

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tingginya permintaan terhadap transportasi barang dan manusia telah menjadi faktor utama dalam perkembangan infrastruktur transportasi. Berdasarkan data dari (Mamun et al., 2016), transportasi laut saat ini merupakan moda transportasi yang paling banyak digunakan. Data yang dipaparkan oleh (Johnson et al., 2014), menunjukkan bahwa sekitar 90% dari pengiriman barang global dilakukan melalui jalur laut. Peningkatan lalu lintas maritim ini secara tidak langsung mengakibatkan peningkatan permintaan bahan bakar. Ketergantungan utama pada bahan bakar fosil pada kapal menjadikan industri perkapalan sebagai kontributor signifikan terhadap emisi global, yang berkontribusi sekitar 3% dari emisi gas rumah kaca (GHG) dunia (Napolitano et al., 2019). Selain itu, konsumsi bahan bakar menjadi isu krusial karena secara langsung memengaruhi biaya operasional yang pada gilirannya berpengaruh pada tarif transportasi. Meskipun demikian, kapal tetap menjadi moda transportasi pilihan karena biaya pengiriman yang relatif rendah. Sebagai respons terhadap tantangan ini, fokus pada efisiensi bahan bakar semakin meningkat, mendorong upaya untuk mengadopsi bahan bakar alternatif bagi kapal-kapal laut.

Organisasi Maritim Internasional (IMO) telah menerapkan beberapa kebijakan untuk mengatasi emisi, termasuk *Indeks Desain Efisiensi Energi* (EEDI) (Saavedra et al., 2021) Manajemen Efisiensi Energi Kapal (SEEMP) (International Maritime Organization (IMO), 2021), (IMO, 2014). Kebijakan-kebijakan ini bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GHG) dan pada akhirnya berusaha mencapai emisi karbon nol. Gas rumah kaca merupakan penyebab utama pemanasan global, yang diperkirakan akan meningkatkan suhu global antara 3 hingga 5 derajat Celsius pada tahun 2050. Jika tidak dikendalikan, pemanasan ini dapat menyebabkan perubahan iklim yang mengancam kelangsungan hidup kehidupan di Bumi. Upaya global untuk mengurangi emisi dari sektor transportasi maritim sangat penting dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan memastikan keberlanjutan ekonomi global serta ekosistem (Guzelbulut & Suzuki, 2024). mengenai

penggunaan energi terbarukan secara luas diharapkan menjadi usaha nyata untuk mengurangi emisi GHG. Namun, seperti yang dicatat oleh (Saavedra et al., 2021), penerapan teknologi energi terbarukan memerlukan investasi besar, yang menjadikannya kurang kompetitif dibandingkan bahan bakar fosil tradisional.

Beberapa metode yang digunakan untuk mengurangi *Indeks Desain Efisiensi Energi* (EEDI) termasuk penerapan teknologi layar untuk memanfaatkan energi angin sebagai dorongan tambahan (Çalışal et al., n.d.), serta mengoptimalkan desain kapal untuk meminimalkan hambatan hidrodinamis melalui bentuk dan ukuran yang ramping (Ren et al., 2019), (Y. H. Hou et al., 2018), (Y. hang Hou et al., 2019). Selain itu, penerapan sistem propulsi yang lebih efisien, seperti mesin hemat bahan bakar atau sistem propulsi *hybrid*, berkontribusi signifikan dalam menurunkan EEDI. Beralih ke bahan bakar ramah lingkungan, seperti LNG (gas alam cair)(Felayati et al., 2025), dan menerapkan praktik manajemen operasional yang baik, seperti perencanaan rute yang optimal, juga dapat lebih meningkatkan efisiensi energi. Pemeliharaan rutin mesin dan sistem kapal juga sangat penting untuk memastikan kinerja optimal. Dengan mengadopsi strategi ini, kapal dapat mencapai pengurangan signifikan dalam EEDI mereka, yang berkontribusi pada program pengurangan emisi global. Teknologi pemantauan dan analisis data dapat membantu mengoptimalkan konsumsi energi dan kinerja keseluruhan kapal. Dengan menerapkan strategi-strategi ini, kapal dapat secara signifikan menurunkan EEDI mereka dan berkontribusi pada upaya pengurangan emisi. Sebuah studi serupa yang dilakukan oleh (H. Prastowo et al, 2024). menganalisis dampak regulasi kecepatan kapal terhadap pengurangan Carbon Intensity Indicator (CII) sebagai ukuran untuk menurunkan emisi GHG. Penelitian ini juga mempertimbangkan implikasi ekonomi dari perubahan kecepatan kapal, menyoroti keseimbangan antara pengurangan emisi dan efisiensi operasional.

Pemanfaatan potensi angin sebagai sumber energi alternatif menghadapi beberapa keterbatasan, seperti fluktuasi kecepatan angin, seperti yang dicatat oleh (S. Suwarno et al., 2023). Keterbatasan ini mendorong berbagai inovasi dalam penerapan teknologi layar, terutama dalam mengoptimalkan bentuk dan ukuran

layar untuk meningkatkan dorongan dan efisiensi energi. Penelitian terkait penggunaan layar canggih telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Misalnya, (Formosa et al., 2023). meneliti korelasi positif antara parameter layar layang dan gaya aerodinamis, yang menunjukkan dampaknya terhadap dorongan tambahan. Demikian pula mengeksplorasi potensi penghematan energi hingga 36% ketika layar kaku diposisikan pada sudut optimal. Penelitian tentang sistem berbasis rotor juga telah banyak dilakukan (M. N. Nyanya et al., 2021), fokus pada mengoptimalkan bentuk rotor dan hubungan mereka dengan pembangkitan energi. Penelitian oleh Suwarno et al. dan Ismaiel A. et al. menyimpulkan bahwa bentuk dan dimensi rotor memengaruhi turbulensi, yang pada gilirannya memengaruhi jumlah daya yang dihasilkan oleh sistem. Artikel ini akan mengeksplorasi pengaruh parameter dimensi rotor dan potensi lingkungan dalam mengurangi emisi, meningkatkan *Indeks Desain Efisiensi Energi* (EEDI), dan mencapai penghematan energi pada model *sail rotor*. Analisis ini penting untuk menentukan bentuk ukuran rotor optimal untuk kapal.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana Pengaruh desain geometri *Sail rotor* tertentu terhadap Efisiensi Gaya Dorong?
2. Bagaimana potensi daya (power) yang dihasilkan sail rotor dengan kecepatan angin 5,10 dan 15 m/s ?
3. Bagaimana perbandingan efisiensi energi antara penggunaan rotor – tanpa rotor pada desain kapal?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui pengaruh desain *sail rotor* terhadap efisiensi gaya dorong yang dihasilkan pada kapal, serta optimalisasi sudut kemiringan untuk meningkatkan performa propulsi.
2. Menghitung potensi daya (power) yang dihasilkan oleh *sail rotor* dengan variasi sudut *sail rotor* kemiringan tertentu pada kecepatan angin 5,10 dan 15 m/s, untuk mengetahui seberapa besar kontribusi *sail rotor* terhadap efisiensi energi pada kapal.

3. Menganalisis perbandingan efisiensi energi antara penggunaan *sail rotor* dan tanpa *sail rotor* pada desain kapal, untuk menilai potensi penghematan energi dan keuntungan lingkungan dari penerapan teknologi *sail rotor*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Memberikan kontribusi terhadap pengembangan pengetahuan dalam bidang desain kapal, khususnya terkait dengan penggunaan *sail rotor* untuk meningkatkan efisiensi energi kapal. Penelitian ini juga diharapkan dapat memperkaya kajian mengenai *advance sail rotor* dan penerapannya dalam konteks kapal *Very Large Crude Carrier (VLCC)*, serta memberikan wawasan lebih dalam mengenai pengaruh kecepatan angin terhadap rotor.

2. Manfaat Praktis

Memberikan rekomendasi desain *advance sail rotor* yang dapat diimplementasikan pada *Very Large Crude Carrier (VLCC)* untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi emisi CO₂. Penelitian ini juga dapat menjadi acuan bagi industri perkapalan dalam upaya menciptakan kapal yang lebih ramah lingkungan dan memenuhi standar yang ditetapkan oleh International Maritime Organization (IMO).

3. Manfaat Lingkungan

Mendukung upaya pengurangan emisi karbon dalam sektor perkapalan dengan menyediakan alternatif sistem propulsi yang lebih efisien melalui pemanfaatan energi angin. Penelitian ini dapat berkontribusi pada pencapaian target *zero carbon* dalam industri maritim dan mempercepat transisi menuju penggunaan energi terbarukan yang lebih bersih.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini akan dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Jenis Kapal

Penelitian ini hanya akan fokus pada desain dan analisis kapal *Very Large Crude Carrier (VLCC)*

2. Model Rotor

Penelitian ini akan mengkaji penggunaan *sail rotor*. Desain rotor yang dianalisis tidak akan mencakup teknologi lainnya seperti *wing sails* atau *kite sails*, penelitian ini adalah studi awal menggunakan model skala 1:8 karena keterbatasan komputasi

3. Kecepatan Angin

Simulasi dan analisis akan dilakukan pada tiga variasi kecepatan angin, yaitu 5 m/s, 10 m/s, dan 15 m/s, untuk mengamati pengaruh perubahan kecepatan angin terhadap kinerja rotor dan efisiensi energi kapal.

4. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan perangkat lunak ANSYS untuk menganalisis performa desain *sail rotor* pada *Very Large Crude Carrier (VLCC)* menggunakan model *turbulensi k-ε* dan *mesh independence test*. Analisis akan difokuskan pada perhitungan *Energy Efficiency Design Index (EEDI)* untuk membandingkan kapal dengan dan tanpa *sail rotor*.

Perbandingan dengan penelitian sebelumnya akan difokuskan pada trend relatif performa antar variasi geometri, bukan nilai absolut koefisien aerodinamis.

5. Batasan Waktu dan Sumber Daya

Penelitian ini dilakukan dalam rentang waktu tertentu dan menggunakan sumber daya simulasi yang tersedia, tanpa melibatkan uji lapangan atau eksperimen fisik langsung pada model kapal.