

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. LATAR BELAKANG

Ketergantungan sektor ketenagalistrikan terhadap bahan bakar fosil masih sangat dominan hingga kini. Di Indonesia, pemanfaatan energi fosil mencapai angka yang mengkhawatirkan, yakni 58% dari total penggunaan energi nasional [1]. Data historis menunjukkan bahwa pada tahun 2002, tiga perempat kebutuhan energi dipenuhi oleh bahan bakar fosil [2]. Proyeksi yang dilakukan *Energy Information Administration* (EIA) mengindikasikan bahwa hingga tahun 2025, sumber energi konvensional seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara akan tetap mendominasi pola konsumsi energi. Meskipun ketersediaan batu bara masih cukup besar, penggunaannya menimbulkan permasalahan lingkungan serius berupa emisi karbon dioksida yang berkontribusi pada pemanasan global. Selain itu, mengingat sifatnya yang tidak terbarukan, energi fosil tidak dapat dijadikan andalan untuk memenuhi kebutuhan energi dalam jangka panjang [3].

Kehidupan manusia di planet ini sangat bergantung pada ketersediaan energi. Ditinjau dari sumbernya, energi dapat dibagi menjadi dua kategori utama: sumber daya yang dapat diperbarui dan yang tidak dapat diperbarui. Seiring dengan pertumbuhan permintaan energi yang terus meningkat, ketersediaan sumber energi konvensional seperti bahan bakar fosil semakin terbatas. Kondisi ini mendorong urgensi pengembangan sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Pemanfaatan energi terbarukan, khususnya potensi tenaga angin, muncul sebagai salah satu alternatif yang menjanjikan untuk mengatasi ancaman krisis energi [4].

Di antara berbagai sumber daya terbarukan, energi angin menunjukkan prospek yang menjanjikan untuk dikembangkan lebih lanjut. Dalam upaya memenuhi permintaan energi yang terus bertambah, pemanfaatan tenaga angin hadir sebagai opsi alternatif yang layak dipertimbangkan. Indonesia, dengan wilayah geografis yang luas dan potensi angin yang substansial, memiliki peluang besar dalam mengimplementasikan pembangkit listrik berbasis tenaga angin. Solusi ini dipandang strategis untuk mengatasi permasalahan keterbatasan energi. Dibandingkan sumber energi konvensional, tenaga angin menawarkan dua keunggulan utama: bersifat berkelanjutan dan tidak menghasilkan polusi. Dalam

aplikasinya, transformasi energi angin menjadi daya listrik diwujudkan melalui sistem turbin yang mengkonversi gerakan udara menjadi energi listrik [5].

Sebagai negara yang terdiri dari ribuan pulau, Indonesia dianugerahi sumber daya angin yang melimpah. Blueprint Pengelolaan Sumber Energi Nasional 2005-2025 mencatat potensi yang mencapai 9,29 GW, dengan rata-rata kecepatan angin melebihi 5 m/s. Berdasarkan pemetaan yang dilakukan Kementerian ESDM tahun 2018, sejumlah wilayah memiliki kapasitas pembangkitan yang menjanjikan, di antaranya Sukabumi dengan potensi 170 MW, Garut sebesar 150 MW, Lebak dan Pandeglang masing-masing 150 MW, serta Lombok yang mencapai 100 MW [4]. Dengan potensi sebesar ini, energi angin dapat berperan penting dalam memenuhi permintaan energi nasional yang terus meningkat [6].

Di Indonesia, pengembangan pembangkit tenaga angin mengalami berbagai kendala utama yang berkaitan dengan sifat angin yang sulit diperkirakan, mencakup aspek kelajuan dan orientasinya. Meski negara ini dikaruniai potensi angin yang besar, dinamika pergerakannya cenderung tidak stabil. Hal ini merupakan dampak dari beragamnya bentang alam Indonesia yang menyebabkan perbedaan aliran udara di berbagai tempat. Beberapa daerah memiliki tiupan angin yang stabil dan kencang, sementara wilayah lain mengalami hembusan yang lemah dan fluktuatif. Hal ini menyebabkan sulitnya membuat estimasi yang tepat terkait daya yang dapat dihasilkan dari pembangkit tenaga angin. Ketidakstabilan tersebut berdampak secara langsung pada performa masukan dan keluaran dari sistem pembangkit angin. Oleh karena itu, pengembangan teknologi turbin yang dapat menyesuaikan diri dengan berbagai kondisi angin di Indonesia merupakan hal yang krusial untuk segera diwujudkan [7].

Turbin angin, yang merupakan salah satu inovasi dalam bidang energi terbarukan yang telah berkembang sejak lama, memainkan fungsi vital dalam mentransformasi energi gerak udara. Mekanisme kerjanya mengandalkan aliran udara yang dikonversi menjadi pergerakan rotasi mekanik, kemudian diolah oleh generator induksi untuk menghasilkan energi listrik [8]. Seiring kemajuan teknologi, turbin angin kontemporer terbagi dalam dua klasifikasi berdasarkan orientasi poros putarnya: tipe poros tegak dan tipe poros mendatar. Mengingat kondisi angin di Indonesia yang beragam dan umumnya berkecepatan rendah, masih dibutuhkan riset

dan terobosan untuk memaksimalkan kinerja turbin di setiap daerah. Upaya peningkatan efektivitas turbin angin masih terus dilakukan sampai kini. Sejalan dengan meningkatnya permintaan energi dan semakin luasnya penggunaan sumber energi terbarukan dalam jaringan listrik, dibutuhkan penyesuaian yang komprehensif dalam pengelolaan infrastruktur kelistrikan [9].

Dalam implementasi teknologi turbin angin, aspek pengendalian arah menjadi isu krusial yang perlu diatasi. Keberadaan mekanisme kontrol yang akurat dalam menghadapi perubahan arah angin merupakan faktor kunci untuk memaksimalkan performa dan efisiensi sistem turbin. Ketiadaan sistem kendali yang memadai akan mengakibatkan turbin tidak dapat menangkap energi angin secara maksimal. Peningkatan efisiensi turbin dapat dicapai melalui beberapa pendekatan, mencakup penyempurnaan desain *airfoil*, modifikasi geometri *blade*, serta pengembangan sistem kontrol. Untuk memperoleh hasil optimal dalam ekstraksi energi angin, dibutuhkan rancangan turbin dengan tingkat efisiensi tinggi. Namun, karakteristik angin di Indonesia yang cenderung tidak beraturan menimbulkan kendala pada turbin konvensional yang hanya dapat mengekstrak energi dari satu arah. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan pengembangan supporting sistem yang dapat memastikan rotor turbin selalu berada pada posisi tegak lurus terhadap arah datangnya angin, mengingat *blade* hanya dapat berputar efektif ketika angin mengenainya secara perpendikular [10].

Beberapa penelitian sebelumnya terkait sistem kontrol arah turbin angin sudah pernah dilakukan. Penelitian berjudul “Perancangan Sistem Kontrol Otomatis Turbin Angin *Yaw Direction*” oleh Ajat Sudrajat dan tim dilakukan di Universitas Nasional, Pasar Minggu, Jakarta bertujuan untuk merancang sebuah sistem kontrol yang mampu mengatur arah gerak *yaw* dari turbin angin secara otomatis. Perancangan terdiri dari sebuah alat bantu berupa miniatur turbin angin yang dilengkapi dengan *Graphical User Interface* (GUI) yang dapat dikontrolkan pengguna. Hasil dari penelitian ini adalah parameter optimal yang dicari yakni kedekatan nilai bacaan dan nilai referensi dari perpindahan sudut *yaw*. Dengan nilai *error* rata-rata yang masih kecil, perpindahan sudut *yaw* dianggap masih terjadi. Penggunaan kontrol PID pada motor meningkatkan efisiensi pergerakan motor. Keunggulan penelitian ini adalah sistem kontrol yang menggunakan perangkat lunak

LabView dan kontroler Arduino memungkinkan untuk penyesuaian dan pengoptimalan yang lebih mudah. Ini memberikan fleksibilitas dalam pengaturan dan pengoperasian turbin angin. Namun, pengujian penelitian ini hanya terbatas menggunakan konstanta PID yang sederhana, seperti hanya mengatur sistem kontrol pada konstanta P, tanpa melakukan optimasi lebih lanjut. Penggunaan konstanta yang tidak dioptimalkan mungkin menghasilkan kinerja yang kurang optimal dari sistem kontrol yang diusulkan.

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, oleh karena itu pada penelitian ini penulis akan membuat suatu sistem kendali arah turbin angin menggunakan metode PID (*Proportional Integral Derivative*) dengan melakukan pengoptimalan konstanta PID menggunakan metode yang sesuai seperti metode *Tuning Cohen Coon* pada *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT). Pengoptimalan konstanta PID akan memungkinkan sistem kontrol untuk memberikan respons yang lebih cepat, stabil, dan akurat terhadap perubahan *input* dan gangguan eksternal.

Studi skripsi ini membuka peluang bisnis yang cukup besar dalam inovasi teknologi energi terbarukan, terutama di bidang turbin angin. Prototipe yang dikembangkan menggunakan kontroler *Proportional-Integral-Derivative* (PID) ini dirancang untuk meningkatkan kinerja dan kehandalan turbin angin dalam memanfaatkan energi angin secara maksimal. Kemampuannya untuk menyesuaikan arah turbin secara otomatis berdasarkan perubahan arah angin menjadikannya solusi inovatif bagi industri yang memerlukan sistem turbin angin yang efisien dan ekonomis.

Potensi bisnis dari penelitian ini mencakup produksi dan pemasaran sistem kontrol *yaw* berbasis PID untuk turbin angin, baik dalam skala kecil seperti penggunaan rumah tangga maupun skala besar untuk aplikasi industri dan komersial. Selain itu, pengembangan lebih lanjut dari prototipe ini dapat menjawab permintaan pasar global yang terus tumbuh terhadap sumber energi bersih dan terbarukan, sekaligus membuka kesempatan kerja di sektor teknik dan teknologi energi. Dengan begitu, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi akademis, tetapi juga memiliki dampak ekonomi yang luas dalam mendorong peralihan menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan.

## 1.2. RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana cara mengimplementasikan metode PID *Tuning* Cohen Coon dalam pengontrolan arah *yaw* turbin angin untuk meningkatkan respons sistem terhadap perubahan arah angin dengan optimal?
- 2) Bagaimana memodifikasi dan mengoptimalkan parameter kontrol PID berdasarkan metode *Tuning* Cohen Coon untuk mencapai sistem yang stabil, cepat, dan presisi dalam mengendalikan arah *yaw* turbin angin?
- 3) Bagaimana mengevaluasi efektivitas sistem kontrol arah *yaw* turbin angin menggunakan metode PID *Tuning* Cohen Coon?

## 1.3. BATASAN MASALAH

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

- 1) Penelitian ini akan membatasi implementasi sistem kontrol arah pada turbin angin dengan menggunakan metode PID *Tuning* Cohen Coon hanya pada turbin angin tipe *Horizontal Axis Wind turbine* (HAWT).
- 2) Pengembangan dan pengujian sistem kendali akan dilakukan dalam lingkup laboratorium dengan mempertimbangkan skala model miniatur/*prototype* turbin angin.
- 3) Penggunaan metode identifikasi *Tuning* Cohen Coon akan dibatasi pada penentuan parameter kendali PID (*Proportional*, *Integral*, dan *Derivative*) untuk mengendalikan arah turbin angin.
- 4) Evaluasi kinerja sistem kontrol akan dilakukan dengan membandingkan respons sistem terhadap perubahan arah angin antara sistem tanpa dan dengan PID.
- 5) Penelitian ini akan membatasi pengujian sistem kendali pada kondisi angin simulasi dan pada skala model turbin angin yang tetap stabil, tanpa mempertimbangkan variasi angin alamiah secara langsung.

## 1.4. TUJUAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1) Mengimplementasikan sistem kontrol arah pada turbin angin dengan menggunakan metode PID *Tuning* Cohen Coon hanya pada turbin angin tipe *Horizontal Axis Wind turbine* (HAWT).

- 2) Memodifikasi dan mengoptimalkan parameter kontrol PID berdasarkan metode *Tuning Cohen Coon* untuk mencapai sistem yang stabil, cepat, dan presisi dalam mengendalikan arah *yaw* turbin angin.
- 3) Mengevaluasi efektivitas sistem kontrol arah *yaw* turbin angin menggunakan metode PID *Tuning Cohen Coon*.

### **1.5. MANFAAT**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi terbarukan dengan memperbaiki efisiensi operasional turbin angin melalui sistem kendali arah yang lebih canggih dan responsif. Implementasi sistem kendali PID *Tuning Cohen Coon* pada turbin angin dapat meningkatkan kemampuan turbin untuk menangkap energi angin dengan lebih efisien, sehingga mengoptimalkan produksi energi terbarukan. Sistem kendali arah yang lebih presisi akan memungkinkan turbin angin untuk beroperasi dalam berbagai kondisi angin dengan lebih baik

### **1.6. SISTEMATIKA PENULISAN**

Penelitian ini terbagi menjadi beberapa bab. Bab 1 berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, manfaat, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan. Bab 2 membahas tentang kajian literatur dan dasar teori untuk menjelaskan parameter konsep yang terkait dari sistem kontrol arah turbin angin menggunakan metode PID pendekatan *Tuning Cohen Coon*. Kemudian, bab 3 mencakup bahan dan alat yang digunakan untuk penelitian, desain alat atau simulasi yang akan dibuat, dan alur penelitian yang dilakukan. Pada bab 4, berisi mengenai analisa dan pembahasan dari hasil pengamatan yang telah dilakukan. Lalu, pada bab 5 Berisi mengenai kesimpulan dari pengamatan yang sudah dilakukan serta saran untuk pengembangan penelitian kedepannya.