

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Turbin angin merupakan perangkat yang mampu mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik atau listrik. Secara umum, turbin angin terbagi menjadi dua jenis: turbin sumbu horizontal (HAWT) dan turbin sumbu vertikal (VAWT). HAWT membutuhkan kecepatan angin tinggi dan arah angin yang konstan, sehingga kurang sesuai dengan kondisi angin di Indonesia yang relatif rendah dan berubah-ubah. Sebaliknya, turbin Savonius sebagai salah satu tipe VAWT memiliki keunggulan berupa desain sederhana, kemampuan *self-starting*, serta dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah tanpa memerlukan sistem yaw. Hal ini menjadikan turbin Savonius lebih relevan untuk dikembangkan di Indonesia .

Penelitian Ariazena, Suprayitno, & Gunawan (2021) menunjukkan bahwa turbin Savonius tiga sudu mampu menghasilkan koefisien daya (C_p) sebesar 24,40% pada kecepatan angin 2,5 m/s dengan *tip speed ratio* (TSR) 2,35. Hasil ini menegaskan efektivitas turbin Savonius dalam memanfaatkan angin berkecepatan rendah, sekaligus membuktikan bahwa turbin sederhana dapat memberikan performa yang cukup baik pada kondisi angin tropis di Indonesia .

Selain itu, Darmawan & Winjaya (2019) membuktikan penerapan nyata turbin angin vertikal sebagai sumber energi cadangan pada sistem perkeretaapian. Turbin yang mereka rancang menghasilkan daya keluaran sebesar 39,45 watt pada kecepatan angin rata-rata 3,9 m/s, cukup untuk mengisi baterai 75Ah/12V selama 22 jam. Penelitian ini menunjukkan bahwa turbin angin vertikal dapat diimplementasikan secara praktis untuk kebutuhan energi cadangan di sektor transportasi, sekaligus memperkuat argumen bahwa turbin Savonius layak dikembangkan untuk aplikasi skala kecil di Indonesia .

Faktor material sudu juga berperan penting dalam meningkatkan performa turbin. Fitri & Azis (2021) menggunakan PVC sebagai material sudu, namun hasilnya terbatas karena kekuatan mekanik rendah dan kurang tahan terhadap lingkungan luar. Sebaliknya, penelitian Muttaqin & Suprpto (2021) menunjukkan bahwa sudu aluminium menghasilkan putaran hingga 358,7 rpm pada kecepatan

angin 4 m/s. Aluminium memiliki sifat ringan, tahan korosi, dan mudah dibentuk, sehingga dapat mengurangi beban inersia rotor sekaligus meningkatkan respons terhadap angin. Dengan demikian, aluminium terbukti lebih unggul dibandingkan PVC dalam hal efisiensi dan durabilitas .

Upaya peningkatan performa turbin *Savonius* juga dilakukan melalui modifikasi bentuk sudu. Sudirman & Hasrul (2023) melaporkan bahwa turbin Savonius dengan sudu hasil modifikasi mampu menghasilkan tegangan listrik lebih besar dibandingkan desain konvensional, sehingga lebih sesuai untuk pemanfaatan energi angin skala rumah tangga. Penelitian ini memperlihatkan bahwa inovasi desain sudu dapat meningkatkan efisiensi konversi energi secara signifikan .

Selain bentuk sudu, jumlah bilah juga mempengaruhi efisiensi turbin. Permadi & Siregar (2018) menekankan pentingnya optimasi jumlah bilah pada turbin cross-flow, di mana peningkatan jumlah bilah dari 6 menjadi 12 mampu meningkatkan efisiensi hingga 3,76% pada kecepatan angin 5,52 m/s. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah bilah dapat meningkatkan sapuan angin terhadap rotor, sehingga menghasilkan daya keluaran yang lebih besar .

Turbin Savonius memiliki desain sudu yang melengkung seperti huruf “S” dan mampu menangkap angin dari segala arah. Keunggulan utama dari turbin ini adalah kemampuannya untuk beroperasi pada kecepatan angin rendah, sehingga cocok diterapkan di wilayah dengan intensitas angin yang tidak terlalu tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Ariazena et al. (2020) menunjukkan bahwa turbin Savonius tiga sudu mampu menghasilkan koefisien daya (C_p) sebesar 3,62% pada kecepatan angin 7 m/s dan *tip speed ratio* (TSR) sebesar 3,24. Bahkan pada kecepatan angin serendah 2,5 m/s, turbin ini masih mampu menghasilkan C_p sebesar 24,40% dengan TSR sebesar 2,35. Hal ini membuktikan bahwa turbin Savonius sangat efektif untuk aplikasi pembangkit listrik skala kecil di daerah dengan kecepatan angin rendah.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun turbin angin Savonius tiga bilah berbahan aluminium yang mampu menghasilkan energi listrik pada kecepatan angin rendah hingga sedang. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga angin skala kecil yang efisien,

ekonomis, dan ramah lingkungan, serta dapat diaplikasikan di daerah terpencil atau wilayah yang belum terjangkau jaringan listrik konvensional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan judul tugas akhir saya, maka permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang turbin angin Savonius berbahan aluminium yang sesuai dengan kondisi kecepatan angin rata-rata ?
2. Seberapa besar daya keluaran, koefisien daya (C_p), dan *tip speed ratio* (TSR) yang dapat dicapai oleh turbin Savonius tiga bilah berbahan aluminium pada variasi kecepatan angin?
3. Bagaimana kelayakan konstruksi rangka dan sudut turbin Savonius berbahan aluminium ditinjau dari aspek kekuatan mekanis dan efisiensi energi ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian merupakan arah yang ingin dicapai dari kegiatan penelitian sehingga hasil yang diperoleh dapat memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan ilmu pengetahuan maupun penerapan praktis di lapangan. Dengan adanya tujuan yang jelas, penelitian akan lebih terarah dan mampu menjawab rumusan masalah yang telah ditetapkan.

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan teknologi pembangkit listrik tenaga angin skala kecil yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan turbin angin Savonius tiga bilah berbahan aluminium secara khusus, tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun prototipe turbin angin Savonius berbahan aluminium yang sesuai dengan kondisi kecepatan angin rendah hingga sedang.
2. Mengukur parameter kinerja turbin, meliputi daya keluaran, koefisien daya (C_p), dan *tip speed ratio* (TSR) pada variasi kecepatan angin.
3. Memberikan rekomendasi desain turbin angin savonius berbahan aluminium yang dapat diaplikasikan sebagai pembangkit listrik tenaga angin skala kecil di daerah terpencil atau wilayah dengan akses listrik terbatas.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan, tetapi juga memiliki dampak praktis yang luas. Manfaat penelitian dapat dilihat dari berbagai kategori sebagai berikut:

1. Manfaat Akademis

- Memberikan tambahan referensi ilmiah mengenai desain dan performa turbin angin Savonius tiga bilah berbahan aluminium.
- Menjadi bahan kajian bagi mahasiswa dan peneliti dalam bidang energi terbarukan, khususnya teknologi turbin angin sumbu vertikal.
- Menyediakan data empiris terkait koefisien daya (C_p), tip speed ratio (TSR), dan efisiensi turbin yang dapat digunakan untuk penelitian lanjutan.

2. Manfaat Teknologis

- Menghasilkan prototipe turbin angin Savonius tiga bilah berbahan aluminium yang dapat diaplikasikan pada skala kecil.
- Memberikan inovasi dalam pemilihan material sudu yang ringan, tahan korosi, dan mudah dibentuk sehingga meningkatkan performa turbin.
- Menjadi dasar pengembangan teknologi turbin angin yang lebih efisien dan ekonomis untuk daerah dengan kecepatan angin rendah.

3. Manfaat Ekonomi

- Menawarkan solusi pembangkit listrik tenaga angin skala kecil yang murah dan mudah diaplikasikan di daerah terpencil.
- Mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap energi fosil yang semakin mahal dan terbatas.
- Membuka peluang usaha dalam pembuatan dan pemasangan turbin angin sederhana berbahan aluminium.

4. Manfaat Sosial

- Memberikan alternatif sumber energi listrik bagi masyarakat di daerah yang belum terjangkau jaringan PLN.
- Mendukung peningkatan kualitas hidup masyarakat dengan menyediakan energi listrik untuk penerangan, komunikasi, dan kebutuhan dasar lainnya.
- Mendorong kesadaran masyarakat akan pentingnya pemanfaatan energi terbarukan yang ramah lingkungan.

5. Manfaat Lingkungan

- Mengurangi emisi karbon dengan menggantikan sebagian penggunaan energi berbahan fosil.
- Mendukung konsep pembangunan berkelanjutan melalui pemanfaatan energi angin yang bersih dan tidak menimbulkan polusi.
- Menjadi salah satu langkah nyata dalam mitigasi perubahan iklim dengan memanfaatkan energi terbarukan.

1.5 Batasan Masalah

Dalam suatu penelitian, batasan masalah diperlukan agar ruang lingkup kajian tidak terlalu luas dan tetap fokus pada tujuan yang ingin dicapai. Dengan adanya batasan masalah, penelitian dapat lebih terarah, efisien, serta menghasilkan kesimpulan yang relevan. Penelitian ini dibatasi pada beberapa aspek berikut:

1. Desain Dan Bahan Turbin

- Turbin yang dirancang adalah turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius dengan konfigurasi tiga bilah.
- Bentuk sudu yang digunakan adalah sudu melengkung berbahan aluminium, tanpa membandingkan dengan material lain secara langsung.
- Dimensi turbin ditentukan berdasarkan perhitungan teoritis dan kebutuhan daya skala kecil, bukan untuk pembangkit listrik skala besar.
- Turbin angin menggunakan desain turbin angin vertikal savonius.
- Ukuran bilah yang di gunakan tinggi 30 cm dengan lebar 20 cm.
- Bahan yang di gunakan dari aluminium.
- Menggunakan dinamo brushles tipe -60HF0552 sebagai penghasil listrik.

2. Kondisi Operasional

- Penelitian difokuskan pada kecepatan angin rendah hingga sedang ($2-7$ m/s), sesuai dengan potensi angin di wilayah pesisir dan dataran rendah.
- Pengujian dilakukan dalam kondisi simulasi laboratorium atau lingkungan terbatas, sehingga tidak mencakup variasi kondisi angin ekstrem di lapangan.

3. Parameter yang Dianalisis

- Parameter kinerja yang dianalisis meliputi daya keluaran, koefisien daya (C_p), tip speed ratio (TSR), dan torsi.

- Analisis kekuatan mekanis terbatas pada rangka dan sudu turbin, khususnya ketahanan terhadap beban tarik dan beban operasional.
- Aspek kelistrikan hanya mencakup pengukuran daya keluaran turbin, tanpa membahas sistem integrasi penuh dengan jaringan listrik PLN.
- Dapat menghasilkan listrik AC yang bisa di gunakan untuk mengechas smartphone dengan daya yang di hasilkan minimal 18 watt,

4. Lingkup Aplikasi

- Penelitian ini ditujukan untuk pembangkit listrik tenaga angin skala kecil, misalnya penerangan jalan, rumah tangga, atau fasilitas sederhana di daerah terpencil.
- Tidak mencakup perhitungan ekonomi secara detail seperti analisis biaya produksi massal atau studi kelayakan bisnis.
- Turbin angin bekerja dengan kecepatan angin rata-rata 4 km/jam.