

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) semakin menjadi perhatian utama sebagai solusi untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta menekan dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu sumber EBT yang memiliki potensi besar adalah energi angin, yang dapat menghasilkan listrik secara berkelanjutan dan ramah lingkungan. Indonesia memiliki potensi energi angin yang cukup besar, terutama di daerah pesisir seperti Pantai Padang, dengan kecepatan angin rata-rata 5–10 m/s [1]. Indonesia memiliki garis pantai yang sangat panjang, yaitu lebih dari 108.000 km, yang memberikan peluang besar untuk pemanfaatan energi angin di berbagai wilayah pesisir [2]. Meskipun demikian, pemanfaatan energi angin di Indonesia masih tergolong rendah. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), total kapasitas terpasang pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia pada tahun 2024 hanya mencapai 152,3 MW, jauh lebih rendah dibandingkan potensi total yang mencapai 154,6 GW [3].

Salah satu alasan utama pentingnya pengembangan energi terbarukan adalah dampaknya terhadap efek rumah kaca (ERK) dan perubahan iklim. Pembakaran bahan bakar fosil dalam sektor energi telah menyebabkan peningkatan emisi karbon dioksida (CO_2) dan gas rumah kaca lainnya, yang kemudian memerangkap panas di atmosfer dan berkontribusi terhadap kenaikan suhu global. Konsekuensi dari perubahan iklim akibat efek rumah kaca mencakup peningkatan cuaca ekstrem, pencairan es di kutub, serta kenaikan permukaan air laut yang berisiko mengancam wilayah pesisir [4]. Oleh karena itu, diperlukan upaya serius untuk mengurangi emisi gas rumah kaca melalui transisi energi ke sumber yang lebih ramah lingkungan, seperti pembangkit listrik tenaga angin.

Turbin angin sumbu horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine*/HAWT) merupakan teknologi yang paling umum digunakan dalam pembangkit listrik tenaga angin karena memiliki efisiensi aerodinamis yang lebih tinggi dibandingkan

dengan turbin sumbu vertical [5]. Namun, tantangan utama dalam pemanfaatan turbin angin di Indonesia adalah rendahnya efisiensi konversi energi angin akibat turbulensi dan kehilangan energi pada aliran udara yang melewati sudu turbin. Salah satu inovasi yang dikembangkan untuk mengatasi permasalahan ini adalah turbin angin propeler dua tingkat dengan putaran berlawanan arah (HA-CRWT/Horizontal Axis- Counter-Rotating Wind Turbines). Teknologi ini dirancang untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi angin dengan memanfaatkan dua tingkat propeler yang berputar berlawanan arah, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan energi angin secara keseluruhan [6].

Pemilihan lokasi pesisir seperti Pantai Padang untuk pemasangan turbin angin sangat tepat karena beberapa alasan utama. Wilayah pesisir memiliki kecepatan angin yang lebih konsisten dibandingkan daerah pedalaman, yang sangat penting untuk menjaga kestabilan produksi energi. Selain itu, minimnya hambatan fisik seperti pegunungan dan gedung tinggi di pesisir membantu mengurangi turbulensi yang dapat menurunkan efisiensi turbin angin [7]. Wilayah pesisir juga sering kali belum sepenuhnya terjangkau oleh jaringan listrik nasional, sehingga turbin angin skala kecil dapat menjadi solusi efektif dalam menyediakan sumber energi alternatif bagi masyarakat setempat.

Meskipun penelitian mengenai turbin angin di Indonesia sudah cukup berkembang, masih terdapat kesenjangan dalam studi terkait pengujian eksperimental HA-CRWT dengan daya 600 watt. Sebagian besar penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Chihaia et al. hanya membahas efisiensi serta faktor-faktor yang mempengaruhi performa turbin angin counter-rotating secara teoritis tanpa pengujian eksperimental secara langsung [8]. Sementara itu, penelitian oleh Zhao et al. lebih menitikberatkan pada pengujian aerodinamika turbin angin counter-rotating menggunakan terowongan angin, tetapi tidak mempertimbangkan konfigurasi dua tingkat dengan putaran berlawanan arah dalam kondisi lingkungan sebenarnya [9]. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami bagaimana sistem counter-rotating dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi angin pada skala kecil.

Penelitian ini berfokus pada perancangan, pembuatan, dan pengujian turbin angin propeler dua tingkat dengan putaran berlawanan arah dengan daya generator masing-masing 600 watt. Analisis akan dilakukan terhadap efisiensi penggunaan energi angin, karakteristik aerodinamis, serta daya keluaran turbin angin selama periode operasi tertentu. Dengan pendekatan ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan turbin angin berkapasitas kecil yang lebih efisien, khususnya untuk daerah pesisir yang belum sepenuhnya terjangkau oleh jaringan listrik nasional.

Secara teoritis, penelitian ini akan berkontribusi dalam pengembangan model aerodinamika dan efisiensi penggunaan energi angin pada HA-CRWT, yang dapat menjadi referensi bagi penelitian-penelitian berikutnya. Dari segi praktis, penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam perancangan turbin angin hemat biaya dan berdaya guna tinggi untuk mendukung transisi energi terbarukan di Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan manfaat akademis tetapi juga memiliki dampak luas dalam industri energi terbarukan serta bagi masyarakat yang membutuhkan sumber energi alternatif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana instalasi turbin angin propeler dua tingkat dengan putaran berlawanan arah yang akan dipasang di tepi pantai?
2. Bagaimana karakteristik (kecepatan angin dan kuat arus terhadap waktu) dan kinerja (daya terhadap waktu dan efisiensi terhadap kecepatan angin) turbin angin propeler dua tingkat dengan putaran berlawanan arah yang di uji di tepi pantai?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk memperoleh PLTB berupa turbin angin propeler dua tingkat dengan putaran berlawanan arah yang akan dipasang di tepi pantai.

2. Untuk memperoleh karakteristik (kecepatan angin dan kuat arus terhadap waktu) dan kinerja (daya terhadap waktu dan efisiensi terhadap kecepatan angin) turbin angin propeler dua tingkat dengan putaran berlawanan arah yang diuji di tepi pantai.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Untuk menghasilkan unit PLTB turbin angin propeler dua tingkat dengan putaran berlawanan arah di tepi pantai pada kinerja dengan daya efisiensi maksimum.
2. Masyarakat tepi pantai dapat memperoleh listrik dari sumber daya angin di sekitarnya.
3. Industri dapat menghasilkan produk PLTB untuk memenuhi kebutuhan masyarakat tepi pantai.
4. Negara dapat menaikkan penggunaan energi terbarukan untuk menurunkan kebutuhan bahan bakar fosil yang merugikan lingkungan dan menyebabkan pemanasan global.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus penelitian , terdapat batasan masalah yang diberikan pada tugas akhir ini adalah:

1. Turbin angin yang dibuat merupakan jenis turbin angin sumbu horizontal dua tingkat dengan konfigurasi putaran propeler berlawanan arah (counter-rotating).
2. Setiap tingkat propeler menggunakan 5 sudu dengan desain tetap dan tidak divariasikan.
3. Sistem pembangkit menggunakan dua buah Permanent Magnet Generator (PMG) tipe aksial dengan spesifikasi daya maksimum 600 watt dan output 12V DC.

4. Pengujian dilakukan secara langsung di wilayah pesisir (Pantai Padang) pada kondisi cuaca cerah selama 6 jam, dengan memanfaatkan angin alami sebagai sumber energi utama.
5. Parameter yang diuji berupa karakteristik (kecepatan angin dan daya terhadap waktu) dan kinerja (daya terhadap kecepatan angin dan efisiensi terhadap kecepatan angin) turbin angin propeler dua tingkat dengan putaran berlawanan arah.
6. Penelitian tidak membahas aspek ekonomi, analisis biaya produksi, atau konstruksi struktural secara menyeluruh.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini mengacu pada sistematika sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan yang mencakup latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan pustaka yang membahas teori terkait energi angin, prinsip kerja turbin angin, serta kajian mengenai turbin angin bertingkat dua dengan putaran berlawanan arah.

BAB III : Metodologi penelitian yang mencakup metode perancangan, pembuatan, dan pengujian turbin angin.

BAB IV : Hasil dan pembahasan yang memaparkan data hasil pengujian serta analisis terhadap performa turbin angin.

BAB V : Kesimpulan dan saran yang berisi rangkuman hasil penelitian serta rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut.