

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi, dengan konsumsi listrik nasional pada 2023 mencapai 288,44 TWh, naik 5,36% dari tahun sebelumnya.[1] Struktur energi nasional masih didominasi sumber fosil, sementara kontribusi energi terbarukan—terutama angin—masih kecil dibandingkan potensinya, sehingga pemerintah mendorong percepatan transisi energi bersih melalui pemanfaatan potensi lokal seperti energi angin .[2] Energi angin dimanfaatkan melalui turbin angin yang mengonversi energi kinetik angin menjadi energi listrik, dengan teknologi yang terus berkembang melalui inovasi desain bilah dan material.[3]

Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) banyak digunakan pada sistem PLTB modern karena mampu menghasilkan torsi besar pada kecepatan rendah tanpa gearbox, sehingga lebih efisien dibandingkan generator sinkron konvensional.[4] Namun, salah satu tantangan utama PMSG tiga fasa pada sistem kecepatan variabel adalah fluktuasi frekuensi keluaran akibat variasi kecepatan angin, yang menyebabkan kecepatan rotor tidak konstan sehingga frekuensi dapat bergeser dan mengganggu stabilitas sistem kelistrikan. Studi PMSG di Indonesia umumnya lebih berfokus pada desain generator atau optimasi daya, seperti penelitian "Perancangan Radial Flux PMSG sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Angin" yang menyebutkan kecepatan rendah dan tidak konstan menjadi hambatan utama penggunaan PMSG untuk energi angin.[5] Permasalahan inilah yang menjadi dasar perlunya analisis mendalam mengenai pengaruh kecepatan turbin terhadap frekuensi keluaran PMSG sebagai dasar strategi kontrol sistem yang andal.[4].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini menggunakan sistem konverter AC-AC back-to-back dilengkapi Low Pass Filter (LPF) untuk menstabilkan frekuensi keluaran PMSG dan meredam noise akibat switching konverter. Penelitian dilakukan melalui simulasi MATLAB/Simulink dan pengujian lapangan pada sistem PLTB skala laboratorium di Universitas Muhammadiyah Surabaya menggunakan generator PMSG Vesdas G100, guna memperoleh

gambaran komprehensif mengenai karakteristik hubungan kecepatan angin dan frekuensi keluaran PMSG.

Sebagian besar penelitian terdahulu mengenai stabilitas frekuensi PMSG berfokus pada sistem grid-connected dengan strategi kontrol kompleks, sementara kajian pada sistem stand-alone skala laboratorium beserta rangkaian kendali frekuensinya masih terbatas. Keterbaruan penelitian ini terletak pada analisis kuantitatif pengaruh kecepatan angin terhadap stabilitas frekuensi PMSG tiga fasa menggunakan dua pendekatan sekaligus (simulasi dan pengujian lapangan berbasis Arduino), serta pembuktian bahwa Low Pass Filter merupakan komponen krusial dalam rangkaian kendali frekuensi berbasis konverter AC-AC back-to-back, yang mampu meredam ripple frekuensi akibat switching tanpa memerlukan kontroler kompleks, sehingga menghasilkan sistem kendali yang sederhana namun efektif dalam menstabilkan frekuensi keluaran PMSG mendekati nilai referensi 50 Hz.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada di atas, maka terdapat 2 poin rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik perubahan frekuensi keluaran PMSG ketika terjadi variasi kecepatan angin pada sistem turbin angin kecepatan variabel?
2. Bagaimana rangkaian kendali frekuensi yang ideal untuk menstabilkan frekuensi output dari PMSG?

1.3. Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui karakteristik hubungan antara kecepatan turbin dan kestabilan frekuensi keluaran generator, sehingga dapat menjadi dasar perancangan sistem pengendalian turbin angin yang lebih efisien.
2. Untuk mengetahui rangkaian kendali frekuensi yang ideal untuk menstabilkan frekuensi output dari PMSG.

1.4. Manfaat penelitian

Adapun manfaat dari terlaksananya penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh fluktuasi kecepatan angin terhadap frekuensi keluaran pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang menggunakan generator sinkron magnet permanen (PMSG).

2. Memberikan gambaran mengenai karakteristik dinamis hubungan antara kecepatan turbin angin dan kestabilan frekuensi sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam perancangan sistem pengendalian turbin angin.
3. Menjadi acuan teknis dalam meningkatkan efisiensi sistem kelistrikan PLTB, terutama pada kondisi variasi kecepatan angin yang memengaruhi kualitas daya listrik.
4. Mendukung pengembangan dan pemanfaatan sistem pembangkit tenaga angin secara efektif sebagai bagian dari upaya penerapan energi terbarukan di Indonesia menuju sistem energi yang bersih dan berkelanjutan.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada pada penelitian ini meliputi beberapa poin, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh variabel kecepatan turbin angin terhadap frekuensi keluaran PMSG tiga fasa pada sistem turbin angin kecepatan variabel.
2. Kajian yang dilakukan hanya mencakup simulasi dan analisis hubungan antara kecepatan turbin, frekuensi keluaran, serta kestabilan daya listrik, tanpa membahas secara mendalam aspek mekanik struktur turbin atau desain aerodinamika bilah.
3. Sistem generator yang dikaji terbatas pada jenis Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga angin berskala kecil hingga menengah.
4. Penelitian ini tidak membahas secara detail integrasi jaringan (grid connection) dan sistem penyimpanan energi, melainkan berfokus pada karakteristik keluaran generator terhadap variasi kecepatan turbin.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pemahaman, berikut gambaran singkatnya. Dalam skripsi ini, akan dijelaskan mengenai sistematika penulisan. Salah satu metode penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan dasar-dasar teori yang mendukung penelitian berdasarkan hasil literatur dan jurnal, seperti penjelasan tentang energi angin, turbin angin, PMSG tiga fasa, hubungan kecepatan turbin dan frekuensi keluaran, serta teori konverter AC-AC.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini terdapat pembahasan tentang letak lokasi penelitian, fungsi-fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah-langkah penelitian

BAB IV ANALISIS DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini berisikan tentang analisis hasil dari penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat didalam penelitian ini.

BAB V KESIMPULAN DAN PENUTUP

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.