

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berpotensi besar dikembangkan di Indonesia, karena sejalan dengan komitmen nasional dalam pengembangan energi bersih dan berkelanjutan, Dewan Energi Nasional (DEN) menargetkan peningkatan porsi energi terbarukan dalam bauran energi nasional guna mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan menekan emisi gas rumah kaca[1][2]. Berdasarkan data BMKG, rata-rata kecepatan angin di Indonesia berkisar antara 4–6 m/s[3]. Kondisi ini menuntut penggunaan generator dengan efisiensi tinggi dan torka awal rendah agar tetap mampu menghasilkan daya listrik optimal pada kecepatan putar turbin yang relatif rendah.

Generator Magnet Permanen (GMP) menjadi salah satu pilihan terbaik untuk sistem PLTB karena memiliki efisiensi tinggi, konstruksi sederhana, dan tidak memerlukan eksitasi eksternal. Namun, GMP memiliki kelemahan utama berupa torka *cogging* (*cogging torque*), yaitu torka tidak merata yang timbul akibat interaksi antara magnet permanen pada rotor, slot stator dan celah udara[4][5], ketika GMP berputar saat putaran awal seperti ada hentakan pada rotor karena adanya gaya melawan searah jarum jam atau berlawanan. Fenomena ini menyebabkan getaran atau vibrasi, kebisingan, serta kesulitan *start-up*, sehingga dapat menyebabkan rugi rugi daya pada GMP, serta dapat menurunkan efektifitas dan efisien[6], dan juga kerugian secara mekanikal karena terjadinya ketidakseimbangan pada rotor sehingga menyebabkan bearing rusak. Oleh karena itu pentingnya meminimalkan torka *cogging* pada PLTB kondisi kecepatan angin rendah terutama di Indonesia.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan optimalisasi desain geometris generator, khususnya pada magnet dan slot opening, agar nilai torka *cogging* dapat ditekan tanpa mengurangi kinerja elektromagnetik. Pada penelitian ini, dilakukan optimasi variasi celah udara (*air gap*), desain bentuk magnet (*Magnet Edge Shaping*), alur tiruan (*dummy slot*) dan bukaan celah alur (*slot opening*) pada GMP 28 kutub magnet (*pole*) 24 slot[7][8][9].

Melalui optimasi ini diharapkan terjadi penurunan *cogging torque* yang signifikan, sehingga generator dapat berputar lebih halus, meningkatkan efisiensi konversi energi, dan mendukung kinerja PLTB yang stabil serta andal pada kondisi kecepatan angin rendah-menengah di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah pada perancangan ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mendesain GMP awal, optimasi 1, dan optimasi 2 di aplikasi FEMM 4.2?
2. Bagaimana cara menurunkan torka *cogging* pada desain awal GMP 28 kutub magnet (*pole*) 24 slot?
3. Apakah metode variasi celah udara, *slot opening*, *Magnet Edge Shaping*, dan *dummy slot* dapat mengurangi nilai torka *cogging* secara signifikan pada desain optimasi 1 dan 2?
4. Berapa persen penurunan torka *cogging* yang dapat dicapai pada desain optimasi 1 dan desain optimasi 2 dibanding desain awal?
5. Manakan desain yang lebih optimal dan torka *cogging* yang rendah?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan perancangan ini berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, sebagai berikut :

1. Menganalisis karakteristik torka *cogging* pada desain awal generator GMP 28 kutub magnet (*pole*) 24 slot melalui simulasi menggunakan FEMM 4.2.
2. Mengetahui besarnya nilai torka *cogging* pada rotor GMP per masing-masing sudut.
3. Merancang dan memodelkan variasi desain rotor dan stator dengan variasi celah udara, bukaan stator (*slot opening*), metode pangkas ujung magnet *edge shaping* dan penambahan *dummy slot* untuk meminimalkan torka *cogging*.

4. Melakukan perubahan desain geometri dan simulasi FEMM 4.2 untuk membandingkan besarnya torka *cogging* performa antara desain awal dan desain optimasi 1 dan desain optimasi 2.
5. Menghitung persentase penurunan torka *cogging* berdasarkan hasil simulasi dan mengevaluasi efektivitas metode optimasi yang digunakan.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari perancangan ini, sebagai berikut :

1. Memberikan referensi akademik tentang reduksi torka *cogging* pada GMP.
2. Menjadi solusi teknis untuk menurunkan torka *cogging* melalui modifikasi desain.
3. Mendukung pengembangan generator efisien untuk PLTB di Indonesia.
4. Menjadi acuan bagi penelitian dan pengajaran di bidang elektromagnetik berbasis simulasi FEMM.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Dari beberapa masalah yang ada dalam perancangan ini, maka perlu diberikan batasan masalah, sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya berfokus pada generator tipe Generator Magnet Permanen (GMP) dengan konfigurasi 24 slot dan 28 kutub magnet (*pole*).
2. Jenis magnet permanen yang digunakan dibatasi pada NdFeB (Neodymium Iron Boron) dengan sifat magnetik konstan (tanpa mempertimbangkan efek suhu).
3. Simulasi dan analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak FEMM 4.2.
4. Nilai torka *cogging* yang dianalisis merupakan hasil dari simulasi statis (*no-load condition*), tidak melibatkan kondisi dinamis atau beban listrik.
5. Optimasi desain difokuskan pada perubahan geometri magnet rotor dan slot stator, yaitu metode variasi celah udara, *slot opening*, *Magnet Edge Shaping* dan *dummy slot*.
6. Variasi material inti stator dibatasi hanya pada material M19 steel.

7. Parameter seperti kecepatan rotasi, frekuensi, dan tegangan output tidak menjadi variabel utama penelitian, hanya digunakan sebagai data pendukung.
8. Hasil optimasi 1 dan 2 hanya dibandingkan terhadap desain awal (original) untuk menentukan persentase penurunan torka *cogging*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memberikan gambaran umum mengenai isi setiap bab yang terdapat dalam laporan penelitian. Adapun sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan laporan. Bab ini menjelaskan alasan pemilihan topik, arah penelitian, dan ruang lingkup kajian yang akan dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori pendukung yang relevan dengan penelitian, seperti konsep dasar Generator Magnet Permanen (GMP), teori torka *cogging*, prinsip kerja FEMM 4.2, serta penelitian-penelitian terdahulu yang berhubungan dengan optimasi desain elektromagnetik. Semua referensi yang digunakan dalam bab ini dicantumkan dalam daftar pustaka.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah penelitian yang dilakukan, meliputi tahapan perancangan model GMP, penentuan parameter desain, metode simulasi menggunakan FEMM 4.2, serta prosedur analisis data hasil simulasi untuk memperoleh nilai torka *cogging*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan hasil simulasi dan analisis, termasuk perbandingan nilai torka *cogging* antara desain awal, desain optimasi 1, dan desain optimasi 2. Selain itu, dijelaskan juga evaluasi efektivitas metode optimasi terhadap penurunan torka *cogging* dan performa elektromagnetik GMP.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk pengembangan atau penelitian lanjutan di masa mendatang, seperti analisis dinamis di bawah beban atau pengujian eksperimental.

DAFTAR PUSTAKA

Memuat seluruh sumber referensi yang digunakan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir, baik berupa buku, jurnal, artikel ilmiah, maupun sumber daring yang relevan.