

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini mengkaji peran krusial turbin angin dalam pemanfaatan energi terbarukan, khususnya optimasi desainnya untuk meningkatkan kapasitas pembangkitan energi. Pembahasan meliputi analisis pengaruh turbulensi aliran angin, faktor-faktor penyebabnya, dan strategi mitigasi melalui simulasi. Fokus utama adalah analisis dan modifikasi desain pergerakan bilah, dengan memanfaatkan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk evaluasi dan pemodelan. Secara keseluruhan, bab ini menjelaskan signifikansi pengembangan turbin angin, terutama turbin angin sumbu vertikal, dalam upaya meningkatkan efisiensi energi demi keberlanjutan lingkungan.

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi energi angin yang signifikan, diperkirakan mencapai 155 GW (60,6 GW darat dan 94,2 GW lepas pantai). Kendati demikian, pemanfaatannya masih sangat terbatas, baru mencapai 154,3 MW atau kurang dari 0,1% dari potensi total. Minimnya pemanfaatan ini disebabkan oleh belum optimalnya pengembangan teknologi turbin angin, walaupun teknologi tersebut kini mendapat perhatian lebih seiring upaya global untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan bisa beralih menggunakan energi terbarukan yang lebih bersifat ramah lingkungan (Simanjuntak, 2021).

Saat ini, pemanfaatan energi angin dilakukan dengan menggunakan teknologi yang disebut turbin angin. Turbin angin dibagi menjadi dua jenis *horizontal-axis wind turbines* (HAWTs) dan *vertical-axis wind turbines* (VAWTs). HAWT mendominasi pasar karena efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan VAWT. Kendala VAWT antara lain aliran turbulen yang timbul di sekitar bilah serta kendala aerodinamis lainnya. Meskipun demikian, VAWT merupakan alternatif yang menjanjikan untuk pemanfaatan energi angin di lingkungan perkotaan, menawarkan desain sederhana, adaptasi yang lebih baik terhadap kecepatan angin yang rendah dan fluktuatif, serta dampak visual yang lebih minim dibandingkan HAWT (Ilmi Abdullah, Jufrizal Nurdin, 2016).

Keunggulan HAWT dibandingkan VAWT yaitu terletak pada efisiensi energi. Meskipun demikian, evolusi desain turbin angin menunjukkan perbedaan signifikan. HAWT telah mengalami standardisasi desain, sementara VAWT terus berevolusi karena eksplorasi berbagai konfigurasi, baik berbasis *drag* maupun *lift*. Turbin HAWT kuno mengandalkan gaya hambat (*drag*), sedangkan HAWT modern memanfaatkan prinsip aerodinamis pada bilah untuk menghasilkan gaya angkat (*lift*), sebuah metode yang jauh lebih efisien dalam pemanfaatan energi angin. Efisiensi VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*) meningkat dengan pemilihan tipe *lift* yang memanfaatkan prinsip aerodinamis serupa. Namun, desain VAWT *fixed pitch* atau dikenal dengan FP-VAWT, dengan sudut bilah tetap dengan orientasi terhadap sudut azimuth turbin, menimbulkan permasalahan aerodinamis. Rotasi rotor yang dihasilkan torsi positif akibat gaya angkat pada bilah (ketika berada pada posisi optimal) diikuti oleh posisi bilah yang menghasilkan torsi negatif

dan beban siklik (*fatigue loading*) karena sudut bilah yang konstan.

Riset ini mengembangkan *Variable Pitch Vertical Axis Wind Turbine* (VP-VAWT) dengan mekanisme “Cam-Rack-Pinion” untuk memaksimalkan daya dorong pada bilah. Sistem ini dapat mengubah sudut bilah dengan orientasi terhadap sudut azimut turbin secara otomatis. Orientasi cam ditentukan oleh arah datang angin sehingga harapannya sudut bilah akan memiliki orientasi tertentu terhadap arah datang angin.

Penggunaan mekanisme Cam-Rack-Pinion pada desain VP-VAWT diprediksi tetap akan menimbulkan turbulensi aliran angin pada bilah. Oleh karena itu, simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan perangkat lunak Ansys Fluent merupakan pendekatan yang efektif untuk memvisualisasikan aliran angin, menganalisis interaksi turbulensi antar bilah, dan mengevaluasi desain secara mendalam. Hal ini memungkinkan modifikasi desain yang lebih optimal dan riset ini bertujuan menganalisis visualisasi aliran angin pada desain *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) dengan *variable pitch*, untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi angin dan meningkatkan efisiensi turbin.

Studi simulasi turbin angin vertikal sumbu (VAWT) menunjukkan korelasi linier antara kecepatan angin dan daya yang dihasilkan: semakin tinggi kecepatan angin, semakin besar daya yang dihasilkan. Kecepatan angin, karenanya, merupakan faktor krusial dalam kinerja turbin angin. Meskipun demikian, pengujian juga mengindikasikan bahwa efisiensi turbin cenderung menurun pada kecepatan angin yang lebih tinggi, sementara pada kecepatan rendah, efisiensi relatif lebih baik (Medy Wanti Pane, Andreas, 2023).

Simulasi numerik menggunakan ANSYS Fluent pada turbin angin Savonius tipe drag-lift, dengan dan tanpa *guide vane*, menunjukkan peningkatan performa dan modifikasi pola aliran akibat penambahan *guide vane*. Analisis meliputi karakteristik performa, vektor kecepatan, dan kontur tekanan. Hasil simulasi membuktikan peningkatan sirkulasi fluida pada turbin dengan *guide vane*, meningkatkan koefisien daya (C_p) hingga 22,2% pada sudut datang angin 30° . Meskipun performa dipengaruhi oleh arah angin, studi ini menyimpulkan bahwa penggunaan *guide vane* efektif meningkatkan efisiensi turbin angin Savonius, khususnya untuk aplikasi pada bangunan bertingkat (Wicaksono, 2020).

Adapun riset yang mensimulasikan secara numerik (menggunakan *Computational Fluid Dynamics* 3 dimensi) kinerja turbin angin sumbu vertikal H-rotor dengan variasi *aspect ratio* (H/D) 0,64 dan 1,56, serta sudut serang 0° dan 5° (menggunakan *airfoil* NACA0015) pada kecepatan angin 3 m/s dan *Tip Speed Ratio* 3, 3,5, dan 4. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi dengan *aspect ratio* 0,64 menghasilkan koefisien daya (C_p) yang lebih tinggi dibandingkan dengan *aspect ratio* 1,56. Nilai C_p tertinggi (0,454) dicapai pada *aspect ratio* 0,64, sudut serang 5° , dan *Tip Speed Ratio* 3,5 (Kurniawati dan Sukanda, 2020).

1.2 Rumusan Masalah

Investigasi turbulensi aliran pada bilah akan dilakukan secara simulasi menggunakan perangkat lunak Ansys. Fluent merupakan solver dari Ansys untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial medan aliran fluida secara numerik. Karena itu, rumusan masalah untuk simulasi ini meliputi:

1. Bagaimana setup yang diperlukan dalam mensimulasikan VP-VAWT *Cam-Rack-Pinion Mechanism* pada *software* Ansys Fluent?
2. Bagaimana pola aliran udara di sekitar bilah dan bagaimana potensi turbulensi bisa berkurang atau meningkat?
3. Pada Sudut Azimut berapa *velocity* dan *pressure* paling besar diarea sekitar turbin?

1.3 Batasan Masalah

Analisis pada VP-VAWT *Cam-Rack-Pinion Mechanism* dibatasi oleh hal-hal berikut:

1. Geometri yang akan digunakan adalah VP-VAWT *Cam-Rack-Pinion Mechanism* yang sudut bilah nya sudah sesuai dengan arah datangnya angin pada setiap kuadrannya.
2. Model bilah yang digunakan yaitu Model *airfoil* NACA 0012, dan terdiri dari 4 bilah pada desain VP-VAWT *Cam-Rack-Pinion Mechanism*.
3. Orientasi aliran angin yang menggerakkan VP-VAWT *Cam-Rack-Pinion Mechanism* hanya ditetapkan dalam satu arah.
4. Simulasi tersebut dilakukan dengan memanfaatkan *software* Ansys Fluent.

1.4 Tujuan

Proyek akhir ini bertujuan untuk:

1. Mendapatkan visualisasi medan kecepatan dan medan tekanan di sekitar bilah pada sudut bilah tertentu sebagai batas analisis.

2. Mendapatkan visualisasi aliran vortex yang terjadi pada VP-VAWT *Cam-Rack-Pinion Mechanism* di setiap kuadran analisis.

1.5 Luaran

Luaran dari Proyek Akhir ini adalah:

1. Laporan Proyek Akhir.
2. Prototipe *Vertical Axis Wind Turbine* skala laboratorium.
3. HKI.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Merujuk pada Pedoman Penulisan Laporan Proyek Akhir, berikut ini sistematika penulisan laporan proyek akhir:

1.6.1 Pendahuluan

Bab ini memaparkan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, luaran yang diharapkan, dan struktur penulisan proposal/laporan.

1.6.2 Tinjauan Pustaka

Bab ini menyajikan tinjauan pustaka yang relevan dengan proyek akhir ini.

1.6.3 Metodologi

Bab ini memaparkan metodologi riset, termasuk alur pengerjaannya yang disajikan secara sistematis dalam diagram alir beserta penjelasan detail setiap tahapan.

1.6.4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini mempresentasikan hasil dan diskusi data simulasi, meliputi pola aliran angin yang terbentuk pada VP-VAWT *Cam-Rack-Pinion Mechanism*.

1.6.5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini menyimpulkan hasil riset dan memberikan saran perbaikan untuk pengembangan riset selanjutnya.