

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan listrik dunia masih dipenuhi oleh sumber energi berbasis bahan bakar fosil yang menghasilkan emisi karbon tinggi, sementara kontribusi energi rendah karbon masih sangat terbatas. Ketergantungan terhadap energi fosil telah menimbulkan ketidakseimbangan ekologi serta kerusakan lingkungan yang sulit dipulihkan. Kondisi ini mendorong para peneliti di seluruh dunia untuk mengembangkan berbagai sumber energi terbarukan sebagai upaya mengurangi emisi karbon. Berbagai pendekatan seperti energi angin, surya, hidro, panas bumi, dan biomassa terus dikembangkan sebagai alternatif yang ramah lingkungan (Farajyar et al., 2023).

Permasalahan energi di Indonesia semakin kompleks dengan tingginya tingkat emisi di wilayah perkotaan, khususnya di Surabaya yang menyumbang hingga 3,7 juta ton CO₂ per tahun dengan 82,12% berasal dari sektor transportasi, menimbulkan kebutuhan mendesak akan penerapan energi rendah karbon seperti energi angin (Mustikaningtyas & Winursita, 2016). Kecepatan angin rata-rata di Surabaya yang tercatat pada rentang 3-5 m/s (Soewarianto et al., 2022), yang meskipun tergolong rendah, tetap memberikan potensi untuk pengembangan turbin angin tipe Savonius yang mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah, sehingga menjadi alternatif solusi energi terbarukan yang mendukung pencapaian kota rendah karbon (Putri et al., 2023).

Energi Angin adalah salah satu energi alternatif di Indonesia yang merupakan negara kepulauan di garis khatulistiwa, energi angin yang merupakan energi terbarukan yang ramah lingkungan merubah bentuk energi kinetik dari angin menjadi energi listrik, yaitu dengan menggunakan turbin angin (Sudirman & Santoso, 2020). Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) padang, Indonesia memiliki kecepatan angin rata-rata 3 m/s yang berpotensi untuk dimanfaatkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB, Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) skala kecil (Pratiwi & Yurian, 2021).

Turbin angin yang secara umum banyak dibuat adalah turbin angin dengan sumbu horizontal, namun dengan mempertimbangkan daerah dengan kecepatan angin rata-rata rendah maka turbin angin vertikal dipilih karena memiliki kelebihan tersendiri yaitu dapat bergerak tanpa terikat dengan arah mata angin serta desain yang sederhana (Sudirman & Santoso, 2020). Meski memiliki kelebihan tidak bergantung pada arah angin namun turbin angin savonius masih memiliki kelemahan yang terus dikembangkan untuk

meminimalisirnya, yaitu *coefficient of power* (CoP) yang rendah. Hal ini disebabkan dengan beberapa alasan seperti karna terbatas pada kecepatan angin yang relatif rendah, maupun penempatan turbin savonius yang cenderung dipasang rendah (Arif, 2019; Zulianto & Siregar, 2019)

Penelitian sebelumnya tentang perubahan bentuk turbin Savonius menunjukkan bahwa mengubah bentuk bilah bisa memengaruhi koefisien daya (CoP) dan torsi secara nyata, tetapi hasilnya belum sepenuhnya sama. Studi oleh (Shashikumar et al., 2021) membandingkan turbin Savonius biasa dengan versi bilah *tapered* dalam kondisi aliran air yang rendah. Hasilnya menunjukkan bahwa pada beberapa rasio *taper* tertentu, nilai CoP justru menurun dibandingkan turbin standar, karena luas penangkapan angin yang efektif berkurang dan distribusi tekanan tidak optimal. Penelitian oleh (Mrigua et al., 2022) meneliti perubahan bentuk bilah dengan menggunakan pendekatan CFD. Mereka menemukan bahwa ada peningkatan performa pada beberapa konfigurasi tertentu, tetapi penelitian ini lebih menekankan pada perubahan bentuk keseluruhan bilah, bukan pada analisis khusus mengenai rasio *taper* terhadap sifat torsi statis. Sementara itu, penelitian oleh (Soetanto et al., 2024) mengevaluasi desain bilah dengan bentuk *taper* dan *inverse taper* pada turbin angin vertikal skala kecil, menunjukkan kemungkinan peningkatan efisiensi pada kecepatan angin rendah. Namun, penelitian tersebut belum secara menyeluruh menganalisis hubungan antara perubahan rasio *taper*, koefisien daya (CoP), dan koefisien torsi statis (CTs) secara bersamaan.

Penelitian ini berfokus pada analisis kinerja turbin angin Savonius dengan modifikasi rasio *taper* bilah. Evaluasi performa dilakukan menggunakan indikator CoP dan *Coefficient of Static Torque* (CTs) melalui simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) berbasis ANSYS *Fluent*. Pendekatan ini memungkinkan investigasi tiga dimensi terhadap parameter geometris dan operasional turbin, seperti variasi rasio *taper*, kecepatan angin, dan faktor bentuk, sehingga diperoleh pemahaman lebih komprehensif mengenai pengaruh modifikasi geometri terhadap efisiensi aerodinamis turbin Savonius pada kondisi angin rendah. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk menentukan pengaruh variasi *taper* terhadap CoP dan CTs, serta menemukan rasio optimum (K) bagi aplikasi turbin Savonius di wilayah berangin rendah.

Penelitian mengenai variasi rasio *taper* pada turbin angin Savonius tidak hanya ditujukan untuk memperbaiki kinerja aerodinamis melalui peningkatan CoP dan CTs, penelitian ini juga memiliki relevansi langsung terhadap upaya transisi energi di Indonesia yang berpotensi menghadirkan teknologi konversi energi angin yang lebih efisien pada

daerah dengan kecepatan angin rendah sehingga dapat mendukung pengurangan emisi karbon dari sektor energi dan transportasi perkotaan. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam penyediaan alternatif energi terbarukan yang sederhana, terjangkau, dan ramah lingkungan, sekaligus memperkuat agenda nasional menuju sistem energi rendah karbon dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi rasio *taper* terhadap koefisien daya (CoP) turbin angin Savonius?
2. Bagaimana pengaruh variasi rasio *taper* terhadap *Coefficient of Static Torque* (CTs) turbin angin Savonius?
3. Bagaimana karakteristik hubungan antara rasio *taper*, CoP, dan CTs sehingga dapat diidentifikasi rasio optimum (K) untuk peningkatan performa turbin Savonius?

1.3 Tujuan Masalah

1. Menganalisis pengaruh variasi rasio *taper* terhadap kinerja turbin Savonius berdasarkan nilai CoP.
2. Mengevaluasi hubungan variasi rasio *taper* dengan *Coefficient of Static Torque* (CTs) untuk kondisi angin rendah.
3. Merumuskan rasio *taper* optimum (k) yang dapat meningkatkan performa turbin Savonius dan mendukung penerapan energi angin di Indonesia.

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan menggunakan simulasi tiga dimensi (3D) pada perangkat lunak ANSYS *Fluent* 2021 R2.
2. Penelitian ini dilakukan dengan asumsi kondisi aliran udara ideal
3. Fluida kerja yang digunakan adalah udara inkompresibel dengan sifat aliran *transient (unsteady)*.
4. Rotor dianalisa pada keadaan berputar.
5. Analisis dilakukan pada aliran satu arah dan aliran external.
6. Simulasi menggunakan metode *sliding mesh*.
7. Model turbulensi yang digunakan adalah $k-\epsilon$ realizable.
8. Simulasi dilakukan dengan mengabaikan efek perpindahan panas dan gaya gravitasi.