

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi dunia terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri, sementara ketersediaan semakin menipis namun penggunaan sumber energi fosil seperti batu bara, minyak, dan gas bumi dalam bauran energi global masih sangat tinggi, dengan kontribusi mencapai 82% menurut laporan *Statistical Review of World Energy* dari Energy Institute[1]. Ketergantungan ini tidak hanya berdampak pada tingginya biaya operasional, tetapi juga meningkatkan emisi gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global. Kondisi ini menjadi tantangan bagi sektor maritim nasional di tengah dorongan global untuk menuju transportasi laut yang lebih efisien serta memperkuat urgensi pengembangan serta pemanfaatan energi terbarukan sebagai solusi berkelanjutan untuk menurunkan emisi, mengurangi ketergantungan pada sumber daya tak terbarukan, dan mendorong transisi menuju sistem energi yang lebih ramah lingkungan.

Di antara berbagai alternatif energi baru terbarukan, pemanfaatan energi angin untuk sistem propulsi kapal kembali mendapatkan perhatian melalui konsep *Wind-Assisted Ship Propulsion (WASP)*. Energi angin memiliki potensi besar di wilayah perairan Indonesia, dengan kecepatan angin pesisir yang berkisar antara 5–8 m/s yang relatif stabil sepanjang tahun. Teknologi Flettner Rotor, atau rotor efek Magnus merupakan sebuah silinder vertikal yang dipasang pada badan kapal dan berputar pada porosnya. Efek Magnus sendiri berhubungan dengan hukum Bernoulli, di mana perputaran rotor menyebabkan perbedaan kecepatan aliran udara di sekitar silinder. Kecepatan udara yang lebih tinggi di satu sisi rotor menghasilkan tekanan yang lebih rendah dibandingkan sisi lainnya, sehingga tercipta gaya angkat atau dorong lateral yang membantu menggerakkan kapal[2] Flettner Rotor merupakan salah satu teknologi WASP yang telah terbukti mampu memberikan gaya dorong tambahan pada kapal melalui perbedaan tekanan akibat putaran silinder. Dari studi internasional yang telah dilakukan oleh *Ruihua Lu* dan *Jonas W. Ringsberg* menunjukkan bahwa rotor ini mampu menghasilkan penghematan bahan

bakar 5–23% per kapal per tahun tergantung kondisi angin dan rute pelayaran [3].dari sebuah studi yang dilakukan pada kapal E-Ship 1, penggunaan untuk empat flettner rotor pada sebuah kapal dapat menghemat konsumsi bahan bakar hingga 25% dengan 15% penghematan ini berasal dari teknologi ini[4]

Meskipun demikian, rotor Flettner konvensional memiliki kelemahan utama yaitu membutuhkan suplai energi eksternal untuk memutar rotor, umumnya menggunakan motor listrik berdaya besar. Hal ini dapat mengurangi keuntungan energi bersih jika tidak diimbangi dengan sumber energi yang efisien. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan inovasi yang memungkinkan rotor dapat berputar tanpa beban energi tambahan, salah satunya melalui integrasi dengan turbin angin vertikal tipe Savonius. Turbin Savonius mampu memanfaatkan angin dari berbagai arah dan memiliki kemampuan self-starting yang baik, serta kemampuan beroperasi pada kecepatan angin rendah dan struktur yang sederhana sehingga berpotensi memutar rotor tanpa motor penggerak[5].

Penelitian mengenai peningkatan performa aerodinamika rotor telah banyak dilakukan mengembangkan desain Flettner rotor tipe baru dengan memodifikasi geometri silinder melalui penambahan elemen seperti *endplate* dan *grooved surface*. Hasil simulasi CFD dan pengujian terowongan angin menunjukkan bahwa desain baru tersebut mampu meningkatkan gaya angkat hingga 10–40% dibandingkan rotor konvensional. Selain itu, modifikasi geometri tersebut juga meningkatkan rasio lift-to-drag, sehingga efisiensi propulsi rotor bertambah[6]. Hal tersebut membuktikan bahwa perbaikan bentuk rotor secara langsung dapat meningkatkan performa aerodinamika dan efisiensi energi, menjadi dasar penting pengembangan rotor untuk aplikasi rekayasa modern seperti rotor angin pada kapal.

Penelitian ini mengembangkan Magnus–Savonius, yaitu Flettner rotor yang silindernya dimodifikasi menjadi sudu lengkung agar rotor mampu melakukan self-starting sehingga rotor dapat berputar secara alami oleh angin laut tanpa memerlukan motor penggerak. Perputaran rotor tersebut tidak hanya menghasilkan gaya Magnus sebagai gaya dorong tambahan, tetapi juga memungkinkan pemanfaatan energi rotasi untuk menghasilkan daya listrik melalui generator karena rotor tipe ini memiliki self-starting capability yang baik pada kecepatan angin

rendah, sehingga efektif menghasilkan torsi awal untuk memutar generator. Sejalan dengan itu, beberapa penelitian sistem wind-turbine di kapal menunjukkan bahwa pemanfaatan rotasi rotor sebagai sumber listrik tambahan dapat mengurangi beban kerja generator utama dan meningkatkan efisiensi energi kapal. Dengan demikian, integrasi rotor dengan sistem penyimpanan energi berpotensi memberikan peningkatan performa energi kapal secara signifikan[7].

Sebagai tahap awal penelitian, pengujian dilakukan menggunakan kapal nelayan sebagai platform prototype. Meskipun Flettner rotor lebih ideal diterapkan pada kapal kargo besar, penggunaan kapal kecil memungkinkan pengujian dinamis pada kondisi angin nyata di laut. Rotor Magnus-Savonius ini dipasang secara vertikal pada geladak kapal dan dibiarkan berputar oleh angin tanpa bantuan motor penggerak, sehingga putarannya mencerminkan respons alami rotor terhadap variasi kecepatan dan arah angin. Energi mekanik dari putaran rotor kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan gaya dorong melalui efek Magnus serta dikonversi menjadi energi listrik melalui generator yang terhubung langsung pada poros. Selama pengujian, parameter-parameter seperti kecepatan angin, putaran rotor (RPM), tegangan dan arus keluaran generator, serta kecepatan kapal diukur untuk menganalisis hubungan antara kondisi angin dengan performa rotor.

Melalui laporan tugas akhir ini dengan memadukan prinsip kerja turbin Savonius dan efek Magnus dalam kondisi nyata di pantai, sistem ini diharapkan dapat menghasilkan gaya dorong kapal dan dapat memutar rotor tanpa motor penggerak eksternal. Penelitian ini akan memfokuskan pada pengukuran tegangan ( $V$ ), arus ( $I$ ) yang dihasilkan, kecepatan putaran ( $rpm$ ), daya yang dihasilkan ( $P$ ), dan kecepatan laju kapal ( $U_K$ ), untuk menilai sejauh mana efektivitas desain ini dalam menghasilkan daya listrik dan gaya dorong tanpa sumber daya eksternal. Hasilnya diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata serta inovasi dalam pengembangan sistem propulsi berbasis angin yang efisien dan berkelanjutan terkhususnya di propulsi kapal dan energi terbarukan perairan maritim.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, penelitian ini difokuskan untuk menganalisis karakteristik rotor efek magnus dengan sudu lengkung yang

diuji di Pantai dan melalui parameter putaran, kecepatan angin, serta kecepatan laju kapal, sekaligus mengevaluasi kinerjanya sebagai turbin savonius dalam menghasilkan potensi energi listrik tambahan berupa arus dan tegangan dari generator terhadap variasi kecepatan serta arah angin yang tersedia.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh karakteristik rotor efek magnus dengan sudu lengkung melalui analisis parameter putaran, kecepatan angin, dan kecepatan laju kapal, serta menentukan tingkat efektivitas kinerjanya sebagai turbin savonius yang berpotensi menghasilkan energi listrik tambahan dalam bentuk arus dan tegangan melalui generator terhadap pengaruh kecepatan serta arah angin.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pemanfaatan energi angin melalui inovasi pada rotor efek Magnus dengan sudu lengkung. Dengan adanya penelitian ini, berbagai manfaat yang dapat diperoleh antara lain:

1. Menghasilkan rotor efek Magnus dengan sudu lengkung yang dapat diuji di atas kapal nelayan sebagai sumber energi listrik dan gaya dorong (*thrust*) tambahan propulsi kapal.
2. Masyarakat maritim dapat memanfaatkan energi angin sebagai sumber daya alternatif yang lebih efisien untuk membantu propulsi kapal atau kebutuhan energi lainnya.
3. Industri dapat mengembangkan dan memproduksi teknologi rotor efek Magnus yang dimodifikasi sebagai solusi inovatif dalam pemanfaatan energi angin untuk transportasi dan pembangkit energi terbarukan.
4. Mendukung peningkatan penggunaan energi terbarukan dalam sektor maritim dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, sehingga membantu mengurangi dampak lingkungan dan pemanasan global.

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan rotor dengan dua sudu lengkung pada rotor sebagai silindernya.
2. Pengujian dilakukan di kondisi lapangan terbuka (pantai/laut) dengan kecepatan angin alami, sehingga variasi angin, ombak, dan arus laut tidak dapat dikontrol sepenuhnya.
3. Penelitian ini tidak membandingkan kondisi kapal saat rotor tidak berputar, karena fokus penelitian adalah pada respons sistem rotor saat beroperasi dan menghasilkan efek Magnus.
4. Sumber putaran rotor sepenuhnya mengandalkan hembusan angin alami, tanpa menggunakan motor listrik atau penggerak eksternal lainnya.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan proposal tugas akhir ini disusun untuk memberikan gambaran yang jelas dan terstruktur mengenai alur penelitian. **BAB I Pendahuluan** yang membahas latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan. **BAB II Tinjauan Pustaka** yang menguraikan landasan teori yang relevan terutama prinsip kerja efek magnus, *Flettner rotor*, turbin savonius, serta penelitian-penelitian terdahulu yang mendukung topik ini. **BAB III Metodologi**, yang menjelaskan metode perancangan, metode pembuatan rotor, serta metode pengujian lapangan terhadap rotor efek magnus yang telah dimodifikasi dengan empat sudu, untuk mengetahui karakteristik kinerjanya di kondisi nyata.

