

**STUDI PERFORMA GENERATOR SINKRON MAGNET PERMANEN
PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan untuk Mencapai Derajat Strata-1
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



APRI TRI NUGROHO

20110120041

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

YOGYAKARTA

2020

PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini adalah asli hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan daftar Pustaka.

Yogyakarta, 7 November 2020



PERSEMBAHAN

Teruntuk,

Kedua orang tua saya, Ngudi Waluyo dan Sunarni,

*Istri saya, Dini Fitrah Eristanti dan anak-anak saya Rusyd D. Khizanat Alhikmah
dan Malla D. Syahira Fukayna,*

Kedua kakak saya, Sunandar dan Sri Suparni,

Keluarga besar saya,

Alam semesta dan yang bergerak bersamanya.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, penyusunan laporan tugas akhir dengan judul **“Studi Performa Generator Sinkron Magnet Permanen pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)”** dapat diselesaikan. Sholawat serta salam semoga selalu tersampaikan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarganya.

Tugas akhir ini semula dilaksanakan pada pertengahan hingga menjelang akhir tahun 2015. Namun dikarenakan oleh sejumlah kegiatan dan beberapa kendala, penyelesaian laporan tugas akhir ini baru bisa dilakukan pada tahun 2020. Atas kesabaran pihak-pihak yang tak hentinya membantu penulis, penulis merasa perlu menyampaikan rasa terima kasih kepada orang-orang di sekitar penulis yang telah membantu dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, atas peranannya penulis sampaikan rasa terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Ramadoni Syahputra, ST., MT., IPM., yang telah memberi kesempatan untuk membantu proses penelitian Pembangkit Listrik tenaga Bayu/Angin (PLTB).
2. Bapak Kunnu Purwanto, ST., M.Eng., yang telah bersedia menjadi pembimbing tugas akhir, meski penulis menghubungi secara mendadak.
3. Bapak Yudhi Ardiyanto, S.T., M.Eng., yang telah menyediakan waktunya untuk menjadi penguji dalam sidang tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Sukamta, ST., MT., IPM., yang telah membantu pengaktifan status mahasiswa penulis.
5. Bapak Dr. Ir. Gatot Supangkat, MP., IPM., yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk berkarya di LP3M UMY dan memberi kesempatan untuk menyelesaikan studi.
6. Bapak Dr. M. Heri Zulfiar, ST., MT., yang telah membimbing dan selalu memberikan nasihat kepada penulis untuk membahagiakan orang tua.
7. Bapak Dr. Iswanto, ST., M.Eng., IPM., yang telah membantu penulis menyelesaikan kerja praktik.

8. Bapak Budi Nugroho dan Om Joko, penulis tidak dapat membayangkan akan seperti apa jadinya jika tidak ada teman *ngobrol* seperti bapak-bapak berdua ini, terima kasih.
9. Bapak Dr. Aris Slamet Widodo, SP., M.Sc. dan Ibu Dr. Dyah Mutiarin, M.Si. yang selalu mendorong penulis untuk segera menyelesaikan studi.
10. Bapak-bapak serta Ibu-ibu di LP3M UMY, Pak Tatang, Pak Kodri, Pak Imam, Ibu Dr. Adhianty Nurjanah, S.Sos., M.Si., dan Ibu Dianita Sugiyono, S.Kep., Ns., MHID.
11. Bapak Chriswantoro, B.Eng., yang telah memandu penulis dalam proses penelitian PLTB di *Workshop* Sistem Konversi Energi Angin Kedungbule, Trimurti, Srandakan, Bantul, DI Yogyakarta.
12. Mas Adit, Body, Mas Fharkhan dan Mas Janan.
13. Mas Ananto dan Bunda Harti.
14. Bapak dan Ibu dosen Teknik Elektro FT UMY, khususnya Bu Anna Nur NA., ST., M.Eng., yang selalu mendorong saya untuk menyelesaikan studi, baik saat bertemu di LP3M, ruang referensi FT UMY atau saat monev KKN.
15. Teman-teman TE 2011, yang pernah memprediksi saya sebagai mahasiswa yang paling jarang masuk kuliah.
16. Teman-teman IMM FT, secara khusus untuk angkatan 2011.
17. Teman-teman IMM Cabang AR Fakhruddin 2014-2015, khususnya Hilmy, Fariq dan Kiko, semoga studi kita *khusnul khotimah*

Banyak pihak yang penulis tidak dapat menyebutkannya satu-persatu, penulis sekali lagi menyampaikan rasa terima kasih. Penulis menyadari bahwa penulisan laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, kritik dan saran atas penulisan ini akan penulis terima.

Demikian, semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu dan pengetahuan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 7 November 2020

Apri Tri Nugroho

DAFTAR ISI

| | |
|--|------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | ii |
| PERNYATAAN..... | iii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iv |
| PERSEMBAHAN..... | v |
| KATA PENGANTAR..... | vi |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR GAMBAR..... | xi |
| DAFTAR TABEL | xv |
| INTISARI | xvi |
| BAB I..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4. Tujuan | 3 |
| 1.5. Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.6. Sistematika Penulisan | 3 |
| BAB II | 5 |
| 2.1. Tinjauan Pustaka | 5 |
| 2.2. Dasar Teori | 5 |
| 2.2.1. Angin | 5 |
| 2.2.2. Penerapan Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) | 11 |
| 2.2.3. Turbin Angin..... | 13 |
| 2.2.4. Generator Sinkron..... | 16 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.5. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Angin)..... | 24 |
| BAB III..... | 26 |
| 3.1. Alat dan Bahan Penelitian | 26 |
| 3.2. Langkah-langkah Penyusunan Karya Tulis | 27 |
| BAB IV | 37 |
| 4.1. Hasil dan Analisa Pengujian Skala Laboratorium | 37 |
| 4.2. Hasil dan Analisa Pengujian Lapangan | 40 |
| 4.2.1. Performa Generator | 40 |
| 4.2.2. Kecepatan Angin..... | 43 |
| 4.2.3. Korelasi antara Performa Generator dengan Kecepatan Angin | 45 |
| BAB V..... | 47 |
| 5.1. Kesimpulan | 47 |
| 5.2. Saran..... | 48 |
| DAFTAR PUSTAKA | 49 |
| HALAMAN LAMPIRAN..... | 51 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1 Profil umum pergeseran angin, (Daryanto, 2007)..... | 7 |
| Gambar 2. 2 Konstruksi Anemometer Cups, (mywindpowersystem, 2020) | 9 |
| Gambar 2. 3 Kincir angin di area perbukitan Sidrap, (Kompas.com, 2020) | 11 |
| Gambar 2. 4 Kincir angin di dataran terbuka China, (bppt.go.id, 2020) | 12 |
| Gambar 2. 5 Kincir angin di pesisir Pantai Baru Bantul, (bernas.id, 2020)..... | 13 |
| Gambar 2. 6 Berbagai Macam Turbin Angin Sumbu Horizontal, (Daryanto, 2007) | 14 |
| Gambar 2. 7 Berbagai Macam Turbin Angin Sumbu Vertikal, (Adlie, Fazri, & Efendi, 2015)..... | 15 |
| Gambar 2. 8 Bagian Utama Generator (Rotor dan Stator), (HLQ INDUCTION EQUIPMENT CO, LTD, 2020)..... | 17 |
| Gambar 2. 9 Generator serempak dasar kutub-2, (Fitzgerald, Jr., & Umans, 1992) | 18 |
| Gambar 2. 10 (a) Bentuk gelombang untuk setiap satu putaran rotor, (b) bentuk gelombang dari tegangan listrik yang dihasilkan generator..... | 18 |
| Gambar 2. 11 Generator sinkron kutub-4 sederhana, (Fitzgerald, Jr., & Umans, 1992) | 20 |
| Gambar 2. 12 Karakter sudut ruang dan kerapatan fluks pada generator sinkron kutub-4, (Fitzgerald, Jr., & Umans, 1992)..... | 20 |
| Gambar 2. 13 Tampilan sederhana generator dengan rotor silindris, (Fitzgerald, Jr., & Umans, 1992)..... | 22 |
| Gambar 2. 14 Generator tiga fase sederhana dua kutub (a) dan empat kutub (b), (Fitzgerald, Jr., & Umans, 1992)..... | 23 |
| Gambar 2. 15 Hubungan Y pada kumparan tiga fase, (Fitzgerald, Jr., & Umans, 1992) | 24 |
| Gambar 2. 16 Ilustrasi Proses Konversi Energi Angin menjadi Energi Listrik, (Boldea, 2005)..... | 25 |
| Gambar 3. 1 Diagram alir yang menunjukkan proses penelitian ini..... | 27 |
| Gambar 3. 2 Rotor dan Stator Generator Sinkron Magnet Permanen dalam Tahap Perancangan | 29 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3. 3 Pembuatan sudu/blade..... | 30 |
| Gambar 3. 4 Pembuatan ekor turbin | 30 |
| Gambar 3. 5 Pembuatan engsel turbin | 31 |
| Gambar 3. 6 Gambar Pengujian Generator Sinkron Magnet Permanen Berkapasitas 2 kW, Skala Laboratorium..... | 32 |
| Gambar 3. 7 Pemasangan Turbin Angin..... | 33 |
| Gambar 3. 8 Dua buah multimeter yang masing-masing digunakan sebagai voltmeter dan amperemeter..... | 34 |
| Gambar 3. 9 Anemometer (pengukur kecepatan angin) | 34 |
| Gambar 3. 10 Pemasangan Baterai | 35 |
| Gambar 3. 11 Skema Rangkaian Pengujian..... | 35 |
| Gambar 3. 12 Panel kontrol dan pengamatan | 36 |
| Gambar 4. 1 Hubungan Putaran Generator (RPM) dengan V AC Generator dalam Pengujian Generator Sinkron Magnet Permanen Skala Laboratorium | 38 |
| Gambar 4. 2 Hubungan Putaran Generator (RPM) dengan V DC Generator dalam Pengujian Generator Sinkron Magnet Permanen Skala Laboratorium | 39 |
| Gambar 4. 3 Hubungan Putaran Generator (RPM) dengan I Beban dalam Pengujian Generator Sinkron Magnet Permanen Skala Laboratorium | 39 |
| Gambar 4. 4 Pengamatan Tegangan Generator (V AC), Pkl 12.00-14.00,..... | 41 |
| Gambar 4. 5 Pengamatan Tegangan DC (V DC), Pkl 12.00-14.00, | 42 |
| Gambar 4. 6 Pengamatan I Beban (Ampere), Pkl 12.00-14.00, 5 September 2015 | 42 |
| Gambar 4. 7 Data kecepatan angin tertinggi pada dua jam pertama pengamatan | 44 |
| Gambar 4. 8 Grafik kecepatan angin terendah saat proses pengamatan..... | 44 |
| Gambar 4. 9 Grafik hubungan kecepatan angin dengan daya yang dihasilkan generator..... | 45 |

LAMPIRAN GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1. Hasil Pengamatan Tegangan Generator (V AC), Pkl 12.00-15.00, | 58 |
| Gambar 2. Hasil Pengamatan Tegangan Generator (V AC), Pkl 15.10-18.00, | 58 |
| Gambar 3. Hasil Pengamatan Tegangan Generator (V AC), Pkl 18.10-21.00, | 59 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4. Hasil Pengamatan Tegangan Generator (V AC), Pkl 21.10-00.00, | 59 |
| Gambar 5. Hasil Pengamatan Tegangan Generator (V AC), Pkl 00.10-03.00, | 60 |
| Gambar 6. Hasil Pengamatan Tegangan Generator (V AC), Pkl 03.10-05.00, | 60 |
| Gambar 7. Hasil Pengamatan Tegangan Generator (V AC), Pkl 05.10-07.00, | 61 |
| Gambar 8. Hasil Pengamatan Tegangan Beban (V DC), Pkl 12.00-15.00, | 62 |
| Gambar 9. Hasil Pengamatan Tegangan Beban (V DC), Pkl 15.10-18.00, | 62 |
| Gambar 10. Hasil Pengamatan Tegangan Beban (V DC), Pkl 18.10-21.00, | 63 |
| Gambar 11. Hasil Pengamatan Tegangan Beban (V DC), Pkl 21.10-00.00, | 63 |
| Gambar 12. Hasil Pengamatan Tegangan Beban (V DC), Pkl 00.10-03.00, | 64 |
| Gambar 13. Hasil Pengamatan Tegangan Beban (V DC), Pkl 03.10-05.00, | 64 |
| Gambar 14. Hasil Pengamatan Tegangan Beban (V DC), Pkl 05.10-07.00, | 65 |
| Gambar 15. Hasil Pengamatan Arus Beban (I Beban), Pkl 12.00-15.00, | 66 |
| Gambar 16. Hasil Pengamatan Arus Beban (I Beban), Pkl 15.10-18.00, | 66 |
| Gambar 17. Hasil Pengamatan Arus Beban (I Beban), Pkl 18.10-21.00, | 67 |
| Gambar 18. Hasil Pengamatan Arus Beban (I Beban), Pkl 21.10-00.00, | 67 |
| Gambar 19. Hasil Pengamatan Arus Beban (I Beban), Pkl 00.10-03.00, | 68 |
| Gambar 20. Hasil Pengamatan Arus Beban (I Beban), Pkl 03.10-05.00, | 69 |
| Gambar 21. Hasil Pengamatan Arus Beban (I Beban), Pkl 03.10-05.00, | 69 |
| Gambar 22. Daya Generator (P Generator), Pkl 12.00-15.00, | 70 |
| Gambar 23. Daya Generator (P Generator), Pkl 15.10-18.00, | 70 |
| Gambar 24. Daya Generator (P Generator), Pkl 18.10-21.00, | 71 |
| Gambar 25. Daya Generator (P Generator), Pkl 21.10-00.00, | 72 |
| Gambar 26. Daya Generator (P Generator), Pkl 00.10-03.00, | 72 |
| Gambar 27. Daya Generator (P Generator), Pkl 03.10-05.00, | 73 |
| Gambar 28. Daya Generator (P Generator), Pkl 05.10-07.00, | 73 |
| Gambar 29. Hasil Pengamatan Kec. Angin, Pkl 12.00-15.00, | 74 |
| Gambar 30. Hasil Pengamatan Kec. Angin, Pkl 15.10-18.00, | 74 |
| Gambar 31. Hasil Pengamatan Kec. Angin, Pkl 18.10-21.00, | 75 |
| Gambar 32. Hasil Pengamatan Kec. Angin, Pkl 21.10-00.00, | 75 |
| Gambar 33. Hasil Pengamatan Kec. Angin, Pkl 00.10-03.00, | 76 |
| Gambar 34. Hasil Pengamatan Kec. Angin, Pkl 03.10-05.00, | 76 |

| | |
|---|----|
| Gambar 35. Hasil Pengamatan Kec. Angin, Pkl 05.10-07.00,..... | 77 |
| Gambar 36. Panel Penyearah Tegangan Generator..... | 78 |
| Gambar 37. Penyiapan generator untuk pengujian skala laboratorium di Workshop SKEA Kedunbule, Srandakan, Bantul | 79 |
| Gambar 38. Proses Pengamatan dan Pengambilan Data..... | 79 |
| Gambar 39. Pengamatan dan Pengambilan data malam hari | 80 |
| Gambar 40. Foto setelah pengujian bersama tim Workshop SKEA Kedunbule, Srandakan, Bantul | 81 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Level Klasifikasi Kecepatan Angin dan Deskripsinya, (Habibie, Sasmito, & Kurniawan, 2011)..... | 8 |
| Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Generator Sinkron Magnet Permanen Skala Laboratorium..... | 37 |

LAMPIRAN TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1. Hasil pengamatan performa generator sinkron magnet permanen 2 kW, Pengamatan 5-6 September 2015..... | 51 |
|---|----|