

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kemajuan dalam industri pelayaran sangat berpengaruh besar terhadap peningkatan ekonomi global, hal ini disebabkan karena industri pelayaran telah berkontribusi besar terhadap pengangkutan barang global. Sektor pelayaran telah mengangkut total lebih dari 80% barang di seluruh dunia (K. Wang et al. 2025). Meskipun berdampak signifikan terhadap ekonomi, industri ini juga merupakan penghasil utama emisi gas rumah kaca. Hal ini disebabkan sebagian besar kapal niaga di dunia saat ini masih bergantung terhadap bahan bakar fosil sebagai bahan bakar mesin pada sistem *heavy fuel oil* propulsi kapal (Z. Wang et al. 2025). Jenis bahan bakar yang umum digunakan saat ini yaitu (HFO) dan *marine diesel oil* (MDO) yang memiliki kandungan sulfur yang tinggi (Zhao et al. 2021). Industri pelayaran telah menyumbang 2,9% dari total emisi karbon global, dengan menghasilkan lebih dari 800 juta ton karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) setiap tahunnya (Li & Tang 2024). Penggunaan HFO tidak hanya menghasilkan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dalam jumlah besar, tetapi juga menyumbang pada pencemaran udara melalui emisi sulfur oksida (SO<sub>x</sub>) dan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), yang berkontribusi terhadap pemanasan global, hujan asam, dan gangguan Kesehatan (Zhao et al. 2021).

*International Maritime Organization* (IMO) melalui *Marine Environment Protection Committee* (MEPC) pada tahun 2018 telah membuat kebijakan yang bertujuan untuk mengurangi emisi karbon sebesar 20% sampai 30% pada tahun 2030 dan mengurangi emisi karbon sebesar 70% sampai 80% pada tahun 2040 dibandingkan tahun 2008 (International Maritime Organization. 2023). Hal ini membuat industri perkapalan harus memikirkan solusi teknologi yang ramah lingkungan dan hemat energi. Salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu dengan beralih ke sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, propulsi angin, dan gas alam cair dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil.

Selain kebijakan IMO yang menuntut pengurangan emisi karbon, alasan industri pelayaran untuk beralih ke energi terbarukan juga disebabkan karena adanya kenaikan harga bahan bakar minyak yang membuat biaya operasional meningkat. Salah satu cara untuk menekan biaya operasional dilakukan penurunan kecepatan hingga 12 knot (Zhang et al. 2023). Hal ini dilakukan didasarkan pemahaman bahwa menurunkan kecepatan kapal hingga 20% dapat menghemat bahan bakar sebesar 40% yang membuat kapal dapat memenuhi regulasi emisi IMO seperti *Energy Efficiency Design Index* (EEDI), *Energy Efficiency Existing Ship Index* (EEXI), dan *Carbon Intensity Indicator* (CII) (Zhang et al. 2023). Penurunan kecepatan memungkinkan layar untuk digunakan untuk propulsi bantu. Propulsi Tenaga angin dapat meningkatkan efisiensi energi dan emisi karbon yang dihasilkan oleh industri pelayaran. Hal ini membuat teknologi layar kembali menjadi fokus penelitian yang digunakan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi karbon pelayaran.

Pada dasarnya propulsi dengan tenaga angin sudah ada sejak 3100 SM. Sebelum kapal menggunakan mesin untuk sistem propulsi pada saat ini, layar telah digunakan sebagai sistem propulsi (Li & Tang 2024). Namun setelah adanya revolusi industri penggunaan layar semakin ditinggalkan dikarenakan dianggap kurang efektif, karena tergantung terhadap angin, cuaca dan musim. Namun sekarang dengan perkembangan yang ada memungkinkan sistem propulsi dengan layar digabungkan dengan sistem propulsi konvensional pada saat ini. Sistem propulsi dengan layar secara efektif dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi karbon dikarenakan layar dapat menambah daya dorong yang dibutuhkan untuk mendorong kapal maju dan tidak memerlukan bahan bakar fosil.

*Wind Assisted Propulsion System* (WAPS) merupakan teknologi propulsi kapal dengan konsep layar yang digunakan untuk menambah daya dorong pada sistem propulsi konvensional. *Wind Assisted Propulsion System* (WAPS) menggunakan energi angin dengan menciptakan gaya aerodinamis untuk menciptakan dorongan ekstra, sehingga dapat mengurangi penggunaan bahan bakar dan mengurangi emisi karbon secara signifikan. Teknologi propulsi bantu seperti *rigid sails*, *rotor flettner*, *kite sails*, memiliki potensi dalam meningkatkan efisiensi bahan bakar, mengurangi emisi karbon (Zhang et al. 2025).

Di antara berbagai jenis *Wind Assisted Propulsion System* (WAPS) yang telah dikembangkan, layar kaku atau *rigid sail* dikenal sebagai salah satu teknologi paling potensial untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas rumah kaca pada kapal. *Rigid sail* merupakan sistem layar berbentuk tetap yang dirancang khusus untuk memaksimalkan pemanfaatan tenaga angin sebagai sumber dorong tambahan (Zhang et al. 2025). Tidak seperti layar konvensional berbahan kain yang fleksibel dan bergantung pada pengaturan manual, *rigid sail* memiliki bentuk struktural yang kaku dan profil aerodinamis tinggi sehingga mampu menghasilkan gaya dorong (*thrust*) secara lebih stabil dan efisien, bahkan dalam kondisi angin yang tidak ideal.

Secara desain, *rigid sail* sering kali menyerupai sayap vertikal pesawat dengan bentuk *Airfoil* yang memungkinkan terciptanya perbedaan tekanan antara sisi angin datang dan sisi belakang, sehingga terbentuk gaya angkat yang mendorong kapal ke depan. Konsep dasar ini didasarkan pada prinsip aerodinamika *Airfoil*, di mana peningkatan sudut serang (*angle of attack*) hingga batas tertentu akan meningkatkan gaya angkat, namun juga disertai peningkatan gaya hambat (*drag*). Oleh karena itu, desain *rigid sail* harus mempertimbangkan keseimbangan antara kedua gaya tersebut.

Bentuk penampang pada *rigid sail* sangat berpengaruh terhadap performa aerodinamika *Rigid sails*. Pada study sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai bentuk penampang *rigid sails*, penelitian tersebut menyimpulkan bahwa *Airfoil* dengan bentuk penampang bulan sabit memberikan gaya dorong yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan *Airfoil* dengan tipe NACA0015 (Guzelbulut, Badalotti & Suzuki 2024a). Hal ini yang mendorong penulis untuk memilih *Airfoil* dengan bentuk penampang bulan sabit.

Selain keunggulan teknisnya, *rigid sail* juga dapat dikombinasikan dengan sistem propulsi konvensional seperti mesin diesel, LNG, atau sistem hibrida. Dalam banyak kasus, teknologi ini mampu memberikan penghematan bahan bakar hingga 10–30%, tergantung pada rute pelayaran, kondisi angin, dan ukuran kapal (Li et al. 2026). Potensi pengurangan emisi karbon pun sangat signifikan, menjadikan *rigid sail* sebagai alternatif yang sangat relevan dalam menghadapi tuntutan dikarbonisasi global (Li et al. 2026).

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, *rigid sail* menunjukkan potensi besar untuk diadopsi pada kapal niaga yang beroperasi di jalur pelayaran tropis dan musonal, seperti di perairan Indonesia, yang memiliki pola angin yang cukup konsisten sepanjang tahun. Oleh karena itu, kajian terhadap desain, efisiensi, dan kelayakan penerapan *rigid sail* menjadi penting dalam rangka mendorong transformasi industri pelayaran nasional menuju sistem yang lebih hemat energi dan berkelanjutan.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa gaya dorong yang dihasilkan oleh *rigid sails* hasil aplikasi *Airfoil* dengan bentuk penampang bulan sabit?
2. Berapa hambatan yang terjadi pada kapal ketika dipasang *rigid sails* sebagai propulsi bantu?

3. Berapa penghematan bahan bakar yang dihasilkan oleh *rigid sails* hasil aplikasi *Airfoil* dengan bentuk penampang bulan sabit pada kapal Tanker 5000 DWT?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui gaya dorong yang dihasilkan oleh *rigid sails* hasil aplikasi *Airfoil* dengan bentuk penampang bulan sabit!
2. Mengetahui hambatan yang terjadi pada kapal ketika dipasang *rigid sails* sebagai propulsi bantu!
3. Mengetahui penghematan bahan bakar yang dihasilkan oleh *rigid sails* hasil aplikasi *Airfoil* dengan bentuk penampang bulan sabit!

### **1.4 Manfaat Penelitian**

1. Memberikan solusi teknologi terbaru untuk industri pelayaran
2. Mengetahui efisiensi *Airfoil* dengan bentuk penampang bulan sabit dalam pengaplikasian *rigid sails* pada sistem *Wind Assisted Propulsion System* (WAPS)
3. Mendukung kebijakan pengurangan emisi karbon pada industri maritim

### **1.5 Batasan Masalah**

1. Fokus pada analisis aerodinamika *Airfoil* dengan bentuk penampang bulan sabit
2. Simulasi dilakukan dengan perangkat lunak *Computational Fluid Dynamics* (CFD)
3. Studi kasus berdasarkan kapal tanker 5000 DWT.

### **1.6 Luaran Penelitian**

*Output* dari penelitian ini yaitu berupa:

1. Haki
2. Jurnal atau artikel ilmiah

*Halaman ini sengaja dikosongkan*