

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi laut memegang peranan yang sangat vital dalam sistem logistik dan perdagangan internasional, terutama untuk pengangkutan komoditas dalam jumlah besar seperti minyak mentah. Kapal jenis *Very Large Crude Carrier (VLCC)* merupakan salah satu moda utama yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan distribusi energi global tersebut. Namun, seiring meningkatnya kesadaran dunia terhadap isu perubahan iklim dan keberlanjutan energi, industri maritim menghadapi tuntutan untuk menekan emisi gas rumah kaca (GRK), khususnya emisi karbon dioksida (CO_2) yang dihasilkan oleh sistem propulsi berbasis bahan bakar fosil (Lu & Ringsberg, 2019). Oleh karena itu, pengembangan teknologi propulsi alternatif yang ramah lingkungan menjadi salah satu fokus utama dalam inovasi desain kapal modern.

Salah satu teknologi yang kembali mendapat perhatian dalam beberapa tahun terakhir adalah sail rotor atau Flettner rotor, yaitu sistem propulsi tambahan yang memanfaatkan efek Magnus untuk menghasilkan gaya dorong berbasis energi angin. Teknologi ini bekerja dengan memutar silinder vertikal menggunakan motor listrik, sehingga aliran udara di sekitarnya menimbulkan perbedaan tekanan yang menghasilkan gaya angkat (lift) searah gerak kapal. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa penerapan sail rotor dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar serta menurunkan emisi karbon hingga 10–20% pada kapal niaga (De Marco et al., 2016; Lu & Ringsberg, 2019).

Selain memberikan manfaat pada efisiensi energi, penerapan sail rotor juga dapat memengaruhi karakteristik gerakan kapal, khususnya pada aspek rolling, pitching, dan heaving, akibat perubahan distribusi gaya aerodinamis dan massa pada dek (Bentin et al., 2018). Namun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada kinerja energi dan stabilitas statis, sedangkan kajian terkait respons dinamis kapal akibat variasi posisi sail rotor, terutama pada kapal tipe VLCC, masih relatif terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan untuk menganalisis pengaruh variasi penempatan sail rotor terhadap respons gerakan kapal VLCC,

meliputi rolling, pitching, dan heaving, dalam kondisi gelombang reguler (regular wave). Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Motions, yang mampu memodelkan respons dinamis kapal terhadap beban gelombang. Tiga variasi posisi rotor yang dianalisis meliputi: (1) dua rotor yang dipasang pada centerline, (2) dua rotor yang dipasang secara simetris terhadap centerline, dan (3) dua rotor yang dipasang pada sisi kiri (port side) kapal.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh posisi pemasangan sail rotor terhadap karakteristik gerakan dinamis kapal VLCC. Hasilnya diharapkan dapat menjadi referensi bagi perancangan sistem propulsi tambahan berbasis energi angin, serta berkontribusi dalam pengembangan teknologi kapal ramah lingkungan untuk mendukung efisiensi dan keberlanjutan transportasi laut di masa depan.

1.2 Rumusan Masalah

Penggunaan sail rotor pada kapal VLCC berpotensi memengaruhi karakteristik gerakan kapal akibat perubahan massa dan gaya yang ditimbulkan. Namun, kajian mengenai pengaruh penempatan rotor terhadap respons dinamis kapal masih terbatas. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini merumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pemasangan dua sail rotor pada garis tengah (*centerline*), dua sail rotor secara simetris kanan–kiri terhadap (*centerline*), dan dua sail rotor pada sisi kiri (*port side*) terhadap karakteristik gerakan rolling, pitching, dan heaving kapal VLCC dalam kondisi gelombang tidak beraturan (*irregular wave*)?
2. Penempatan sail rotor manakah yang memberikan respons gerakan paling stabil terhadap gelombang, ditinjau dari nilai Response Amplitude Operator (RAO) rolling, pitching, dan heaving?
3. Bagaimana perbandingan kurva Response Amplitude Operator (RAO) pada setiap rotor terhadap kondisi gelombang yang diberikan?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh posisi

pemasangan sail rotor terhadap respons gerakan kapal *Very Large Crude Carrier (VLCC)* dalam kondisi gelombang ireguler. Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi posisi pemasangan sail rotor, meliputi dua rotor pada garis tengah (centerline), dua rotor secara simetris terhadap centerline, dan dua rotor pada sisi kiri (port side), terhadap gerakan rolling, pitching, dan heaving kapal VLCC.
2. Menentukan posisi pemasangan sail rotor yang paling optimal dalam mengurangi amplitudo gerakan kapal, sehingga menghasilkan stabilitas dinamis yang lebih baik saat menghadapi gelombang irregular.
3. Membandingkan nilai serta grafik Response Amplitude Operator (RAO) dari setiap variasi posisi sail rotor untuk mengetahui perbedaan respons dinamis kapal terhadap pengaruh gelombang.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan diharapkan mempunyai manfaat sebagai berikut:

a. Manfaat Teoritis (Untuk Ilmu Pengetahuan)

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik perkapalan dan teknologi propulsi berbasis energi angin, melalui hal-hal berikut:

1. Memperdalam pemahaman ilmiah mengenai pengaruh variasi posisi pemasangan *sail rotor* terhadap respons gerakan kapal (rolling, pitching, dan heaving) dalam kondisi gelombang reguler.
2. Mengintegrasikan teori aerodinamika (efek Magnus) dengan teori hidrodinamika, sehingga mendorong pendekatan multidisiplin dalam analisis dan desain kapal modern.
3. Memperkuat penggunaan metode *Response Amplitude Operator (RAO)* sebagai alat evaluasi kuantitatif dalam menilai pengaruh penambahan perangkat propulsi terhadap performa dinamis kapal.
4. Memperkaya kajian akademik mengenai penerapan teknologi energi terbarukan dan desain kapal ramah lingkungan di sektor transportasi laut.

5. Menjadi literatur pendukung bagi penelitian lanjutan yang berfokus pada penerapan teknologi *wind-assisted propulsion* pada kapal skala besar, khususnya tipe tanker.
- b. Manfaat Praktis (Untuk Masyarakat, Industri, dan Institusi)
- Selain memberikan kontribusi secara teoretis, penelitian ini juga memiliki manfaat praktis bagi berbagai pihak, antara lain:
1. Industri pelayaran dan galangan kapal, sebagai referensi teknis dalam menentukan posisi sail rotor yang optimal untuk meningkatkan efisiensi energi dan stabilitas kapal.
 2. Pemerintah dan lembaga regulator maritim, sebagai masukan berbasis hasil simulasi dalam mendukung penyusunan kebijakan dan standar desain kapal rendah emisi, sejalan dengan target pengurangan karbon oleh International Maritime Organization (IMO).
 3. Masyarakat dan lingkungan, melalui penerapan teknologi propulsi berbasis angin yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca serta mendukung transportasi laut berkelanjutan.
 4. Institusi pendidikan dan peneliti, sebagai sumber data, metode, dan hasil analisis yang dapat dijadikan rujukan dalam penelitian lanjutan di bidang hidrodinamika, desain kapal, dan energi alternatif maritim.
 5. Desainer kapal dan insinyur maritim, sebagai bahan pertimbangan praktis dalam proses retrofit kapal eksisting maupun perancangan kapal baru yang berorientasi pada efisiensi energi dan keberlanjutan.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus penelitian dan agar kajian dapat dilakukan secara sistematis, penelitian ini dibatasi pada aspek-aspek berikut:

1. Jenis Kapal yang Diteliti Penelitian hanya difokuskan pada kapal jenis *Very Large Crude Carrier (VLCC)* dengan Deadweight Tonnage (DWT) sebesar 50.000 ton, yang mewakili tipe kapal tanker berskala besar.
2. Sail rotor yang dianalisis merupakan sistem propulsi tambahan, dengan jumlah dua unit rotor untuk setiap skenario pemasangan.
3. Penelitian hanya menganalisis tiga skenario pemasangan sail rotor, yaitu:

- Dua rotor pada garis tengah kapal (centerline), ditempatkan sejajar di sepanjang centerline kapal.
 - Dua rotor dipasang secara simetris di sisi kanan dan kiri kapal, berposisi seimbang terhadap garis tengah kapal.
 - Dua rotor dipasang di sisi kiri kapal (port side), dengan posisi keduanya ditempatkan mendekati lambung kiri kapal.
4. Gerakan kapal yang dikaji terbatas pada rolling, pitching, dan heaving, karena jenis gerakan ini dianggap paling dipengaruhi oleh distribusi massa dan gaya akibat pemasangan rotor.
 5. Jenis Gelombang dalam Simulasi dilakukan dengan menggunakan gelombang irregular (*irregular waves*) yang dimodelkan pada Maxsurf Motions dengan tinggi gelombang 6 m.
 6. Perangkat Lunak dan Metode yang Digunakan Penelitian ini menggunakan Maxsurf Motions sebagai perangkat simulasi numerik untuk menghitung dan membandingkan *Response Amplitude Operator (RAO)* pada setiap skenario.
 7. Kecepatan kapal menggunakan 4 variasi 3,7,9 dan 12.
 8. Aspek yang Tidak Dikaji Penelitian tidak membahas:
 - Efisiensi energi atau pengurangan konsumsi bahan bakar akibat penggunaan sail rotor.
 - Pengaruh struktur fisik sail rotor terhadap integritas atau kekuatan konstruksi kapal.
 - Aspek ekonomi atau biaya pemasangan sail rotor.

1.6 Sistematika Penulisan

➤ BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian (teoritis dan praktis), batasan masalah, serta sistematika penulisan skripsi secara keseluruhan.

➤ BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menyajikan teori-teori yang relevan sebagai dasar ilmiah penelitian,

antara lain teori gerakan kapal (rolling, pitching, heaving), prinsip efek Magnus dan sail rotor (Flettner rotor), prinsip kerja perangkat lunak Maxsurf Motions, serta hasil penelitian terdahulu yang mendukung kajian ini.

➤ **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan metode penelitian yang digunakan, meliputi pendekatan penelitian, tahapan simulasi, pemodelan kapal VLCC, skenario penempatan sail rotor yang diuji, parameter gelombang, serta metode analisis data menggunakan Response Amplitude Operator (RAO) dari Maxsurf Motions.

➤ **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi hasil simulasi untuk setiap konfigurasi sail rotor yang diuji. Hasil tersebut dianalisis dan dibandingkan berdasarkan nilai RAO untuk gerakan rolling, pitching, dan heaving, serta dilengkapi grafik, interpretasi, dan pembahasan teknis terhadap fenomena yang terjadi.

➤ **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini memuat kesimpulan yang diperoleh dari penelitian sesuai dengan tujuan yang telah dirumuskan, serta saran untuk penelitian lanjutan maupun penerapan praktis dalam industri maritim.

➤ **DAFTAR PUSTAKA**

Berisi referensi yang digunakan dalam penyusunan skripsi, berupa buku, jurnal, artikel ilmiah, dan sumber lain yang relevan.

➤ **LAMPIRAN**

Memuat data pendukung seperti hasil simulasi lengkap, parameter kapal, konfigurasi dalam Maxsurf Motions, serta dokumentasi teknis lainnya yang relevan.