



Pengaruh Variasi Penempatan Baterai Terhadap Stabilitas dan Olah Gerak pada Kapal Nelayan Bertenaga Listrik

Kemal Moza Atallah^a, Wiwin Sulistyawati^{a,*}

^aTeknik Peerkapalan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, Indonesia

Abstract

Current fishing boats generally still use fossil fuels as the main power source, where fossil fuels are predicted to run out in the next 40-45 years and can damage the environment. Fishermen are starting to be encouraged to use other energy sources, one of which is electricity with batteries as storage containers. Batteries that have large dimensions and weight need to be analyzed for placement on the ship and their effect on stability and motion on the ship. This thesis will discuss this on fishing boats in the North Morowali Regency area by dividing the 42 batteries used into 2 to 3 blocks and placing the blocks in different positions resulting in 3 variations of battery placement with each being VaB1, VaB2, and VaB3. As well as with 3 different load conditions. Stability simulations performed on maxsurf stability software show that VaB1 has an area under the stability curve 3% larger than VaB1 and VaB2. Meanwhile, the ship's motions simulation in ansys AQWA software shows that VaB3 has a more consistent RAO value than VaB1 and VaB2 and it can be assumed based on these results that VaB3 is the most optimal variation. If the ship's motions and stability are taken into account simultaneously, the most optimal variation is VaB3 because it has consistent motions and good stability even though the stability is not as good as VaB1. Keywords: Fishing Vessel, Battery, Stability, Motions.

Abstrak

Kapal nelayan yang ada saat ini umumnya masih menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumber daya utama, dimana bahan bakar fosil diprediksi akan habis dalam 40-45 tahun mendatang serta dapat merusak lingkungan. Nelayan mulai didorong untuk menggunakan sumber energi lain salah satunya adalah listrik dengan baterai sebagai wadah penyimpanan. Baterai yang memiliki dimensi dan berat yang besar perlu dilakukan analisis penempatannya diatas kapal dan pengaruhnya terhadap stabilitas dan olah gerak pada kapal. Skripsi ini akan membahas hal tersebut pada kapal nelayan di wilayah Kabupaten Morowali Utara dengan membagi 42 baterai yang digunakan menjadi 2 sampai 3 blok dan menempatkan blok-blok tersebut pada posisi yang berbeda beda dan menghasilkan 3 variasi penempatan baterai dengan masing-masing adalah VaB1, VaB2, dan VaB3. Serta dengan 3 kondisi muatan yang berbeda-beda. Simulasi stabilitas yang dilakukan pada perangkat lunak *maxsurf stability* menunjukkan bahwa VaB1 memiliki luasan area dibawah kurva stabilitas 3% lebih besar dibanding VaB1 dan VaB2. Sementara untuk simulasi olah gerak kapal pada perangkat lunak *ansys AQWA* menunjukkan bahwa VaB3 memiliki nilai RAO yang lebih konsisten dibandingkan VaB1 dan VaB2 dan dapat diasumsikan berdasarkan hasil tersebut bahwa VaB3 merupakan variasi paling optimal. Jika olah gerak dan stabilitas kapal diperhitungkan secara bersamaan maka variasi paling optimal adalah VaB3 karena memiliki olah gerak yang konsisten dan stabilitas yang baik meskipun tidak sebaik milik VaB1.

Kata kunci: Refrigerant; Kapal Nelayan, Baterai, Stabilitas, Olah gerak.

1. Pendahuluan

Mesin diesel yang digunakan pada kapal nelayan memiliki konsumsi bahan bakar minyak yang tinggi. Menurut (Haider, 2020) berdasarkan Administrasi Informasi Energi (EIA) cadangan minyak dunia akan habis dalam 40-45 tahun mendatang. Selain itu, bahan bakar minyak yang berasal dari fosil juga dapat merusak lingkungan. Pada tahun 2018 Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC) menemukan bahwa 89% emisi CO₂ berasal dari bahan bakar fosil dan industri. Hal ini memperburuk pemanasan global dengan kenaikan suhu lebih dari 1,5°C setiap tahunnya (ClientEarth Communications, 2022).

Kedua hal tersebut mendorong para nelayan untuk mulai beralih ke sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan. Salah satu energi alternatif yang dapat digunakan adalah energi listrik (Prananda, Koehardono dan Tjoa,

2019). kapal nelayan yang menggunakan energi listrik akan dipasang motor listrik sebagai penggerak utama dan baterai sebagai sumber tenaga utama kapal. Baterai yang berperan sebagai sumber tenaga utama kapal tentunya memiliki berat dan dimensi yang tidak kecil, hal ini menjadi tantangan karena berat dan dimensi baterai yang besar menjadi tantangan tersendiri dalam penggunaannya pada kapal-kapal nelayan (EMSA, 2020).

Dimensi baterai yang besar menjadi faktor yang dapat mengganggu stabilitas dan olah gerak kapal selama berlayar. untuk mengatasi hal tersebut, maka, perlu adanya manajemen letak penempatan baterai agar distribusi beban menjadi stabil dan tidak membahayakan para nelayan. Penelitian dari (Sudjasta et al., 2021) menyebutkan bahwa kapal nelayan dengan kapasitas 3 GT memerlukan kurang lebih 51 pcs baterai dengan total berat baterai sebesar 131 kg. Jumlah baterai yang banyak dan berat yang memerlukan penempatan yang sesuai dan efisien sehingga kapal dapat memiliki stabilitas dan olah gerak kapal yang baik.

2. Tinjauan Pustaka

Kapal dikatakan stabil apabila setelah mengalami sedikit gangguan dari posisi stabilitas awal, kapal tersebut mampu kembali ke posisi semula (Biran et al., 2003). Pada buku karya(Kemp et al., 2000) menyebutkan bahwa terdapat 3 kondisi keseimbangan pada kapal. 3 kondisi tersebut adalah keseimbangan stabil, keseimbangan netral, dan keseimbangan tidak stabil. Stabilitas kapal adalah kemampuan untuk kembali ke posisi tegak setelah terjadi kemiringan atau oleng terhadap salah satu sisi akibat gangguan yang diterima baik dari luar maupun dalam. Stabilitas sebuah kapal dipengaruhi oleh titik : Titik Berat Kapal (G), Titik Gaya Apung (B), Titik Metasenter (M), Titik Keel (K). Besaran GM (jarak antara titik M dan titik G) akan menentukan seberapa bagus stabilitas kapal. GM akan menentukan besarnya lengan Koppel (h). Lengan Koppel adalah jarak horizontal antara titik G dan titik B saat kapal mengalami kemiringan. Lengan koppel ini dapat disebut momen penegak (*righting arm*) dan didapat berdasarkan besarnya lengan penegak (GZ) dan dapat dinyatakan sebagai :

$$h = GZ = GM \sin \phi \quad (1)$$

Besarnya lengan penegak pada masing-masing sudut kemiringan kapal dapat digambarkan pada kurva lengan stabilitas dan dapat dinyatakan sebagai :

$$\text{Righting Moment} = \Delta \times GZ \quad (2)$$

Kapal yang berada di permukaan laut akan selalu berada di bawah pengaruh gaya luar yang menyebabkannya bergerak (*ship moving*) (Manik, 2012). Olah gerak (motion) kapal bergerak pada 6 derajat kebebasan (*degrees of freedom*) yang terbagi menjadi 2 jenis gerakan yaitu gerak *linear* dan gerak rotasi (Biran et al., 2003). Gerak *Linear* merupakan gerak lurus beraturan sesuai dengan sumbunya, gerak linear antara lain: *Surge* di sepanjang sumbu X, *Sway* di sepanjang sumbu Y, *Heave* di sepanjang sumbu Z. Gerak Rotasi merupakan gerak yang berputar pada masing-masing sumbu gerak rotasi antara lain: *Roll* memutar sumbu X, *Pitch* memutar sumbu Y, *Yaw* memutar sumbu Z. Olah gerak kapal dipengaruhi oleh gelombang dan dapat diketahui dengan RAO (*Respons Amplitude Operator*). RAO merupakan perbandingan hubungan antara amplitudo gerak/respon kapal dan amplitudo gelombang. RAO pada gerak linear dapat ditentukan dengan persamaan:

$$RAO_z = \frac{Z_0}{\zeta_w} (m/m) \quad (3)$$

Sementara RAO pada gerak rotasi dapat ditentukan dengan persamaan:

$$RAO_z = \frac{\theta_0}{\zeta_w} (^\circ/m) \quad (4)$$

3. Metodologi Penelitian

Simulasi Stabilitas akan dilakukan dengan perangkat lunak *Maxsurf Stability* dengan melakukan input berupa 3 kondisi muatan sebagai berikut:

1. Kondisi muatan 1, kapal berangkat dari pelabuhan ke area *fishing ground*. Pada kondisi ini *fish hold* berada pada kondisi kosong dan kondisi *consumable* penuh dengan total berat *consumable* sebesar 20 kg.
2. Kondisi muatan 2, kapal sudah berada di area *fishing ground*. Pada kondisi ini *consumable* sudah berkurang sebesar 50% sehingga tersisa berat 10 kg dan diasumsikan muatan pada *fish hold* sudah terisi sebanyak 50%.
3. Kondisi muatan 3, kapal menuju pelabuhan dari area *fishing ground*. Pada kondisi ini diasumsikan *consumable* sudah kosong dan *fish hold* berada pada kondisi penuh.

Stabilitas pada setiap kondisi muatan dan variasi baterai akan di analisis dengan kriteria IMO (International Maritime Organization) Code A.749 (18) Ch3 - design criteria applicable to all ships yang mensyaratkan ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

1. Dari sudut 0° - 30° , luasan dibawah kurva stabilitas statis (kurva GZ) harus tidak boleh kurang dari 0,055 m.radian.
2. Dari sudut 0° - 40° , luasan dibawah kurva stabilitas statis (kurva GZ) harus tidak boleh kurang dari 0,09 m.radian.
3. Dari sudut 30° - 40° , luasan dibawah kurva stabilitas statis (kurva GZ) harus tidak boleh kurang dari 0,03 m.radian.
4. Kurva GZ harus sedikitnya 0,20 m pada sudut $\geq 30^{\circ}$.
5. Tinggi metasentra GM awal harus tidak boleh kurang dari 0,15m.

Simulasi pada olah gerak kapal akan dilakukan dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan perangkat lunak *Ansys Aqwa*. Simulasi akan dilakukan pada arah gelombang 0, 90, dan 180 derajat dengan tinggi gelombang 1,5 m dan kedalaman 1000 m.

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Pemodelan Kapal dan Variasi Baterai

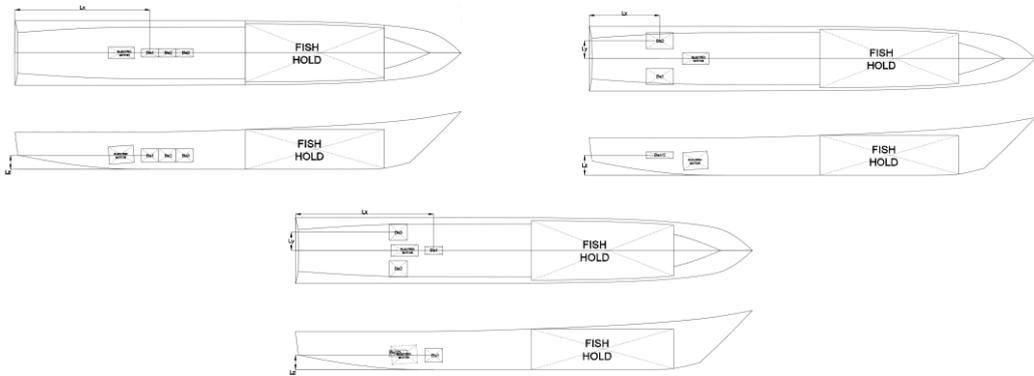
Pemodelan lambung kapal dilakukan pada software *Maxsurf Modeler* dengan acuan data ukuran pokok sebagai berikut :

Ukuran Pokok Kapal		
<i>Length Overall (LOA)</i>	9,00	m
<i>Breadth (Breadth)</i>	1,30	m
<i>Height (H)</i>	1,16	m
<i>Draft (T)</i>	0,5	m

Penelitian ini akan menggunakan 42 baterai *LiFePO₄* yang dibagi menjadi 2 hingga 3 blok dengan detail posisi sebagai berikut :

Variasi	Posisi Baterai					
	Lx (mm)		Ly (mm)		Lz (mm)	
VaB1	Ba1	2725	Ba1	0	Ba1	281
	Ba2	3075	Ba2	0	Ba2	281
	Ba3	3425	Ba3	0	Ba3	281
VaB2	Ba1	1425	Ba1	-360	Ba1	403,3
	Ba2	1425	Ba2	360	Ba2	403,3
VaB3	Ba1	2725	Ba1	0	Ba1	281
	Ba2	2025	Ba2	-360	Ba2	321,5
	Ba3	2025	Ba3	360	Ba3	321,5

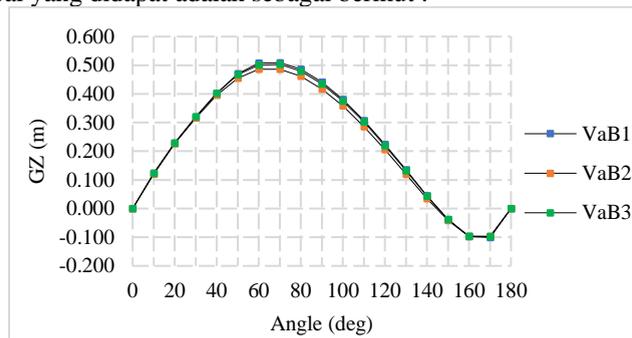
Rencana penempatan baterai pada masing-masing variasi dapat di perhatikan lebih detail pada gambar 1. VaB1 akan dibagi menjadi 3 blok baterai, VaB2 akan dibagi menjadi 2 blok baterai, dan VaB3 akan dibagi menjadi 3 blok baterai.



Gambar 1. VaB1 (kiri atas), VaB2 (kanan atas), VaB3 (tengah bawah)

4.2 Hasil Stabilitas Kapal

Hasil analisis stabilitas kapal yang didapat adalah sebagai berikut :



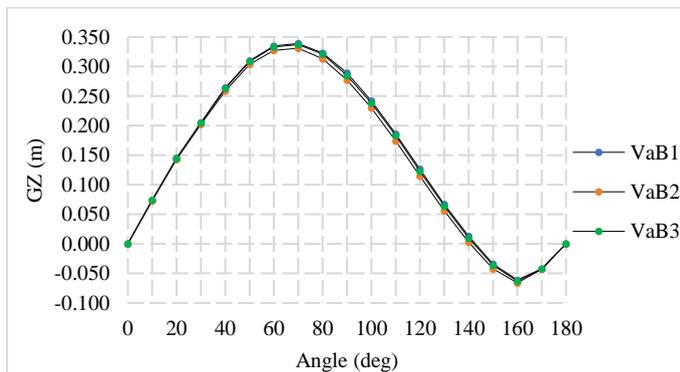
Gambar 2. Kurva GZ pada Kondisi Muat 1

Luasan area dibawah kurva paling luas ada pada VaB1. Selain itu nilai maksimum GZ terbesar juga terdapat pada VaB1 dengan nilai GZ 0,512 m pada sudut 65,5 derajat.

Tabel 3. Hasil Analisis Kondisi Muatan 1

Criteria IMO	Requirement	Actual			Status
		VaB1	VaB2	VaB3	
Area 0 to 30	0,055	0,0898	0,0884	0,0898	Pass
Area 0 to 40	0,09	0,1528	0,1507	0,1529	Pass
Area 30 to 40	0,03	0,063	0,0622	0,0631	Pass
Max GZ at 30 or greater	0,2	0,512	0,49	0,506	Pass
Angle of maximum GZ	25	65,5	64,5	65,5	Pass
Initial GMt	0,15	0,72	0,697	0,714	Pass

Pada kondisi muatan 1 ketiga variasi baterai meskipun memiliki nilai yang berbeda tetapi ketiganya tetap memenuhi kriteria.



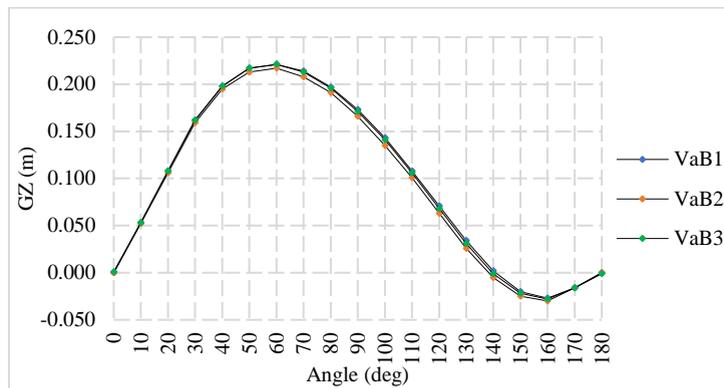
Gambar 3. Kurva GZ pada Kondisi Muat 2

Nilai maksimum GZ paling besar di kondisi muatan 2 terdapat pada VaB1 dengan nilai GZ 0,341 m pada sudut 67,3 derajat dan terkecil pada VaB2 dengan nilai 0,332 m pada sudut 67,3 derajat.

Tabel 4. Hasil Analisis pada Kondisi Muatan 2

Criteria IMO	Requirement	Actual			Status
		VaB1	VaB2	VaB3	
Area 0 to 30	0,055	0,0563	0,0555	0,0562	Pass
Area 0 to 40	0,09	0,0973	0,0958	0,0971	Pass
Area 30 to 40	0,03	0,041	0,0403	0,0409	Pass
Max GZ at 30 or greater	0,2	0,341	0,332	0,338	Pass
Angle of maximum GZ	25	67,3	67,3	67,3	Pass
Initial GMt	0,15	0,423	0,418	0,423	Pass

Pada kondisi muatan 2 ketiga variasi baterai meskipun memiliki nilai yang berbeda tetapi ketiganya tetap memenuhi kriteria.



Gambar 4. Kurva GZ pada Kondisi Muat 3

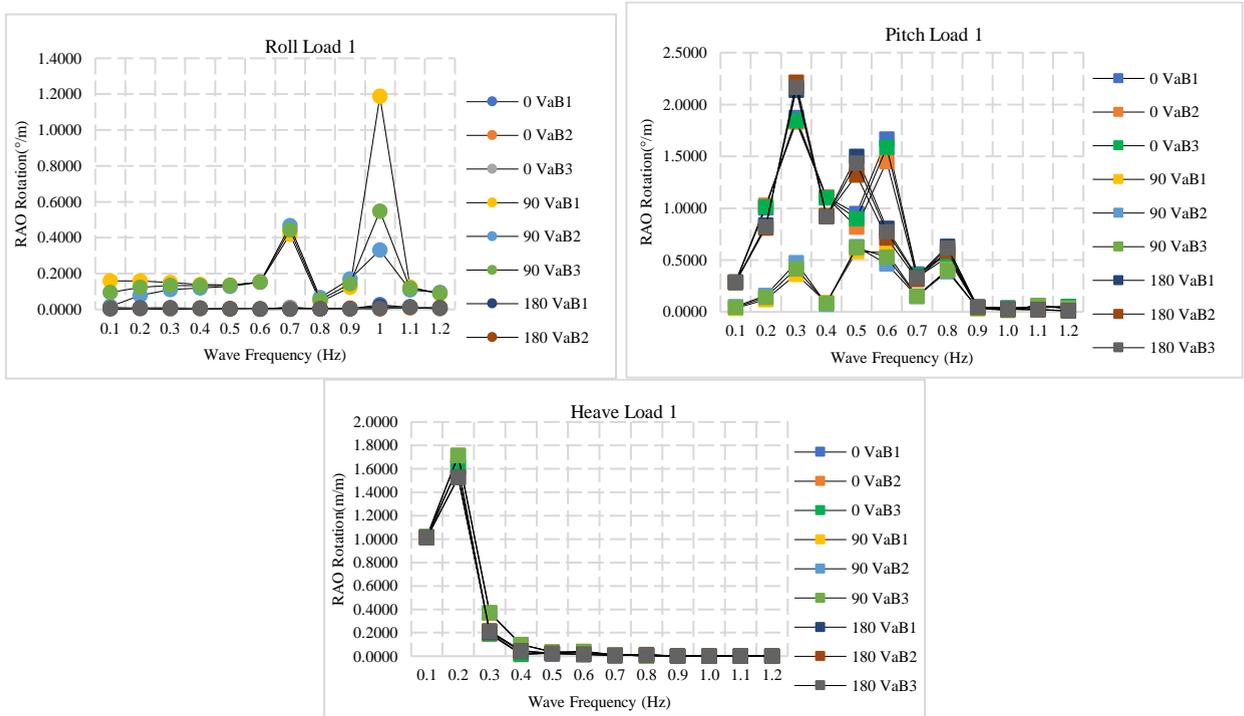
Luasan area dibawah kurva GZ pada ketiga variasi menjadi lebih kecil dibanding kondisi muatan 1 dan 2. Nilai Maksimum GZ tertinggi pada kondisi muatan 3 pada VaB1 hanya sebesar 0,221 m pada sudut 59,1 derajat.

Criteria IMO	Requirement	Actual			Status
		VaB1	VaB2	VaB3	
Area 0 to 30	0,055	0,042	0,042	0,042	Fail
Area 0 to 40	0,09	0,074	0,073	0,074	Fail
Area 30 to 40	0,03	0,032	0,031	0,032	Pass
Max GZ at 30 or greater	0,2	0,221	0,217	0,221	Pass
Angle of maximum GZ	25	59,1	57,3	58,2	Pass
Initial GMt	0,15	0,304	0,296	0,302	Pass

terlihat pada area 0 sampai 30 VaB1, VaB2, dan VaB3 memiliki luasan area yang sama besar serta ketiganya tidak ada yang memenuhi kriteria. Hal serupa juga terjadi pada area 0 sampai 40 dimana VaB1, VaB2, dan VaB3 tidak memenuhi kriteria yang ada. Pada area 30 sampai 40 VaB1, VaB2, dan VaB3 baru dapat memenuhi kriteria yang ada.

4.3 Hasil Olah gerak Kapal pada Kondisi Muat 1

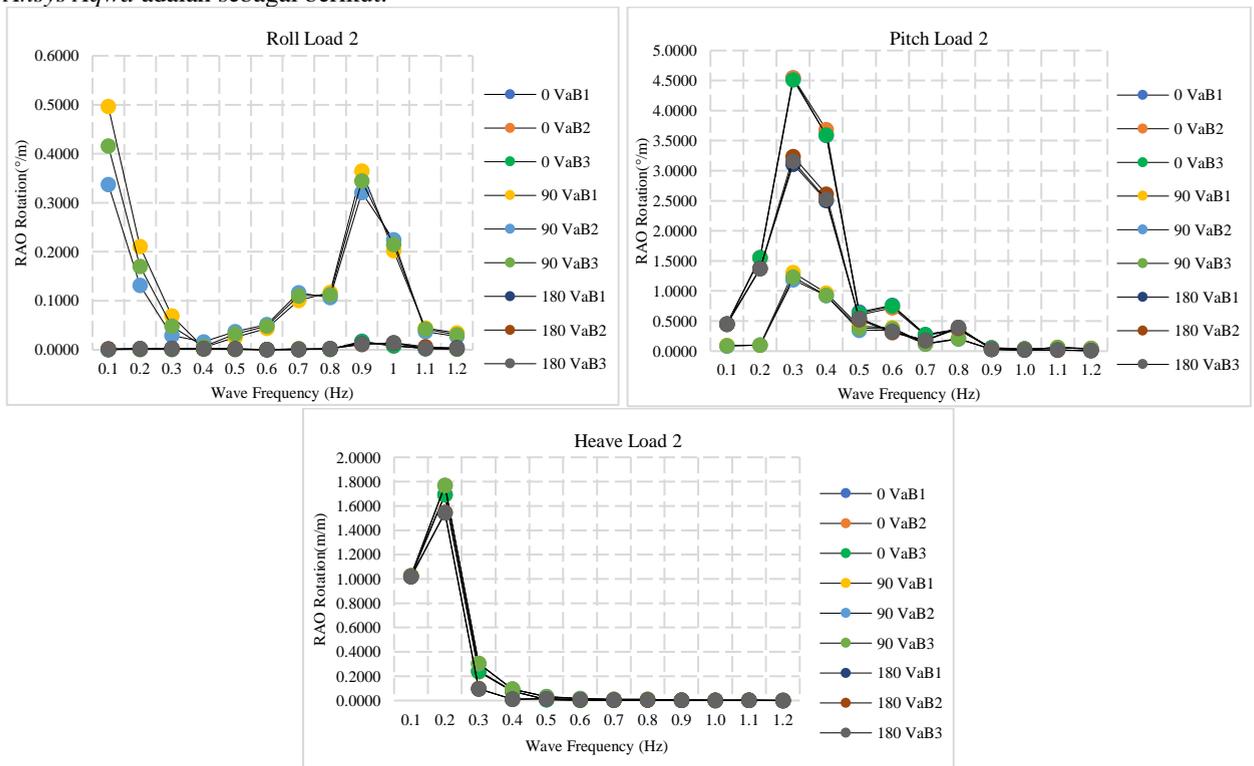
Hasil analisis olah gerak kapal pada kondisi muat 1 yang didapat dengan simulasi menggunakan perangkat lunak *Ansys Aqwa* adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Olah Gerak pada Kondisi Muat 1

4.4 Hasil Olah gerak Kapal pada Kondisi Muat 2

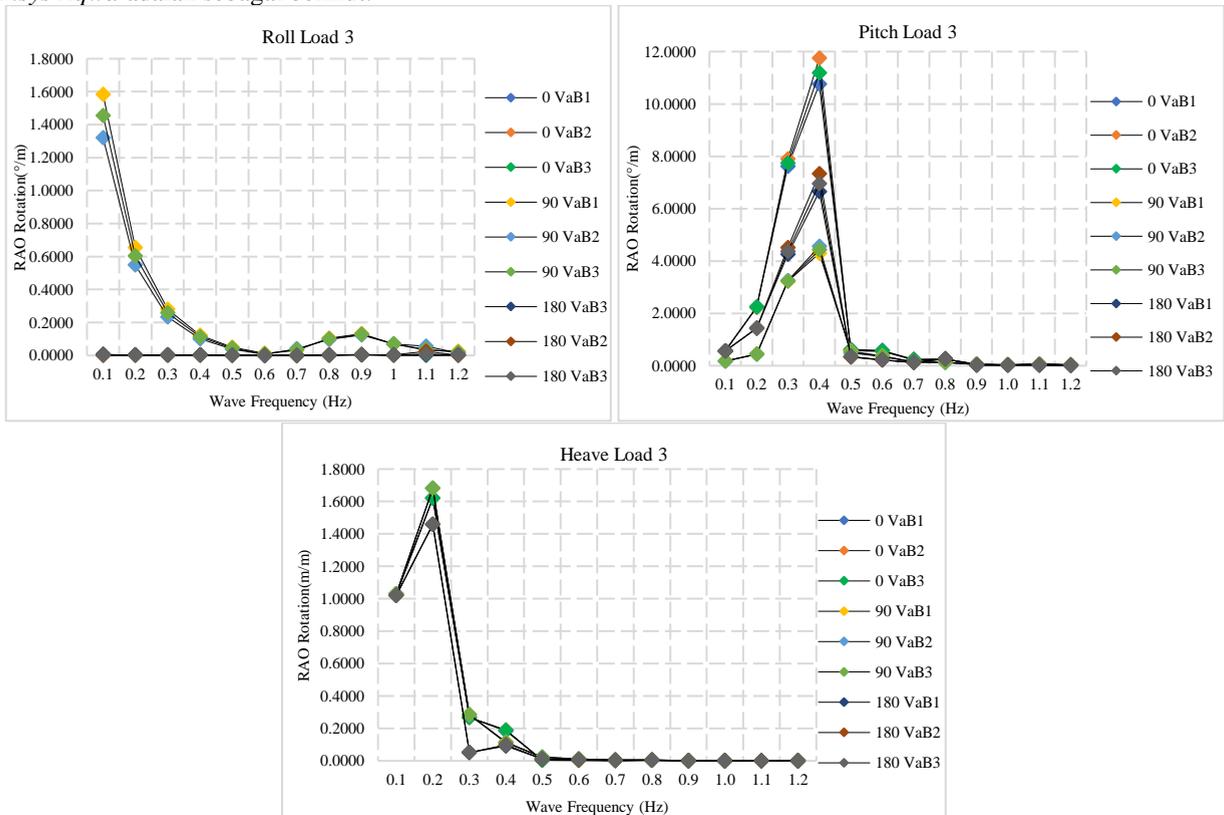
Hasil analisis olah gerak kapal pada kondisi muat 2 yang didapat dengan simulasi menggunakan perangkat lunak Ansys Aqwa adalah sebagai berikut:



Gambar 6. Olah Gerak pada Kondisi Muat 2

4.5 Hasil Olah gerak Kapal pada Kondisi Muat 3

Hasil analisis olah gerak kapal pada kondisi muat 3 yang didapat dengan simulasi menggunakan perangkat lunak *Ansys Aqwa* adalah sebagai berikut:



Gambar 7. Olah Gerak pada Kondisi Muat 3

5. Kesimpulan

1. Variasi penempatan baterai cukup berpengaruh kepada stabilitas dan olah gerak kapal, masing masing variasi memiliki nilai stabilitas dan RAO yang berbeda beda satu sama lain, meskipun ada beberapa data yang menunjukkan bahwa perubahannya tidak terlalu signifikan.
2. Variasi yang paling optimal untuk stabilitas kapal adalah VaB1 dimana variasi ini sering memiliki luasan area dibawah kurva GZ yang paling besar dengan selisih mencapai 3% jika dibanding dengan VaB2 dan VaB3. Pada VaB1 juga memiliki nilai maksimum GZ paling besar pada setiap kondisi muatan dengan rata rata selisihnya sebesar 3% dibanding VaB2 dan VaB3
3. Pada olah gerak kapal di gerak roll dengan kondisi muat 1, VaB1 cenderung memiliki nilai RAO yang paling tinggi dengan selisih sebesar 15% dengan VaB2 dan 11% dengan VaB3, sementara pada kondisi muat 3 pada gerak roll VaB2 sering kali mengalami fluktuasi nilai RAO secara tiba-tiba pada frekuensi 1,1 Hz. Pada gerak pitch dengan kondisi muat 1 VaB1 juga banyak memiliki nilai RAO yang lebih tinggi dibanding VaB2 dan VaB3 dengan selisih sebesar 5% dan 2%, serta pada kondisi muat 3 di gerak pitch VaB2 banyak memiliki nilai RAO paling tinggi dibanding VaB1 dan VaB3 dengan selisih mencapai 5%. Pada gerak heave VaB1 dan VaB2 juga banyak memiliki nilai RAO paling tinggi dibanding VaB3 meskipun selisihnya tidak sampai sebesar 1%. Tidak konsistennya nilai RAO pada VaB1 dan VaB2 dan banyaknya nilai RAO tertinggi pada kedua variasi itu membuat VaB3 dapat di asumsikan menjadi variasi penempatan paling optimal. Meskipun tidak selalu menjadi variasi

dengan nilai RAO paling rendah tapi VaB3 juga tidak banyak menghasilkan nilai RAO tertinggi pada berbagai kondisi.

4. Setelah melakukan analisis pada stabilitas dan olah gerak kapal, keduanya memiliki variasi penempatan paling optimal yang berbeda. VaB1 merupakan variasi paling optimal terhadap stabilitas, sementara VaB3 paling optimal terhadap olah gerak kapal. akan tetapi, VaB3 juga memiliki nilai stabilitas yang cukup baik dengan memenuhi kriteria IMO A.749 (18) Ch3 pada kondisi muat 1 dan 2 serta selisihnya dengan VaB1 hanya sebesar 1%. Hal ini membuat VaB3 dapat diasumsikan sebagai variasi penempatan paling optimal terhadap stabilitas dan olah gerak pada kapal.

Referensi

- Biran, A. B., Boston, A., London, H., Oxford, Y., San, P., San, D., Singapore, F., & Tokyo, S. (2003). *Ship Hydrostatics and Stability N E M A N*.
N.
- ClientEarth Communications. (2022). *Fossil fuels and climate change: the facts*. <https://www.clientearth.org/latest/latest-updates/stories/fossil-fuels-and-climate-change-the-facts/>
- EMSA. (2020). Electrical energy storage for ships. *Battery Systems for Maritime Applications – Technology, Ustainability and Safety*, May, 1–184. <http://www.emsa.europa.eu/sustainable-shipping/new-technologies/download/6186/4507/23.html>
- Haider, W. H. (2020). Estimates of total oil & gas reserves in the world, future of oil and gas companies and smart investments by E & P companies in renewable energy sources for future energy needs. *International Petroleum Technology Conference 2020, IPTC 2020*. <https://doi.org/10.2523/iptc-19729-ms>
- IMO. (2008). *Intact Stability 2009 edition* (p. 172).
- Kemp, J., Young, P., & Barras, C. (2000). Ship Stability Notes and Example. In *Elsevier* (Vol. 3, Issue August).
- Lloyd, A. R. J. M. (1989). Seakeeping ship behaviour in rough weather. *Marine Structures*, 2(2), 174–176. [https://doi.org/10.1016/0951-8339\(89\)90012-9](https://doi.org/10.1016/0951-8339(89)90012-9)
- Manik, P. (2012). Analisa Gerakan Seakeeping Kapal Pada Gelombang Regular. *Kapal*, 4(1), 1–10.
- Prananda, J., Koehardono, E. S., & Tjoa, R. C. (2019). Design of an Optimum Battery Electric Fishing Vessel for Natuna Sea. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 4(2), 111–121. <https://doi.org/10.12962/j25481479.v4i2.3455>
- Radiarta, I. N., Hasnawi, H., & Mustafa, A. (2014). Kondisi Kualitas Perairan Di Kabupaten Morowali Provinsi Sulawesi Tengah: Pendekatan Spasial Dan Statistik Multivariat. *Jurnal Riset Akuakultur*, 8(2), 299. <https://doi.org/10.15578/jra.8.2.2013.299-309>
- Sudjasta, B., Suranto, P., Montreano, D., & Rizal, R. (2021). the Design of 3 Gt Fishing Vessels Using Dc Electric Power As Driving and Electricity. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(3), 329. <https://doi.org/10.32497/jrm.v16i3.2600>
- Young, I. R. (2017). Regular, Irregular Waves and the Wave Spectrum. *Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering*, 4, 1–10. <https://doi.org/10.1002/9781118476406.emoe078>