

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini, akumulasi gas rumah kaca di atmosfer telah memicu tantangan global berupa perubahan iklim, seperti banjir, kekeringan, dan curah hujan tinggi. Urgensi permasalahan ini telah menjadikannya bagian penting dari agenda *Sustainable Development Goals* (SDGs) serta topik strategis dalam forum Konferensi Tingkat Tinggi (KTT) G20 (Hemdi, Baejah and Faruqi, 2022). Kontributor utama emisi gas rumah kaca tersebut adalah sektor energi yang berbasis bahan bakar fosil. Di sisi lain, Indonesia masih memiliki tingkat ketergantungan yang tinggi terhadap penggunaan energi fosil, khususnya minyak dan gas alam (Lee, Lee and Lim, 2016).

Terlebih di masa mendatang, diperkirakan akan terjadi kebutuhan energi yang meningkat akibat bonus demografi. Meskipun sumber energi fosil terbatas, jika tetap dimanfaatkan penggunaannya akan memperburuk kondisi iklim saat ini. Oleh karena itu, penting untuk mendorong transisi menuju sumber alternatif (Adams, Klobodu and Apio, 2018). Energi terbarukan kini dianggap sebagai solusi yang efektif untuk mengurangi emisi gas rumah kaca serta mempersiapkan diri menghadapi potensi krisis energi (Celik *et al.*, 2020).

Pemerintah Indonesia secara aktif engupayakan pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) sebagai strategi utama untuk memastikan stabilitas ketahanan dan kemandirian energi nasional. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 mengenai Kebijakan Energi Nasional, telah ditetapkan target kontribusi EBT minimal sebesar 23% pada tahun 2025 dan meningkat menjadi 31% pada tahun 2050 (PP No. 79, 2014). Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk mencapai sasaran bauran energi primer tersebut mengingat keberadaan sumber daya alam yang melimpah di negara ini, salah satunya adalah energi angin dengan potensi mencapai 60,6 GW (Fadila and Zakaria, 2020).

Dalam proses konversi energi angin menjadi energi listrik, teknologi turbin angin diklasifikasikan menjadi dua varian utama, yakni *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). Meskipun saat ini industri energi angin didominasi oleh HAWT karena kapasitas daya yang besar dan minimnya gaya fluktuasi, VAWT menawarkan sejumlah keunggulan teknis yang signifikan dibanding HAWT. Menurut (Thiyagaraj *et al.*, 2020) keunggulan tersebut mencakup kemudahan dalam fabrikasi dan perakitan, efisiensi biaya instalasi maupun pemeliharaan, serta kemampuan *self-starting* yang lebih superior. Selain itu, VAWT mampu beroperasi pada kecepatan angin

rendah dengan emisi kebisingan yang minim, memiliki durabilitas komponen bergerak yang lebih tinggi, serta turbin ini dapat menerima angin dari segala arah.

Secara umum, konfigurasi *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) terbagi menjadi dua kategori utama, yakni tipe Darrieus dan Savonius. Turbin Savonius sendiri merupakan inovasi yang diperkenalkan oleh J. Savonius pada tahun 1920. Menurut (Ismail, Pane and Triyanti, 2017) karakteristik geometris sudu turbin ini cukup sederhana, yaitu terbentuk dari sebuah silinder yang dibelah secara simetris, di mana kedua belahan tersebut kemudian disusun secara *offset* (menyilang) hingga menghasilkan profil penampang yang menyerupai huruf 'S'.

Mengingat karakteristik kecepatan angin di Indonesia yang relatif rendah dengan rata-rata sekitar 2,1 m/s, turbin angin Savonius menjadi opsi yang sangat potensial untuk dikembangkan (Ismail, Pane and Triyanti, 2017). Turbin jenis ini menunjukkan kapabilitas operasional pada kecepatan angin minim sebesar 1,4 m/s, dengan rentang koefisien daya ( $C_p$ ) antara 0.1 hingga 0.2. Meskipun demikian, efisiensi yang terbatas masih menjadi kendala utama turbin ini. Kondisi tersebut mendorong banyaknya penelitian terdahulu yang memfokuskan kajian pada optimasi geometri sudu sebagai upaya peningkatan performa aerodinamis turbin Savonius.

Seperti pada penelitian (Roy and Saha, 2015), lima jenis *blade* dengan desain berbeda diuji untuk tipe *blade* Semi-circular, Semi-elliptic, tipe Benesh, tipe Bach, dan jenis *blade* yang baru dikembangkan untuk *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) tipe Savonius dengan dua *blade*. Hasil dari penelitian tersebut mengungkapkan bahwa desain *blade* baru mampu menghasilkan koefisien torsi maksimum yang lebih tinggi yaitu sebesar 31,6%, 22,0%, dan 11,1% dibandingkan dengan tipe *blade* lainnya.

Penelitian oleh (Rezaeiha, Montazeri and Blocken, 2018) menunjukkan bahwa metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) efektif untuk menganalisis laju aliran fluida di sekitar *blade* turbin dan mempermudah optimasi desain guna meningkatkan efisiensi daya. (Ramarajan and Jayavel, 2020) juga menggunakan metode CFD untuk menganalisis performa turbin angin Savonius. Studi ini dilakukan pada kecepatan angin 7 m/s dengan *overlap ratio* 0, di mana sudut busur *blade* divariasikan mulai dari 150° dengan kelipatan 10° hingga 210°. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sudut busur *blade* sebesar 180° memberikan kinerja yang lebih maksimal.

Penelitian yang dilakukan oleh (Hassanzadeh and Mohammadnejad, 2019) mengkaji pengaruh inward *overlap ratio* dan outward *overlap ratio* terhadap kinerja turbin pada kecepatan angin 7 m/s. Dalam penelitiannya menguji inward *overlap ratio* dengan nilai 0.1,

0.2, 0.3, serta *outward overlap ratio* dengan nilai -0.1, -0.2, -0.3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi dengan *inward overlap ratio* sebesar 0,2 memberikan kinerja paling optimal dibandingkan nilai *overlap ratio* lainnya. Begitupun dengan penelitian yang dilakukan oleh (Manavar, 2021), hasil pengujiannya menunjukkan bahwa desain *blade* dengan *overlap ratio* 0,25 dan jarak antar *blade* 3,1 cm menghasilkan koefisien daya ( $C_p$ ) maksimal sebesar 0.30 pada kecepatan angin 8 m/s.

Berdasarkan pembahasan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi turbin angin Savonius pada berbagai kecepatan angin rendah di Indonesia dengan menganalisis pengaruh *overlap ratio* terhadap kinerja turbin. *Overlap ratio* berperan penting dalam mempengaruhi aliran angin di sekitar rotor, karena variasinya dapat menentukan seberapa efektif angin berinteraksi dengan *blade* turbin. Hal ini berdampak pada kinerja keseluruhan turbin, termasuk peningkatan koefisien daya ( $C_p$ ) turbin. Penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan *overlap ratio* yang optimal guna mencapai efisiensi maksimum, sehingga turbin mampu menghasilkan energi listrik yang cukup untuk menyalakan lampu penerangan seperti pada jalan tol.

Analisis ini dilakukan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). *Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan metode yang efektif untuk mendukung analisis lebih dalam mengenai perilaku aliran fluida di sekitar turbin, memungkinkan visualisasi pola aliran udara dan distribusi tekanan yang kompleks, sehingga memudahkan untuk mengetahui interaksi antara aliran angin dan desain turbin. Metode ini juga dapat memprediksi performa turbin secara akurat melalui simulasi fluida, tanpa perlu banyak uji coba fisik. Hal ini membuat CFD menjadi pilihan yang efisien dalam merancang dan mengoptimalkan turbin angin Savonius, terutama dalam meningkatkan kinerjanya untuk menghasilkan energi secara lebih efektif.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan sumbangan dalam pengembangan desain turbin angin Savonius yang lebih efektif, terutama untuk kecepatan angin rendah di Indonesia. Fokus utama penelitian ini adalah menganalisis pengaruh variasi *overlap ratio* terhadap kinerja turbin termasuk pencapaian koefisien daya ( $C_p$ ) maksimum pada kondisi angin rendah. Selain itu, penelitian ini juga mengkaji pola aliran udara di sekitar turbin sehingga hasil penelitian ini dapat menjadi landasan dalam mengembangkan desain turbin angin Savonius yang lebih optimal guna memanfaatkan potensi energi angin sebagai teknologi yang bersih dan berkelanjutan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi *overlap ratio* dan kecepatan angin terhadap peningkatan koefisien daya ( $C_p$ ) turbin angin Savonius?
2. Bagaimana pola aliran udara dan distribusi tekanan di sekitar turbin angin Savonius dengan variasi *overlap ratio* dan kecepatan angin?
3. Apakah *overlap ratio* yang optimal bersifat konstan di semua kecepatan angin atau berubah tergantung variasi kecepatan angin?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi *overlap ratio* dan kecepatan angin terhadap peningkatan koefisien daya ( $C_p$ ) turbin angin Savonius.
2. Menganalisis pola aliran udara di sekitar turbin angin Savonius dengan variasi *overlap ratio* dan kecepatan angin.
3. Menganalisis nilai *overlap ratio* yang optimal bersifat konstan di semua kecepatan angin atau berubah tergantung variasi kecepatan angin?

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Memberikan referensi dalam pengembangan desain turbin angin Savonius yang lebih efisien.
2. Menyediakan data dan analisis terkait *overlap ratio* yang optimal untuk turbin angin Savonius.

## 1.5 Batasan Masalah

Agar analisis yang dilakukan lebih sistematis dan tidak menyimpang dari pokok permasalahan, batasan masalah ditetapkan sebagai berikut::

1. Menggunakan software *Solidworks* 2023 untuk merancang bentuk turbin angin Savonius dan melakukan simulasi fluida.
2. Simulasi menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD).
3. Parameter yang dianalisis terbatas pada *overlap ratio* 0.15, 0.2, 0.25, 0.4, 0.5, dan 0.6.
4. Pada penerapan domain komputasi jarak antar arah angin datang dan turbin sebesar 0.2 m.

5. Simulasi ini hanya berfokus pada pola aliran udara, distribusi tekanan, dan koefisien daya ( $C_p$ ) yang dihasilkan turbin.
6. Penelitian ini tidak membahas sistem gearbox, dan konversi energi ke listrik.