

**PEMODELAN DAN SIMULASI PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA BAYU SISTEM *ON-GRID* MENGGUNAKAN
MATLAB SIMULINK**

SKRIPSI

Oleh :

YOSEP CRISTIAN

NIM: 1952050011



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
2023**

**PEMODELAN DAN SIMULASI PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA BAYU SISTEM *ON-GRID* MENGGUNAKAN
MATLAB SIMULINK**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan akademik guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.)
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia

Oleh :

YOSEP CRISTIAN

NIM: 1952050011



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
2023**



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Yosep Cristian
NIM : 1952050011
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis tugas akhir yang ber judul
“PEMODELAN DAN SIMULASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU
SISTEM *ON-GRID* MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK” adalah:

1. Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan hasil kuliah, tinjauan lapangan, buku-buku dan jurnal acuan yang tertera di dalam referensi pada karya tugas akhir saya.
2. Bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di universitas lain, kecuali pada bagian-bagian sumber informasi yang dicantumkan dengan cara referensi yang semestinya.
3. Bukan merupakan karya terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera di dalam referensi pada tugas.

Kalau terbukti saya tidak memenuhi apa yang dinyatakan di atas, maka karya tugas akhir ini dianggap batal.

Jakarta, 3 Juli 2023



Yosep Cristian



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK

PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR

**PEMODELAN DAN SIMULASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU
SISTEM *ON-GRID* MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK**

Oleh :

Nama : Yosep Cristian
NIM : 1952050011
Program Studi : Teknik Elektro
Peminatan : Teknik Energi Listrik

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dan dipertahankan dalam Sidang Tugas Akhir guna mencapai gelar Sarjana Strata Satu pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia.

Jakarta, 3 Juli 2023

Menyetujui,

Pembimbing I

(Ir. Bambang Widodo, M.T.)
NIDN : 0330115901

Pembimbing II

(Eva Magdalena Silalahi, S.T., M.T.)
NIDN : 0328087408

Ketua Program Studi Teknik Elektro



(Ir. Bambang Widodo, M.T.)
NIDN : 0330115901

Dekan Fakultas Teknik



(Dikky Antonius, S.T., M.Sc.)
NIDN : 0301218801



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK

PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Pada 3 Juli 2023 telah diselenggarakan Sidang Tugas Akhir untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik guna memperoleh gelar Sarjana Strata Satu pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia, atas nama:

Nama : Yosep Cristian
NIM : 1952050011
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik

termasuk ujian Tugas Akhir yang berjudul “PEMODELAN DAN SIMULASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU SISTEM ON-GRID MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK” oleh tim penguji yang terdiri dari:

Nama Penguji	Jabatan	Tanda Tangan
1. Ir. Bambang Widodo, M.T.	Ketua	(.....)
2. Ir. Robinson Purba, M.T.	Anggota	(.....)
3. Eva Magdalena Silalahi, S.T., M.T.	Anggota	(.....)
4. Susilo, S.Kom, M.T.	Anggota	(.....)

Jakarta, 3 Juli 2023



Pernyataan dan Persetujuan Publikasi Tugas Akhir

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yosep Cristian
NIM : 1952050011
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro
Jenis Tugas Akhir : Skripsi
Judul : PEMODELAN DAN SIMULASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU SISTEM ON-GRID MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir tersebut adalah benar karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar akademik di perguruan tinggi manapun;
2. Tugas akhir tersebut bukan merupakan plagiat dari hasil karya pihak lain, dan apabila saya/kami mengutip dari karya orang lain maka akan dicantumkan sebagai referensi sesuai dengan ketentuan yang berlaku;
3. Saya memberikan Hak Noneksklusif Tanpa Royalti kepada Universitas Kristen Indonesia yang berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilih hak cipta.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran Hak Cipta dan Kekayaan Intelektual atau Peraturan Perundangan-undangan Republik Indonesia lainnya dan integritas akademik dalam karya saya tersebut, maka saya bersedia menanggung secara pribadi segala bentuk tuntutan hukum dan sanksi akademis yang timbul serta membebaskan Universitas Kristen Indonesia dari segala tuntutan hukum yang berlaku.

Dibuat di Jakarta
Pada Tanggal 23 Juni 2023



Yosep Cristian

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, kasih dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pemodelan dan Simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sistem On-Grid Menggunakan Matlab Simulink”**. Penelitian ini dibuat dan disusun sebagai tugas akhir penulis, serta sebagai syarat yang harus dipenuhi guna menempuh Sidang Ujian Sarjana serta untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia.

Penulis sangat menyadari bahwa dalam pengerjaan skripsi ini tidak akan terwujud tanpa adanya doa dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan semangat, tidak henti-hentinya memberikan doa, dan senantiasa memberikan dukungan moral sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Bapak Ir. Bambang Widodo, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia.
3. Bapak Ir. Bambang Widodo, M.T. selaku dosen pembimbing I yang memberikan masukan, saran, dan waktu kepada penulis dari awal hingga akhir penulisan skripsi ini.
4. Ibu Eva Magdalena Silalahi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang juga selalu memberikan arahan dan masukan dari awal sampai pada akhir penulisan skripsi ini sehingga dapat selesai.
5. Mas Dwi Sunarto selaku Teknisi Laboratorium Teknik Elektro yang telah membantu penulis dalam penelitian dan penulisan.
6. Abang-abang dan kakak-kakak yang telah memberikan ilmu tambahan dalam penulisan skripsi ini, khususnya bang Anton Teknik Elektro angkatan 2016 yang juga telah memberikan pengetahuan tentang pemodelan dan simulasi Matlab.
7. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2019 yang saling memberikan dukungan dan semangat, khususnya Jekson Supardi Malau, Frederik Beni S,

Jeremia C.W.N, dan David Melanius Nai yang telah membantu dan menemani penulis dalam melakukan penelitian dan penulisan Tugas Akhir di Lab Elektro lantai 2.

Demikian skripsi ini dibuat, penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis berharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat dan dapat memberikan sumbangan yang berarti bagi pihak yang membutuhkan.

Jakarta, 3 Juli 2023

Yosep Cristian



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR	iii
PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR.....	iv
PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1. Tenaga Angin	7
2.2. Potensi Angin di Indonesia.....	8
2.3. Definisi Pembangkit Listrik Tenaga Angin.....	9
2.3.1. PLTB <i>On-Grid</i>	10
2.3.2. PLTB <i>Off-Grid</i>	11
2.4. Klasifikasi Turbin Angin.....	12
2.4.1. Berdasarkan Tipe Poros	13

2.4.2. Berdasarkan Mekanisme Kontrol Pitch.....	14
2.5. Komponen Mekanikal PLTB	15
2.5.1. Rotor <i>Blades</i>	15
2.5.2. Sudut Bilah (Pitch Angle)	16
2.5.3. Unit Transmisi Mekanik (<i>Gearbox</i>)	16
2.5.4. Poros Utama	16
2.5.5. Rem (<i>Brake</i>)	16
2.5.6. Nasel (<i>Nacelle</i>)	17
2.5.7. Menara.....	17
2.6. Komponen Elektrikal PLTB.....	17
2.6.1. Generator	17
2.6.2. Rectifier dan Inverter.....	18
2.6.3. Penyimpanan Energi	18
2.7. Sistem Konversi Energi Angin.....	19
2.7.1. Kategori Kecepatan Angin.....	20
2.7.2. Daya Mekanik dari Turbin Angin	21
2.7.3. Karakteristik Daya Rotor Turbin.....	24
2.7.4. Generator Sinkron	28
2.7.5. Parameter Daya Listrik.....	30
2.7.6. Efisiensi Sistem PLTB	33
2.8. Definisi Pemodelan dan Simulasi.....	33
2.9. <i>Matrix Laboratory</i> (MATLAB)	34
BAB III METODE PENELITIAN	37
3.1. Tempat, Waktu, dan Subjek Penelitian	37
3.2. Metode Penelitian.....	37
3.3. Diagram Alir Penelitian.....	38
3.4. Variabel Penelitian	39
3.5. Teknik Pengumpulan Data	40
3.6. Pemodelan Sistem PLTB <i>On-Grid</i>	41
3.6.1. Model Turbin Angin.....	41
3.6.2. Model Generator Sinkron Magnet Permanen.....	43

3.7. Analisis Data	44
3.8. Prosedur Analisis Data	44
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1. Deskripsi Hasil Penelitian	46
4.2. Data Kecepatan Angin.....	46
4.3. Hasil Simulasi Daya Mekanik Turbin Angin	47
4.3.1. Karakteristik Koefisien Daya terhadap <i>Tip Speed Ratio</i>	49
4.3.2. Karakteristik Torsi Mekanik dan Kecepatan Poros terhadap Daya Mekanik	50
4.4. Hasil Simulasi <i>Output</i> Tegangan, Arus, dan Daya pada Generator ..	51
4.5. Faktor Daya	52
4.6. Efisiensi Sistem PLTB <i>On-Grid</i>	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1. Kesimpulan.....	55
5.2. Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Klasifikasi Kecepatan Angin Skala Beaufort.....	20
Tabel 2.2. Nilai Koefisien Daya Berdasarkan Kecepatan Angin dan Densitas Udara	25
Tabel 3.1. Parameter Turbin Angin.....	42
Tabel 3.2. Parameter Generator	44
Tabel 4.1. Profil Kecepatan Angin pada Bulan Mei 2023	47
Tabel 4.2. Hasil Daya Mekanik Turbin Angin berdasarkan Kecepatan Angin	48
Tabel 4.3. Hasil Koefisien Daya dan Rasio Kecepatan Sudu berdasarkan Kecepatan Angin	49
Tabel 4.4. Hasil Torsi Mekanik dan Kecepatan Poros berdasarkan Daya Mekanik Turbin Angin	51
Tabel 4.5. Hasil Output Daya Generator.....	52
Tabel 4.6. Hasil Faktor Daya terhadap Daya Aktif dan Daya Semu	53
Tabel 4.7. Hasil Efisiensi PLTB <i>On-Grid</i>	54

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Peta Potensi Energi Angin di Indonesia Tahun 2020.....	8
Gambar 2.2. Skema Prinsip Kerja PLTB <i>On-Grid</i>	10
Gambar 2.3. Topologi Sistem PLTB <i>On-Grid</i>	11
Gambar 2.4. Topologi Sistem PLTB <i>Off-Grid</i>	12
Gambar 2.5. Turbin Angin Sumbu Horizontal.....	13
Gambar 2.6. Tipe Turbin Angin Sumbu Vertikal	14
Gambar 2.7. Karakteristik Perbandingan Koefisien Daya terhadap TSR.....	24
Gambar 2.8. Karakteristik Daya Mekanik Turbin terhadap Kecepatan Rotor	26
Gambar 2.9. Karakteristik Torsi Mekanik terhadap Kecepatan Rotor.....	27
Gambar 2.10. Konfigurasi Dasar PMSG Eksterior.....	28
Gambar 2.11. Kondisi Beban Seimbang dalam Hubungan Bintang dan Segitiga.....	30
Gambar 2.12. Tampilan Awal Matlab R2018a	35
Gambar 2.13. Tampilan Awal Simulink	35
Gambar 2.14. Tampilan Awal Blank Model pada Simulink.....	36
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 3.2. Tampilan Awal Power Data Access Viewer	40
Gambar 3.3. Penentuan Lokasi Penelitian Kecepatan Angin pada Pulau Tidung.....	40
Gambar 3.4. Model Matematis Koefisien Daya (Tip Speed Ratio dan Sudut Pitch).....	41
Gambar 3.5. Model Matematis Turbin Angin.....	41
Gambar 3.6. Model VAWT Savonius.....	42
Gambar 3.7. Model Generator Sinkron Magnet Permanen.....	43
Gambar 3.8. Model Keseluruhan PLTB <i>On-Grid</i>	44
Gambar 4.1. Profil Kecepatan Angin pada Bulan Mei 2023	46
Gambar 4.2. Output Daya Mekanik Turbin Angin berdasarkan Kecepatan Angin.....	48

Gambar 4.3. Karakteristik Koefisien Daya dan <i>Tip Speed Ratio</i>	49
Gambar 4.4. Karakteristik Torsi Mekanik dan Kecepatan Poros berdasarkan Daya Mekanik Turbin Angin.....	50



DAFTAR SINGKATAN

AC	=	<i>Alternating Current</i>
BMKG	=	Badan Metereologi Klimatologi dan Geofisika
DC	=	<i>Direct Current</i>
DFIG	=	<i>Doubly Fed Induction Generator</i>
ESDM	=	Energi Sumber Daya dan Mineral
HAWT	=	<i>Horizontal Axis Wind Turbine</i>
KBBI	=	Kamus Besar Bahasa Indonesia
MATLAB	=	<i>Matrix Laboratory</i>
NASA	=	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PLTB	=	Pembangkit Listrik Tenaga Bayu
PLN	=	Perusahaan Listrik Negara
PMSG	=	<i>Permanent Magnet Synchronous Generator</i>
SKEA	=	Sistem Konversi Energi Angin
TSR	=	<i>Tip Speed Ratio</i>
VAWT	=	<i>Vertical Axis Wind Turbine</i>

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Tegangan Generator dengan Kecepatan Angin Minimal	59
Lampiran 2. Tegangan Generator dengan Kecepatan Angin Nominal	59
Lampiran 3. Arus Generator dengan Kecepatan Angin Minimal	60
Lampiran 4. Arus Generator dengan Kecepatan Angin Nominal	60
Lampiran 5. Tabel Data Keseluruhan Hasil Simulasi Matlab Simulink	61
Lampiran 6. Kegiatan Bimbingan Tugas Akhir	62



ABSTRAK

Dalam penelitian ini, penulis menganalisis variabel penelitian berupa hasil daya mekanik turbin angin berdasarkan kecepatan angin bervariasi, serta hasil arus, tegangan dan daya generator sinkron magnet permanen berdasarkan kecepatan angin bervariasi. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil keluaran daya mekanik pada turbin angin, hasil daya dari generator, dan efisiensi dari sistem PLTB *On-Grid*. Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode studi literatur dan metode asosiatif. Dimana metode studi literatur untuk mengumpulkan kajian pustaka tentang pembangkit listrik tenaga bayu, metode asosiatif untuk mengetahui hubungan dari beberapa variabel yang diteliti. Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada simulasi, hasil *output* daya mekanik turbin angin pada kecepatan angin minimal (*cut-in*) 3.38 m/detik sebesar 27.68 W dan pada kecepatan angin maksimal (*rated*) mencapai 103.6 W, dan tegangan, arus dan daya yang dihasilkan generator saat kecepatan minimal yaitu 75.29 V, 2.81 A, dan 9.89 W, sedangkan pada saat kecepatan angin maksimal mencapai 75.37 V, 2.7 A, dan 77.54 W. Efisiensi maksimum yang dihasilkan PLTB *On-Grid* sebesar 75% pada kecepatan angin maksimal 7.63 m/detik.

Kata kunci : Daya Listrik, Generator Sinkron Magnet Permanen, Matlab Simulink, *On-Grid*, Turbin Angin

ABSTRACT

In this study, the authors analyzed the variables of research in the form of wind turbine mechanical power results based on wind speed varies, as well as the results of current, voltage and power of permanent magnet synchronous generators based on wind speed varies. This study aims to determine the results of mechanical power output in wind turbines, the power output of generators, and the efficiency of On-Grid Power Plant Systems. The method used in this study uses literature study method and associative method. Where the method of literature study to collect literature on wind power plants, associative method to determine the relationship of several variables studied. Based on the research conducted on the simulation, the results of mechanical power output of wind turbines at minimum wind speed (cut-in) 3.38 m/sec is 27.68 W and at maximum wind speed (rated) reaches 103.6 W, and the voltage, current and power generated by the generator at minimum speed is 75.29 V, 2.81 A, and 9.89 W, while at maximum wind speed reaches 75.37 V, 2.7 A, and 77.54 W. The maximum efficiency generated by On-Grid PLTB is 75% at a maximum wind speed of 7.63 m/sec.

Keywords : *Electric Power, Permanent Magnet Synchronous Generator, Matlab Simulink, On-Grid, Wind Turbine*