhoni, "Analisa olah gerak kapal di gelombang reguler pada kapal tipe axe bow," *KAPAL: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, vol. 13, nr 2, pp. 61-68, 2016.