

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PROTOTIPE TURBINE ANGIN
VERTIKAL BERBENTUK BUNGA TULIP UNTUK PENGGERAK
GENERATOR**



SKRIPSI

**Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan Strata I Pada
Program Studi Teknik Mesin**

Oleh :

**Firdaus
2002220503**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TRIDINANTI**

2026

UNIVERSITAS TRIDINANTI
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN



SKRIPSI

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PROTOTIPE TURBINE ANGIN
VERTIKAL BERBENTUK BUNGA TULIP UNTUK PENGGERAK
GENERATOR

Disusun Oleh:

FIRDAUS

2002220503

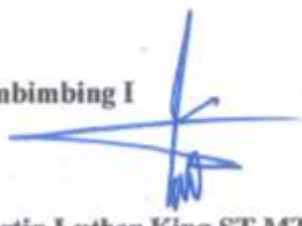
Mengetahui, Diperiksa dan Disetujui,

Oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Pembimbing I


Heriyanto Rusmaryadi, ST.PG.Dip MT.


Martin Luther King, ST.MT.

Pembimbing II


Hj. Rita Maria Veranika, ST. MT.

Disahkan Oleh:



Dekan Universitas Tridianti


Dr. Ani Firda, ST. MT.

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : FIRDAUS
NIP : 2002220503
Fakultas : TEKNIK
Program Studi : TEKNIK MESIN

Dengan ini menyatakan bahwa Artikel dengan judul :

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PROTOTYPE TURBIN ANGIN VERTIKAL
BERBENTUK BUNGA TULIP UNTUK PENGGERAK GENERATOR

benar bebas dari plagiat dan publikasi ganda. Bila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi yang berlaku dari pihak prodi dan insitusi Universitas Tridinanti Palembang.

Demikian surat pernyataan ini saya buat penuh keasadaran, dan tanpa paksaan dari pihak mana pun. Sehingga dapat dipergunakan sebagai mana mestinya.

Palembang, Juli 2026
Mahasiswa



FIRDAUS

Lampiran :

Print Out Hasil Plagiat

SURAT PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai Civitas Akademika Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tridinanti Palembang, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : FIRDAUS
NIM : 2002220503
Fakultas : TEKNIK
Program Studi : TEKNIK MESIN
Jenis Karya : TUGAS AKHIR/ SKRIPSI

Demi Pengembangan Ilmu pengetahuan untuk memberikan kepada pihak Universitas Tridinanti Palembang hak bebas Royalti Non eksklusif (*non exclusive royalty free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan), dengan hak royalti eksklusif ini universitas tridinanti palembang berhak menyimpan, mengalih mediasi, mengelola dalam bentuk data base dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan saya buat dengan sebenarnya dan tanpa ada tekanan dari pihak mana pun.

Dibuat di Palembang, Juli 2026
Yang menyatakan,



FIRDAUS

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama : FIRDAUS
NIP : 2002220503
Fakultas : TEKNIK
Program Studi : TEKNIK MESIN

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi berjudul

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PROTOTIPE TURBIN ANGIN VERTIKAL
BERBENTUK BUNGA TULIP UNTUK PENGGERAK GENERATOR

adalah benar merupakan karya sendiri. Hal-hal yang bukan karya saya, dalam skripsi tersebut
diberi tanda citasi dan ditunjukkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar dan ditemukan pelanggaran
atas karya skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan skripsi
dan gelar yang saya peroleh dari skripsi tersebut.

Palembang, Juli 2026
Yang membuat pernyataan



FIRDAUS
NIM. 2002220503

MOTTO

Tidak ada manusia yang diciptakan gagal, yang ada hanyalah mereka gagal memahami potensi diri dan gagal merancang kesuksesannya. Tiada yang lebih berat timbangan Allah pada hari akhir nanti, selain Taqwa dan Akhlaq mulia seperti wajah dipenuhi senyum untuk Kebaikan dan tidak menyakiti sesama. (HR. Tirmidzi)

Hanya Karena Prosesmu Lebih Lama Daripada Yang Lain, Bukan Berarti Kamu Gagal
(Harlan David)

Oleh Karena Itu

“ Sesungguhnya Bersama Kesulitan ada Kemudahan.”
(Q.S. Al Insyirah :6)

Persembahan

Dengan rasa hormat SKRIPSI ini

Kupersembahkan Kepada :

- 1.(Alm) Ayahanda tercinta Awal Firmansyah Bin M.zen**
- 2.Ibunda tercinta Yuliana**
- 3. Seluruh keluarga yang ku sayangi**

ABSTRAK

Pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi terbarukan menjadi salah satu alternatif untuk mengatasi meningkatnya kebutuhan energi sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Namun, kondisi kecepatan angin di Indonesia yang relatif rendah menjadi tantangan dalam pengembangan turbin angin konvensional. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah penggunaan turbin angin sumbu vertikal (Vertical Axis Wind Turbine/VAWT) berbentuk bunga tulip yang menggabungkan karakteristik turbin Savonius dan Darrieus sehingga mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat prototipe turbin angin vertikal berbentuk bunga tulip serta menganalisis pengaruh variasi jumlah bilah terhadap kinerja turbin sebagai penggerak generator. Variasi jumlah bilah yang digunakan terdiri atas 2, 3, dan 4 bilah.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen komparatif. Proses penelitian meliputi studi literatur, perancangan dan pembuatan prototipe, perakitan sistem konversi energi yang terdiri atas generator DC, rectifier, solar charge controller (SCC), dan baterai, kemudian dilanjutkan dengan pengujian pada kecepatan angin 2–10 m/s. Parameter yang dianalisis meliputi torsi, putaran (RPM), daya mekanis, koefisien daya (C_p), tegangan, arus, dan daya keluaran generator. Data hasil pengujian selanjutnya dibandingkan untuk menentukan konfigurasi jumlah bilah yang memberikan performa terbaik.

Penelitian ini diharapkan menghasilkan prototipe turbin angin berbentuk bunga tulip yang mampu bekerja secara optimal pada kondisi kecepatan angin rendah serta memperoleh konfigurasi jumlah bilah yang memberikan kinerja paling efisien. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan teknologi turbin angin skala kecil sebagai sumber energi listrik alternatif yang ramah lingkungan dan sesuai dengan kondisi angin di Indonesia.

Kata kunci: energi angin, turbin angin sumbu vertikal, bunga tulip, variasi jumlah bilah, generator, energi terbarukan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa dipanjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Selama proses penyusunan Tugas Akhir yang berjudul **“PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PROTOTIPE TURBINE ANGIN VERTIKAL BERBENTUK BUNGA TULIP UNTUK PENGGERAK GENERATOR”**

Banyak tantangan dan rintangan yang dihadapi. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana strata satu di Universitas Tridinanti. Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum mencapai tingkat kesempurnaan, baik dalam hal materi, penyajian, maupun penggunaan bahasanya. Dengan demikian, penulis sangat mengharapkan adanya masukan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi tugas akhir ini. Di akhir kata, penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bantuan, bimbingan, serta dukungan dalam penyusunan skripsi ini kepada:

1. Bapak Prof.Dr.Ir.H. Edizal AE, MS., selaku Rektor Universitas Tridinanti.
2. Ibu Dr. Ani Firda S.T, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tridinanti.
3. Bapak Heriyanto Rusmaryadi, S., M T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Tridinanti.
4. Bapak Martin Luther King, ST. MT, selaku sekretaris program studi Teknik Mesin.
5. Bapak Martin Luther King, ST. MT., Yang telah membimbing dalam penyusunan tugas akhir Sebagai Pembimbing I
6. Ibu Hj. Rita Maria Veranika, ST. MT., Yang telah membimbing dalam penyusunan tugas akhir Sebagai Pembimbing II
7. Seluruh staf laboratorium dan staf Dosen di lingkungan Program Studi Teknik Mesin UTP.

8. Kedua orang tua tercinta dan keluarga besar yang selalu memberikan doa restu serta dukungan moral dan material yang tidak terhingga.
9. Bapak Abdul Rasyid,Sp.d,.Mp.d Selaku kepala Sekolah SMK PGRI TANJUNG RAJA yang selalu mensupport kegiatan saya.

Dengan penuh kerendahan hati, kami mengakhiri dengan harapan bahwa proposal ini akan bermanfaat dan dapat memperkaya pemahaman bagi pembaca dan semua pihak yang memiliki kepentingan.

Palembang, Juli 2026

Firdaus

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN PERSETUJUAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI.....	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xix
ABSTRAK	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan masalah	3
1.2.1. Rumusan Masalah Berdasarkan Aspek Pengetahuan	3
1.2.2. Rumusan Masalah Berdasarkan Aspek Keterampilan Umum.....	4
1.2.3. Rumusan Masalah Berdasarkan Aspek Keterampilan Khusus	4
1.2.4. Rumusan Masalah Berdasarkan Aspek Sikap	5

1.3.State Of The Art	5
1.3.1. Penelitian Variasi Jumlah Blade pada Turbin Savonius	5
1.3.2. Penelitian Variasi Jumlah Blade Pada Turbin Darrieus H-Rotor.....	6
1.3.3. Penelitian Variasi Jumlah Blade pada Turbin Cross-Flow	7
1.3.4. Penelitian Turbin Berbentuk Bunga Tulip.....	7
1.3.5. Ringkasan dan Research Gap	8
1.4.Batasan Masalah.....	9
1.5.Tujuan Penelitian.....	10
1.6.Manfaat Penelitian	10
1.6.1. Manfaat Akademis.....	11
1.6.2. Manfaat Praktis / Industri	11
1.6.3. Manfaat bagi Masyarakat	11
1.7.Sistematika Penulisan	12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	15
2.1. Turbin Angin	15
2.2. Jenis-Jenis Turbin Angin	16
2.2.1. Turbin Angin Sumbu Horizontal (HAWT)	16
2.2.2. Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT)	17
2.3. Turbin Savonius (Tipe Drag).....	18

2.3.1. Prinsip Kerja Turbin Savonius	18
2.3.2. Gaya Drag (<i>Drag Force</i>).....	20
2.3.3. Keunggulan dan Kelemahan Turbin Savonius.....	21
2.4. Turbin Darrieus (Tipe Lift).....	21
2.4.1. Prinsip Kerja Turbin Darrieus	22
2.4.2. Keunggulan dan Kelemahan Turbin Darrieus.....	23
2.5. Turbin Angin Vertikal Berbentuk Bunga Tulip	23
2.5.1. Karakteristik Turbin Bunga Tulip	23
2.5.2. Prinsip Aerodinamika Turbin Bunga Tulip	24
2.6. Komponen Sistem Konversi Energi Listrik	24
2.6.1. Generator DC	25
2.6.2. Rectifier (Penyearah)	25
2.6.3. Solar Charge Controller (SCC)	26
2.6.4. Baterai (Aki).....	26
2.7. Parameter Kinerja Turbin Angin	27
2.7.1. Daya Angin (<i>Wind Power</i>)	27
2.7.2. Torsi (<i>Torque</i>).....	28
2.7.3. Putaran (RPM)	29

2.7.4. Tip Speed Ratio (TSR)	29
2.7.5. Daya Mekanis Turbin (<i>Mechanical Power</i>)	30
2.7.6. Koefisien Daya (<i>Coefficient of Power / Cp</i>)	31
2.7.7. Hubungan Parameter Kinerja Dengan Variasi Jumlah Blade	31
2.8. Penelitian Terdahulu	32
2.8.1. Penelitian Variasi Jumlah Blade pada Turbin Savonius	32
2.8.2. Penelitian Variasi Jumlah Blade pada Turbin Darrieus H-Rotor	33
2.8.3. Penelitian Turbin Bunga Tulip	34
2.8.4. Ringkasan dan Research Gap	34
BAB III METODE PENELITIAN	36
3.1. Diagram Alir Penelitian	36
3.2. Metode Penelitian	39
3.3. Tempat dan Waktu Penelitian	39
3.4. Alat dan Bahan	40
3.4.1. Alat	40

3.4.2. Bahan	41
3.5. Prosedur Perancangan dan Pembuatan.....	42
3.5.1. Tahap Perancangan.....	42
3.5.2. Tahap Pembuatan dan Perakitan	45
3.6. Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data	46
3.6.1. Persiapan Pengujian	47
3.6.2. Langkah Pengujian untuk Setiap Variasi.....	47
3.6.3. Alur Pengujian.....	49
3.7. Variabel Penelitian.....	49
3.7.1. Variabel Bebas (<i>Independent Variable</i>).....	49
3.7.2. Variabel Terikat (<i>Dependent Variable</i>).....	50
3.7.3. Variabel Kontrol	50
3.8. Teknik Pengumpulan Dan Pengolahan Data	51
3.8.1. Teknik Pengumpulan Data	51
3.8.2. Tabel Data Hasil Pengujian yang Akan Diolah	51
3.8.3. Teknik Pengolahan Data.....	56
3.8.4. Tabel Hasil Pengolahan Data	59
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	66

4.1. Pendahuluan	66
4.2. Data Hasil Pengujian.....	67
4.2.1. Data Mentah Hasil Pengukuran	67
4.2.2. Data Pengujian Sistem Kelistrikan.....	69
4.3. Pengolahan Data (Data Excel)	70
4.3.1. Perhitungan Parameter Kinerja	70
4.3.2. Data Excel Hasil Pengolahan untuk Variasi 2 Blade	72
4.3.3. Data Excel Hasil Pengolahan untuk Variasi 3 Blade	73
4.3.4. Data Excel Rekapitulasi Parameter Kinerja.....	74
4.3.5. Data Excel Sistem Kelistrikan	74
4.4. Analisis dan Pembahasan Berdasarkan Grafik.....	75
4.4.1. Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Blade terhadap Putaran (RPM)	75
4.4.2. Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Blade terhadap Torsi.....	76
4.4.3. Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Blade terhadap Tip Speed Ratio (TSR).....	78
4.4.4. Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Blade terhadap	

Koefisien Daya (C_p)	81
4.4.5. Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Blade terhadap Daya Listrik.....	84
4.4.6. Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Blade terhadap Sistem Kelistrikan	86
4.4.7. Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Blade terhadap Pengisian Baterai.....	89
4.5. Rekapitulasi dan Perbandingan Parameter Kinerja.....	91
4.5.1. Rekapitulasi Parameter Kinerja Optimal	91
4.5.2. Grafik Rekapitulasi Perbandingan Kinerja	92
4.6. Ringkasan Hasil Penelitian	94
4.7. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu	95
4.8. Temuan Tambahan.....	96
4.8.1. Karakteristik Self-Starting	96
4.8.2. Stabilitas Putaran.....	97
4.8.3. Pengaruh Turbulensi Angin.....	97
4.9. Keterbatasan Penelitian	97
4.10. Implikasi Penelitian.....	98

4.10.1. Implikasi Teoritis	98
4.10.2. Implikasi Praktis.....	98
4.11. Saran untuk Penelitian Selanjutnya	98
BAB V PENUTUP	100
5.1. Kesimpulan	100
5.1.1. Kesimpulan Berdasarkan Rumusan Masalah	
Aspek Pengetahuan	100
5.1.2. Kesimpulan Berdasarkan Rumusan Masalah	
Aspek Keterampilan Umum.....	101
5.1.3. Kesimpulan Berdasarkan Rumusan Masalah	
Aspek Keterampilan Khusus.....	101
5.1.4. Kesimpulan Berdasarkan Rumusan Masalah	
Aspek Sikap	102
5.1.5. Ringkasan Kesimpulan Utama	103
5.2. Saran.....	103
5.2.1. Saran untuk Penelitian Selanjutnya.....	104
5.2.2. Saran untuk Aplikasi Praktis	106
5.2.3. Saran untuk Penulisan dan Publikasi Ilmiah	107

DAFTAR PUSTAKA.....	108
----------------------------	------------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Blok Diagram Sistem Konversi Energi Turbin Angin	16
Gambar 2.1. Blok Diagram Sistem Konversi Energi Turbin Angin	18
Gambar 2.3. Prinsip Kerja Turbin Savonius Tipe Drag	19
Gambar 2.4. Gaya Drag (Drag Force).....	21
Gambar 2.5. Prinsip Kerja Turbin.....	22
Gambar 3.1. Desain Blade Turbin Berbentuk Bunga Tulip	43
Gambar 3.2. Skematik Perancangan Sistem Kelistrikan.....	44

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di era modern saat ini, energi terbarukan menjadi solusi strategis dalam mengatasi krisis energi global. Berbeda dengan energi fosil yang semakin menipis dan berdampak buruk terhadap lingkungan, energi terbarukan bersumber dari elemen alam yang tersedia melimpah, seperti air, angin, matahari, dan panas bumi. Salah satu sumber energi terbarukan yang mengalami perkembangan pesat adalah energi angin. Turbin angin, sebagai perangkat konversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik atau listrik, telah digunakan sejak lama dan terus mengalami inovasi seiring kemajuan teknologi.

Krisis energi dan meningkatnya permintaan akan sumber energi yang bersih mendorong penelitian dan pengembangan di bidang energi angin. Dengan potensi besar yang dimiliki, banyak negara berinvestasi dalam pembangunan infrastruktur turbin angin, baik di darat maupun di laut. Namun, pemanfaatan energi angin di Indonesia saat ini masih tergolong sangat rendah. Salah satu penyebab utamanya adalah kecepatan angin rata-rata nasional yang termasuk dalam kategori rendah, yakni berkisar antara 3 m/s hingga 5 m/s. Meskipun demikian, beberapa wilayah di Indonesia memiliki kecepatan angin yang cukup tinggi dan memungkinkan pengembangan energi angin, baik dalam skala kecil maupun besar, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB).

Salah satu teknologi yang menjanjikan untuk kondisi angin rendah adalah Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT). Dibandingkan dengan turbin sumbu horizontal (HAWT), VAWT memiliki keunggulan tidak memerlukan mekanisme pembelok (*yaw*), sehingga dapat menerima angin dari berbagai arah—sangat cocok untuk wilayah tropis dengan arah angin yang tidak menentu. Di antara berbagai jenis VAWT, turbin tipe Savonius dikenal memiliki torsi awal (*starting torque*) yang tinggi, namun memiliki efisiensi yang relatif rendah. Sementara itu, turbin Darrieus memiliki efisiensi lebih tinggi namun sulit berputar pada kecepatan angin rendah.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, muncul inovasi desain turbin vertikal yang terinspirasi dari bentuk bunga tulip. Desain ini merupakan pengembangan gabungan dari prinsip Savonius (berbasis gaya hambat/drag) dan Darrieus (berbasis gaya angkat/lift), dengan bilah melengkung menyerupai kelopak bunga. Keunggulan utamanya adalah kemampuan berputar pada kecepatan angin rendah (*self-starting* pada 2,5–3,5 m/s) serta nilai estetika yang memungkinkan integrasi di lingkungan perkotaan. Sayangnya, penelitian tentang turbin bunga tulip di Indonesia masih sangat terbatas dan mayoritas masih berupa simulasi numerik (CFD). Secara khusus, belum ada penelitian eksperimental yang menguji pengaruh variasi jumlah bilah (*blade*) terhadap kinerja turbin berbentuk bunga tulip, padahal pada tipe VAWT lain (Savonius, Darrieus, Cross-flow) variasi jumlah blade telah terbukti signifikan memengaruhi efisiensi dan daya keluaran. Berdasarkan uraian tersebut, penulis memutuskan untuk mengangkat judul tugas akhir:

"Perancangan Dan Pembuatan Prototipe Turbine Angin Vertikal Berbentuk Bunga Tulip Untuk Penggerak Generator"

Penelitian ini akan berfokus pada pembuatan prototipe fisik dengan variasi jumlah blade (2, 3, dan 4) serta menguji kinerjanya secara eksperimental guna menemukan konfigurasi paling optimal untuk kondisi kecepatan angin rendah di Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini selaras dengan tuntutan **KKNI Level 6** yang mengharuskan lulusan sarjana mampu mengaplikasikan bidang keahliannya, memanfaatkan IPTEKS dalam penyelesaian masalah, menguasai konsep teoritis secara mendalam, serta mampu mengambil keputusan berdasarkan analisis data.

1.2. Rumusan Masalah (Berbasis KKNI Level 6)

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan serta mengacu pada Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia (KKNI) Level 6 untuk jenjang Sarjana (S1), rumusan masalah dalam penelitian ini disusun untuk mengukur pencapaian kompetensi lulusan pada empat aspek utama: Pengetahuan, Keterampilan Umum, Keterampilan Khusus, dan Sikap.

1.2.1. Rumusan Masalah Berdasarkan Aspek Pengetahuan

(Mengukur kemampuan menguasai konsep teoritis bidang pengetahuan secara umum dan mendalam, serta memformulasikan penyelesaian masalah prosedural)

1. Bagaimana konsep teoritis dan prinsip kerja turbin angin vertikal tipe drag (Savonius) dan tipe lift (Darrieus) dapat diintegrasikan ke dalam desain

geometri berbentuk bunga tulip untuk menghasilkan torsi awal yang tinggi pada kecepatan angin rendah?

2. Bagaimana pengaruh variasi jumlah bilah (*blade*) sebanyak 2, 3, dan 4 terhadap karakteristik aerodinamis dan kinerja turbin bunga tulip berdasarkan parameter torsi, putaran (RPM), dan koefisien daya (C_p)?

1.2.2. Rumusan Masalah Berdasarkan Aspek Keterampilan Umum

(Mengukur kemampuan mengaplikasikan bidang keahlian, memanfaatkan IPTEKS, serta beradaptasi terhadap situasi yang dihadapi dalam penyelesaian masalah)

3. Bagaimana merancang dan membuat prototipe turbin angin vertikal berbentuk bunga tulip skala kecil dengan tiga variasi jumlah bilah (2, 3, dan 4) menggunakan material dan teknologi yang tersedia di bengkel, serta bagaimana mengintegrasikannya dengan sistem konversi energi listrik (generator, rectifier, SCC, dan baterai) yang mampu beradaptasi dengan karakteristik angin di Indonesia?

1.2.3. Rumusan Masalah Berdasarkan Aspek Keterampilan Khusus

(Mengukur kemampuan mengambil keputusan tepat berdasarkan analisis informasi dan data, serta memberikan petunjuk dalam memilih berbagai alternatif solusi secara mandiri)

4. Berdasarkan data eksperimental torsi, RPM, dan koefisien daya (C_p) dari ketiga variasi jumlah bilah, konfigurasi manakah (2, 3, atau 4 blade) yang menghasilkan kinerja optimal dan dapat direkomendasikan sebagai solusi

pembangkit listrik mikro untuk kondisi kecepatan angin rendah di Indonesia?

5. Bagaimana sistem konversi energi terintegrasi (generator → rectifier → SCC → baterai) pada turbin bunga tulip dengan jumlah bilah optimal mampu menghasilkan tegangan dan arus yang cukup untuk mengisi baterai sebagai sumber energi listrik terbarukan?

1.2.4. Rumusan Masalah Berdasarkan Aspek Sikap

(Mengukur kemampuan bertanggung jawab pada pekerjaan sendiri dan memiliki kepedulian terhadap masyarakat dan lingkungan)

6. Bagaimana prototipe turbin bunga tulip yang dirancang dapat menjadi alternatif solusi pembangkit listrik mikro yang ramah lingkungan, estetis, dan berkontribusi pada peningkatan akses energi bersih bagi masyarakat di daerah pedesaan atau perkotaan yang belum terjangkau jaringan listrik konvensional?

1.3. State of the Art

Penelitian tentang pengaruh variasi jumlah bilah (*blade*) terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal (VAWT) telah banyak dilakukan pada berbagai tipe, namun masih sangat terbatas pada turbin berbentuk bunga tulip. Berikut adalah pemetaan penelitian terkini yang menjadi landasan ilmiah penelitian ini.

1.3.1. Penelitian Variasi Jumlah Blade pada Turbin Savonius

Turbin Savonius merupakan tipe VAWT yang paling banyak diteliti terkait pengaruh jumlah *blade*. Penelitian eksperimental oleh Saksono (2024) pada turbin Savonius tipe-S dengan variasi 2, 3, dan 4 *blade* menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi sebesar 16,20% diperoleh pada konfigurasi 4 *blade* pada kecepatan angin 5,3 m/s. Penelitian di Institut Teknologi Padang menguji turbin Savonius tipe-U dengan variasi 2 dan 4 *blade*, dan pada kecepatan angin 4,6 m/s, turbin dengan 4 *blade* menghasilkan daya 0,487 watt, sedangkan turbin dengan 2 *blade* hanya menghasilkan 0,322 watt.

Penelitian oleh Indarayani dkk. di Politeknik Negeri Jakarta menunjukkan bahwa penambahan jumlah sudu dari 2 menjadi 4 meningkatkan efisiensi dari 29,6% menjadi 48,8% pada kecepatan angin 5 m/s. Studi di Universitas Gunadarma dengan variasi 2, 3, dan 4 sudu juga menunjukkan bahwa rotasi terbesar dihasilkan oleh konfigurasi 4 sudu dengan putaran 200,4 rpm pada kecepatan angin 4,5 m/s. Bahkan, penelitian lain menguji variasi yang lebih ekstrem, yaitu 4, 6, 8, 12, 16, dan 18 *blade* dengan variasi sudut *blade* -15° hingga 15° , yang semakin menguatkan bahwa jumlah *blade* merupakan faktor kunci dalam performa Savonius.

1.3.2. Penelitian Variasi Jumlah Blade pada Turbin Darrieus H-Rotor

Pada turbin Darrieus tipe H, variasi jumlah *blade* juga telah banyak diteliti. Penelitian dengan variasi jumlah sudu 2, 3, dan 4 pada turbin Darrieus-H dengan spesifikasi NACA 4415 menunjukkan bahwa daya listrik tertinggi diperoleh dari konfigurasi 2 *blade* pada sudut serang 10° dengan daya 10,5 watt. Penelitian lain

dengan variasi 3, 4, dan 5 *blade* pada turbin Darrieus H dengan airfoil NACA 4415 menghasilkan efisiensi maksimal berturut-turut 11,37%, 12,19%, dan 14,69%. Penelitian di Institut Teknologi Sumatera dengan variasi jumlah sudu 2, 3, 4, dan 5 pada turbin Darrieus sudu lurus menggunakan tiga jenis airfoil (GEMINI, NACA 0021, dan SELIG 1012) juga membuktikan bahwa variasi jumlah sudu berpengaruh signifikan terhadap performa turbin.

1.3.3. Penelitian Variasi Jumlah Blade pada Turbin Cross-Flow

Turbin Cross-Flow juga menjadi objek penelitian variasi jumlah *blade*. Penelitian eksperimental oleh Zikri dkk. (2024) dengan variasi 6, 10, dan 14 *blade* menunjukkan bahwa turbin dengan 14 *blade* menghasilkan daya generator tertinggi sebesar 3,01 watt pada kecepatan angin 7 m/s, dengan efisiensi tertinggi 11,41%. Penelitian serupa oleh Permadi dan Siregar (2018) dengan variasi 6, 8, dan 12 *blade* menunjukkan bahwa turbin dengan 12 *blade* menghasilkan daya dan efisiensi tertinggi dibandingkan variasi lainnya, dengan daya elektrik 3,87 watt dan efisiensi 3,76% pada kecepatan angin 5,52 m/s.

1.3.4. Penelitian Turbin Berbentuk Bunga Tulip

Penelitian tentang turbin angin vertikal berbentuk bunga tulip masih sangat terbatas dan mayoritas masih berupa simulasi numerik. Penelitian oleh Nugraha dkk. (2025) yang diterbitkan di jurnal internasional membandingkan turbin Rose, Aeroleaf, dan Tulip menggunakan pemodelan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada kecepatan angin 3 m/s, 6 m/s, dan 9 m/s, dan menunjukkan

bahwa turbin Tulip menghasilkan daya sebesar 1,76 watt. Penelitian lain melakukan simulasi turbin angin poros vertikal tipe tulip dengan 3 bilah menggunakan perangkat lunak Gambit dan Fluent. Penelitian eksperimental di Repository Universitas Fajar menguji prototipe turbin tulip dengan 2 bilah pada kecepatan angin 1–5 m/s, namun hanya mengukur daya generator tanpa melakukan variasi jumlah bilah.

1.3.5. Ringkasan dan Research Gap

Berdasarkan pemetaan di atas, dapat dirangkum dalam tabel berikut:

Tipe Turbin		Variasi Blade yang Diteliti	Metode	Status	
Savonius		2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 18	Eksperimental	Telah diteliti	banyak
Darrieus	H-rotor	2, 3, 4, 5	Eksperimental	Telah diteliti	banyak
Cross-Flow		6, 8, 10, 12, 14	Eksperimental	Telah diteliti	banyak
Bunga Tulip		Hanya 2 atau 3 (tanpa variasi)	CFD & Eksperimental terbatas	Masih terbatas	sangat

Tabel 1.1 Ringkasan dan Research Gap

Dari tabel tersebut, terlihat bahwa penelitian tentang variasi jumlah *blade* telah dilakukan secara ekstensif pada turbin Savonius, Darrieus, dan Cross-Flow dengan metode eksperimental yang valid. Namun, pada turbin berbentuk bunga tulip, penelitian yang ada masih terbatas pada simulasi CFD dengan jumlah blade tunggal (2 atau 3) tanpa adanya variasi jumlah blade, dan belum ada validasi

eksperimental yang membandingkan kinerja antar variasi tersebut. Hal ini menjadi *research gap* utama yang mendasari penelitian ini.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada ruang lingkup berikut:

1. Penelitian difokuskan pada perancangan, pembuatan, dan pengujian prototipe turbin angin vertikal berbentuk bunga tulip skala kecil dengan variasi jumlah bilah (*blade*) sebanyak 2, 3, dan 4 bilah.
2. Pengujian turbin dilakukan di lokasi terbuka dengan kecepatan angin terukur antara 2 m/s hingga 10 m/s.
3. Analisis kinerja difokuskan pada parameter mekanis (Torsi dan RPM) serta parameter konversi daya (Koefisien Daya/ C_p , daya keluaran generator).
4. Perbandingan kinerja dilakukan antar variasi jumlah blade (2, 3, dan 4) pada turbin bunga tulip yang dirancang, serta dibandingkan secara teoritis dengan data turbin Savonius standar dari literatur sebagai kontrol konseptual.
5. Penelitian tidak melakukan analisis detail kekuatan material (*stress analysis*) dan tidak menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) karena pendekatan yang digunakan adalah eksperimental murni.

6. Sistem kelistrikan terintegrasi menggunakan komponen standar (generator DC, rectifier, *Solar Charge Controller*, dan baterai) untuk mengukur potensi aplikasi nyata.

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian “Perancangan Dan Pembuatan Prototipe Turbine Angin Vertikal Berbentuk Bunga Tulip Untuk Penggerak Generator” adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat prototipe turbin angin vertikal berbentuk bunga tulip dengan variasi jumlah bilah (2, 3, dan 4) yang dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah (2–10 m/s).
2. Mengukur dan menganalisis pengaruh variasi jumlah bilah terhadap parameter kinerja mekanis, meliputi torsi, putaran (RPM), dan koefisien daya (C_p) pada masing-masing konfigurasi.
3. Menentukan jumlah bilah paling optimal (di antara 2, 3, dan 4) yang menghasilkan koefisien daya (C_p) dan efisiensi tertinggi pada turbin berbentuk bunga tulip.
4. Menguji sistem konversi energi terintegrasi (generator → rectifier → SCC → baterai) untuk mengetahui potensi pemanfaatan turbin bunga tulip sebagai pembangkit listrik mikro.
5. Menyediakan data eksperimental baru yang dapat melengkapi literatur tentang pengaruh modifikasi geometri dan jumlah bilah non-konvensional pada kinerja VAWT, khususnya desain biomimikri bunga tulip.

1.6. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1.6.1. Manfaat Akademis

Memberikan data eksperimental baru tentang pengaruh variasi jumlah bilah pada turbin angin vertikal berbentuk bunga tulip yang selama ini masih minim dalam literatur ilmiah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dan pijakan bagi peneliti selanjutnya dalam mengembangkan turbin angin biomimikri di Indonesia, serta memperkaya khasanah keilmuan di bidang energi terbarukan dan aerodinamika terapan.

1.6.2. Manfaat Praktis / Industri

Menghasilkan desain konsep turbin angin skala kecil yang tidak hanya berpotensi lebih efisien melalui optimasi jumlah bilah, tetapi juga memiliki nilai estetika tinggi. Hal ini membuka peluang integrasi turbin pada bangunan perkotaan, taman, atau area publik sebagai elemen arsitektur hijau sekaligus sumber energi alternatif.

1.6.3. Manfaat bagi Masyarakat

Memberikan alternatif solusi pembangkit listrik mikro yang ramah lingkungan, sederhana dalam konstruksi, dan berpotensi lebih efisien pada kecepatan angin rendah. Teknologi ini dapat diaplikasikan untuk penerangan jalan kecil, *charging station* perangkat elektronik, atau pemenuhan kebutuhan listrik dasar di daerah pedesaan yang belum terjangkau jaringan listrik konvensional, sehingga turut mendukung program elektrifikasi nasional dan transisi energi bersih di Indonesia.

1.7. Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran yang jelas dan terstruktur mengenai alur penelitian ini, penulisan tugas akhir disusun dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Bab ini merupakan pengantar yang menjelaskan secara komprehensif mengenai latar belakang masalah yang mendorong dilakukannya penelitian, rumusan masalah yang disusun berdasarkan empat aspek kompetensi KKNI Level 6 (Pengetahuan, Keterampilan Umum, Keterampilan Khusus, dan Sikap), *state of the art* yang memetakan posisi penelitian di antara penelitian-penelitian terdahulu, batasan masalah agar penelitian tetap fokus dan terarah, tujuan yang ingin dicapai, serta manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian, baik bagi dunia akademis, industri, maupun masyarakat. Bab ini menjadi dasar dan justifikasi ilmiah mengapa penelitian tentang variasi jumlah bilah pada turbin bunga tulip ini penting untuk dilakukan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini memuat landasan teori yang mendukung pelaksanaan penelitian, meliputi konsep dasar energi angin dan potensinya di Indonesia, klasifikasi dan prinsip kerja turbin angin (HAWT dan VAWT), karakteristik turbin Savonius dan Darrieus, serta tinjauan mendalam tentang turbin angin vertikal berbentuk bunga tulip sebagai objek penelitian. Selain itu, bab ini juga membahas komponen-komponen sistem konversi energi yang digunakan, seperti generator DC, rectifier (penyearah), *Solar Charge Controller* (SCC), dan baterai. Tinjauan pustaka juga

memuat hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan, khususnya yang berkaitan dengan variasi jumlah *blade* pada berbagai tipe VAWT, yang digunakan sebagai bahan perbandingan dan penguatan analisis.

Bab III Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan secara rinci metodologi yang digunakan dalam penelitian, meliputi diagram alir penelitian yang menggambarkan tahapan dari perancangan hingga pengujian, metode penelitian yang digunakan (eksperimental komparatif), serta spesifikasi alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan prototipe. Bab ini juga memuat prosedur perancangan dan pembuatan prototipe turbin bunga tulip dengan tiga variasi jumlah bilah (2, 3, dan 4), rancangan sistem kelistrikan terintegrasi, prosedur pengujian di lapangan, serta jadwal pelaksanaan penelitian. Seluruh prosedur dirancang untuk memastikan bahwa data yang diperoleh valid, objektif, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan seluruh data hasil pengujian eksperimental dari setiap variasi jumlah bilah (2, 3, dan 4) yang telah dilakukan. Data yang disajikan meliputi parameter kinerja mekanis (torsi dan putaran/RPM), parameter kelistrikan (tegangan, arus, dan daya keluaran generator), serta koefisien daya (C_p) yang dihitung berdasarkan perbandingan antara daya mekanis yang dihasilkan turbin dengan daya potensial angin yang tersedia. Bab ini juga membahas secara mendalam perbandingan kinerja antar ketiga variasi, menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan perbedaan performa (misalnya efek *blockage*, *tip speed ratio*,

dan interaksi aerodinamis antar bilah), serta menginterpretasikan temuan penelitian dalam konteks aplikasi turbin angin skala mikro di Indonesia.

Bab V Penutup

Bab ini merupakan bagian akhir dari penulisan tugas akhir yang berisi kesimpulan dari seluruh hasil penelitian yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Kesimpulan disusun secara tegas dan menjawab seluruh rumusan masalah yang telah ditetapkan pada Bab I. Selain itu, bab ini juga memuat saran-saran konstruktif untuk pengembangan penelitian selanjutnya, baik dari segi metodologi (misalnya penambahan variasi jumlah bilah lainnya, penggunaan material berbeda, atau penambahan pengukuran tekanan statis), maupun dari segi aplikasi praktis di lapangan, sehingga penelitian ini dapat terus dikembangkan dan memberikan manfaat yang lebih luas bagi pengembangan energi terbarukan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Boylestad, R. L., & Nashelsky, L. (2013). *Electronic Devices and Circuit Theory* (11th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc.
- Chapman, S. J. (2012). *Electric Machinery Fundamentals* (5th ed.). New York, NY: McGraw-Hill Higher Education.
- Fadilah, & Utama. (2024). Turbin angin vertikal berbentuk tulip sebagai elemen estetika arsitektur urban. *[Jurnal/local publication]*.
- Hankins, M. (2010). *Stand-alone Solar Electric Systems: The Earthscan Expert Handbook for Planning, Design, and Installation*. London/Washington, DC: Earthscan.
- Hau, E. (2013). *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics* (3rd ed.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kurniawan, & Setiawan. (2022). Pengembangan turbin angin vertikal hibrida Savonius-Darrieus berbentuk bunga tulip.
- Linden, D., & Reddy, T. B. (Eds.). (2011). *Linden's Handbook of Batteries* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Mahmud, S., & Hardi, W. (2023). Kemampuan self-starting turbin angin vertikal berbentuk tulip pada kecepatan rendah. *[Jurnal/local publication]*.
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010). *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application* (2nd ed.). Chichester, U.K.: Wiley.
- Messenger, R. A., & Abtahi, A. (2017). *Photovoltaic Systems Engineering* (4th ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Nawir, et al. (2023). Modification of the Vertical Axis with Variations in the Number of Blades of the Savonius Wind Turbine. *Journal of Advanced Technology and Multidiscipline*, (1), 1-9.
- Nugraha, A. D. (2024). Pemanfaatan turbin angin berbentuk tulip untuk daerah urban dan pedesaan. Universitas Gadjah Mada.
- Prasetyo, S. D. (2023). Rancang Bangun Pembangkit Hybrid Tenaga Angin dan Sel Surya untuk Penerangan Jalan Raya. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 6(1).
- Rashid, M. H. (2014). *Power Electronics: Devices, Circuits, and Applications* (4th ed.). England: Pearson.
- Subhayni. (2023). Turbin Angin Sumbu Vertikal. *[Skripsi/Laporan Penelitian]*.
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D* (Cet.26). Bandung: Alfabeta.

Theraja, B. L., & Theraja, A. K. (2005). *A Textbook of Electrical Technology in S.I. Units* (Vol. 2: AC and DC Machines). New Delhi: S. Chand & Co. Ltd