

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik telah menjadi kebutuhan fundamental dalam kehidupan modern dan memegang peranan penting dalam mendukung berbagai aktivitas manusia, baik dalam sektor rumah tangga, pendidikan, industri, maupun pelayanan publik, khususnya di Indonesia yang terus mengalami pertumbuhan konsumsi listrik nasional [1]. Perkembangan teknologi yang semakin pesat serta meningkatnya jumlah populasi menyebabkan kebutuhan energi listrik terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, sehingga elektrifikasi berbagai sektor, termasuk transportasi dan industri, akan terus berkembang sehingga permintaan energi listrik di masa depan diproyeksikan semakin besar [2]. Kondisi ini menuntut adanya sistem pembangkitan energi yang tidak hanya andal tetapi juga berkelanjutan serta ramah lingkungan.

Namun demikian, hingga saat ini sebagian besar pembangkitan energi listrik dunia masih bergantung pada sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Ketergantungan terhadap energi fosil menimbulkan berbagai permasalahan, mulai dari keterbatasan cadangan sumber daya hingga dampak lingkungan berupa emisi karbon yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global [3]. Oleh karena itu, berbagai negara di dunia mulai mengembangkan dan mengoptimalkan pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) sebagai langkah strategis menuju transisi energi dan pencapaian target *Net Zero Emission*.

Indonesia sebagai negara kepulauan yang terletak di wilayah tropis memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar, seperti energi surya, air, panas bumi, biomassa, dan angin [4]. Meskipun demikian, pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia masih belum optimal dibandingkan dengan potensi yang tersedia [5]. Energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki peluang untuk dikembangkan, terutama pada lokasi-lokasi tertentu yang memiliki karakteristik kecepatan angin yang memadai [6].

Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan dalam pengembangan energi angin adalah pemetaan potensi energi berbasis lokasi spesifik. Gedung Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia (FT UKI) memiliki potensi angin dengan kecepatan rata-rata sekitar 5 m/s pada ketinggian 50 meter. Kecepatan angin sebesar 5 m/s termasuk dalam kategori angin rendah hingga menengah, yang umumnya kurang optimal untuk turbin angin sumbu horizontal konvensional [7]. Oleh karena itu, diperlukan jenis turbin yang mampu beroperasi secara efektif pada kondisi kecepatan angin rendah dan tidak bergantung pada arah angin tertentu.

Turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius merupakan salah satu solusi yang sesuai untuk kondisi tersebut. Turbin Savonius termasuk dalam kategori turbin berbasis gaya hambat yang memiliki kemampuan *self-starting* yang baik dan dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah [8]. Penelitian ini difokuskan pada pencapaian daya keluaran maksimum sebesar 5 W sebagai parameter evaluasi kinerja sistem. Secara konstruksi, turbin ini memiliki desain yang sederhana, tidak memerlukan mekanisme pengarah angin, serta relatif mudah dalam proses instalasi dan perawatan [9]. Prinsip kerjanya adalah dengan memanfaatkan perbedaan gaya hambat pada dua sisi sudu sehingga menghasilkan putaran rotor yang kemudian dikonversikan menjadi energi listrik melalui generator [10].

Berbagai penelitian dalam beberapa tahun terakhir terus mengeksplorasi performa turbin Savonius terutama pada kondisi *low wind speed* serta upaya optimasi desainnya. Pada tahun 2025, Calvin Yudees Satriatama, Ismoyo Haryanto, dan Khoiri Rozi dalam penelitian mereka yang berjudul **“Simulasi dan Analisis Aerodinamika Turbin Savonius”** telah dilakukan analisis karakteristik aerodinamika turbin Savonius menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mengetahui distribusi tekanan dan koefisien daya turbin pada beberapa variasi kecepatan angin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin Savonius mampu mencapai koefisien daya maksimum sekitar 0,27 setelah dilakukan optimasi geometri sudu, namun penelitian ini masih terbatas pada simulasi dan belum dilakukan pengujian prototipe secara langsung [11].

Penelitian selanjutnya dilakukan pada tahun 2025 oleh Muh. Azhami Arqam, Muh. Azhami, dan Aminuddin dalam penelitian yang berjudul

“Perancangan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) Sistem *Helical Savonius*”

telah dilakukan perancangan turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius dengan bentuk sudu heliks untuk meningkatkan kestabilan torsi pada kecepatan angin rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi sudu heliks mampu mengurangi fluktuasi torsi dan meningkatkan kestabilan putaran turbin, namun penelitian tersebut lebih berfokus pada aspek desain dan analisis teoritis sehingga belum dilakukan implementasi prototipe pada kondisi lingkungan sebenarnya [12].

Penelitian yang dilakukan oleh Handy Prabowo, Danar Susilo Wijayanto, dan Taufik Wisnu Saputra pada tahun 2023 berjudul **“*The Optimization of Savonius Helix Wind Turbine Cut-in Speed with the Variation of Blades-twist Rotor and Number of Blades*”** telah melakukan pengujian eksperimental terhadap turbin Savonius heliks dengan variasi jumlah sudu (2 dan 3 sudu) serta sudut *twist* rotor (90° , 180° , 270° , dan 360°). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi tiga sudu dengan sudut *twist* 180° mampu menghasilkan *cut-in speed* sebesar 1,51 m/s dan meningkatkan kestabilan putaran rotor pada kecepatan angin rendah (0–5 m/s). Penelitian ini menegaskan bahwa modifikasi desain heliks dapat meningkatkan efisiensi dan performa turbin Savonius terutama pada kondisi angin rendah [13].

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Ivander Butar-Butar, Bambang Purwantana, dan Radi pada tahun 2021 berjudul **“Pengaruh Jumlah Sudu, Kecepatan Angin, dan Posisi Baling-Baling Terhadap Pembangkit Daya Listrik pada Prototipe Kincir Angin Savonius”** telah dilakukan pengujian pengaruh variasi jumlah sudu terhadap daya listrik yang dihasilkan turbin Savonius. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor kecepatan angin dan posisi baling-baling memiliki pengaruh yang signifikan terhadap daya yang dihasilkan, sedangkan jumlah sudu tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi turbin [14].

Meskipun berbagai penelitian tersebut menunjukkan bahwa turbin Savonius memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan pada kondisi angin rendah, sebagian besar penelitian masih berfokus pada optimasi desain secara umum dan pengujian laboratorium. Penelitian yang secara spesifik melakukan pemetaan

potensi energi angin berbasis lokasi nyata, khususnya pada lingkungan gedung bertingkat di wilayah perkotaan, masih relatif terbatas. Padahal kondisi aliran angin pada lingkungan perkotaan memiliki karakteristik yang berbeda akibat adanya pengaruh bangunan, turbulensi, serta variasi angin. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mengarah pada rancang bangun dan pengujian langsung di lokasi guna memperoleh data eksperimental yang lebih aplikatif.

Berdasarkan kondisi tersebut, Gedung Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia (UKI) dengan kecepatan angin minimum 0,31 m/detik dan maksimum 5,65 m/s pada ketinggian ± 12 meter, serta rata-rata kecepatan angin 2,91 m/s berdasarkan data NASA Power bulan Januari [15], merupakan lokasi yang potensial untuk dilakukan penelitian awal pemetaan energi angin. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh data karakteristik putaran rotor dan daya keluaran turbin pada kondisi angin nyata sebagai dasar pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga bayu eksperimental dengan judul: “Desain Turbin Angin Vertikal Savonius 2 Sudu Tipe S-Heliks pada Kecepatan Angin Rendah di Gedung Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia”.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut rumusan masalah yang sesuai dengan latar belakang penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendesain turbin angin sumbu vertikal Savonius 2 sudu S-Heliks yang optimal untuk mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik menggunakan generator PMSG pada kondisi kecepatan angin rendah (0,31 hingga 5,65 m/s) di Gedung Fakultas Teknik UKI?
2. Bagaimana karakteristik performa sistem PLTB Savonius yang meliputi putaran rotor, kestabilan daya keluaran, dan efisiensi daya yang dihasilkan, berdasarkan pengujian pada kondisi angin nyata di lokasi penelitian untuk kebutuhan pengembangan energi terbarukan di lingkungan kampus?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut adalah tujuan Penelitian yang disusun selaras dengan dua poin rumusan masalah:

1. Mendesain turbin angin sumbu vertikal Savonius 2 sudu S-Heliks yang mampu mengonversi energi kinetik angin menjadi energi listrik menggunakan generator PMSG dalam kondisi kecepatan angin rendah (0,31 hingga 5,65 m/s).
2. Menganalisis karakteristik performa sistem PLTB Savonius melalui pengujian langsung di lokasi penelitian guna memperoleh data komprehensif mengenai putaran rotor, tegangan keluaran, serta daya yang dihasilkan, untuk menilai potensi penerapan eksperimental turbin Savonius S-Heliks sebagai PLTB dilingkungan perkotaan dengan kondisi kecepatan angin rendah.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tetap terukur dan fokus pada tujuan utama, berikut adalah batasan masalah yang disusun sesuai konteks penelitian yaitu:

1. Penelitian ini terbatas pada rancang bangun turbin angin sumbu vertikal (TASV) tipe Savonius 2 sudu S-Heliks, dengan dimensi yang disesuaikan untuk eksperimental (bukan skala industri).
2. Penelitian ini difokuskan pada pencapaian daya keluaran maksimum sebesar 5 W sebagai parameter evaluasi kinerja sistem.
3. Generator yang digunakan adalah tipe *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) dengan daya keluaran sistem sebesar 5 W dengan putaran rendah, tanpa membahas secara mendalam sistem penyimpanan energi (baterai/aki).
4. Data kecepatan angin yang digunakan sebagai acuan adalah data sekunder dari *NASA POWER* dan data primer hasil pengukuran di lokasi Gedung Fakultas Teknik UKI pada ketinggian ± 12 meter.
5. Pengujian performa difokuskan pada pengukuran kecepatan putaran rotor (RPM), kestabilan tegangan (Volt), dan potensi daya (Watt) yang dihasilkan, tanpa memperhitungkan beban listrik gedung secara keseluruhan.
6. Pengambilan data dan pengujian alat dilakukan secara spesifik di lingkungan Gedung Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia, sehingga hasil penelitian dipengaruhi oleh karakteristik angin lokal di area tersebut.
7. Sistem yang dirancang tidak mencakup integrasi dengan sistem penyimpanan

energi skala besar seperti baterai bank atau sistem interkoneksi jaringan PLN.

8. Analisis yang dilakukan terbatas pada kelayakan teknis dan performa prototipe, serta tidak mencakup analisis ekonomi secara mendalam.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan terlaksananya penelitian ini, diharapkan akan memberikan manfaat berkelanjutan guna pengembangan dikemudian hari antara lain sebagai berikut:

1. Bagi Bidang Akademik:

- Memberikan kontribusi ilmiah mengenai karakteristik dan performa turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius 2 sudu S-Heliks pada kondisi angin rendah (*low wind speed*).
- Menjadi referensi data teknis terkait korelasi antara putaran rotor, kestabilan tegangan, dan efisiensi daya pada generator PMSG skala prototipe.

2. Bagi Fakultas Teknik UKI:

- Memberikan kontribusi data eksperimental terkait kinerja turbin angin Savonius pada kondisi angin nyata di lingkungan Gedung Fakultas Teknik UKI.
- Menyediakan unit prototipe yang dapat digunakan sebagai alat peraga atau media pembelajaran praktikum mengenai konversi energi angin bagi mahasiswa.

3. Bagi Peneliti dan Pengembang:

- Menguji efektivitas desain turbin Savonius 2 sudu S-Heliks dalam menghasilkan daya 5 W pada putaran rendah sebagai parameter keberhasilan konversi energi mekanik ke listrik.
- Mendorong inovasi dalam pemanfaatan potensi spesifik lokasi (energi angin lokal) untuk pemenuhan kebutuhan daya listrik yang ramah lingkungan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dapat diuraikan secara singkat pada sistematika pembahasan sebagai berikut:

Bab I. Pendahuluan

Pada bab ini membahas tentang latar belakang masalah, rumusan masalah,

tujuan penelitian, batasan masalah, dan manfaat penelitian, dan susunan tugas akhir.

Bab II. Landasan Teori

Bab ini membahas dasar teori yang mendasari penulisan skripsi ini, termasuk definisi tentang PLTB sumbu vertikal savonius, cara kerjanya, teori-teori tentang perancangan baling-balingnya, dan parameter pengukuran.

Bab III. Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan prosedur penelitian, mulai dari studi literatur, pembuatan diagram alir, hingga perancangan mekanik turbin Savonius 2 sudu S-Heliks, pemilihan generator permanent magnet satu fasa, perancangan rangkaian penyearah, hingga proses pembuatan prototype.

Bab IV. Penelitian dan Analisa

Bab ini memaparkan hasil data yang diperoleh dari hasil uji prototype, dimana kemudian data tersebut dianalisis untuk mengetahui apakah sistem mampu menghasilkan daya 5 W yang cukup sesuai dengan penelitian.

Bab V. Kesimpulan dan Saran

Bab ini menyajikan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, serta saran untuk pengembangan lebih lanjut dalam peningkatan performa sistem PLTB Savonius pada kecepatan angin rendah.