

**RANCANG BANGUN BLADE PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN TURBIN ARCHIMEDES
LIAM F1
PROYEK AKHIR**

*“Diajukan untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan Program
Diploma III Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas
Negeri Padang”*



**OLEH:
HARIS GUNAWAN SAPUTRA
21072037/2021**

**PROGRAM STUDI DIII TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN PROYEK AKHIR
RANCANG BANGUN BLADE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN
MENGGUNAKAN TURBIN ARCHIMEDES LIAM F1

OLEH:

Nama : Haris gunawan saputra
Nim/BP : 21072037/2021
Konsentrasi : Permesinan
Jurusan : Teknik mesin
Program studi : Diploma III
Fakultas : Teknik

Padang, 11 Agustus 2025

Disetujui Oleh:

Koordinator Program Studi DII
Teknik Mesin FT UNP


Dr. Junil Adri, S.Pd., M.Pd.T
NIP.198706302022031002

Pembimbing Proyek Akhir


Yoli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D.Eng
NIP.197607062003121001

Kepala Departemen Teknik Mesin FT UNP


Dr. Eko Indrawan, S.T., M.Pd.
NIP.198001142010121001

HALAMAN PENGESAHAN
RANCANG BANGUN BLADE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN
MENGGUNAKAN TURBIN ARCHIMEDES LIAM F1

OLEH:

Nama : Haris Gunawan Saputra
NIM/BP : 21072037/2021
Konsentrasi : Pemesinan
Program Studi : DIII Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Dewan Penguji Proyek Akhir
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang pada
tanggal.....

Dewan Penguji

Tanda Tangan

Nama

1. Yolli Fernanda, S.T.,M.T.,Ph.D.Eng
NIP.197607062003121001

1. 

2. Delima Yanti Sari, S.T., M.T., Ph.D
NIP:197801142003122003

2. 

3. Fitrah Qalbina, S.T., M.Eng.
Nip:199410232022032020

3. 

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Haris Gunawan Saputra
NIM/BP : 21072037/2021
Konsentrasi : Pemesinan
Departemen : Teknik Mesin
Program Studi : DIII Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul : Rancang Bangun Blade Pembangkit Listrik tenaga
angin menggunakan turbin archimedes liam F1

Dengan ini saya menyatakan bahwa proyek akhir ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, 11 Agustus 2025

Yang menyatakan

Haris Gunawan Saputra

NIM. 21072037

ABSTRAK

Penelitian ini merancang, memfabrikasi, dan menguji turbin angin sumbu vertikal (VAWT) Turbin Archimedes Liam F1 sebagai solusi energi terbarukan. Turbin diuji dalam terowongan angin dengan memvariasikan kecepatan angin, bukaan udara, dan sudut poros untuk menganalisis daya mekanik dan efisiensi. Hasil menunjukkan prototipe berfungsi, menghasilkan daya maksimal 0.168 Watt pada 6.0 m/s dengan efisiensi konversi sekitar 0.99%. Kombinasi bukaan 0° dan sudut poros 15° adalah yang paling optimal. Studi ini memberikan dasar untuk pengembangan turbin yang lebih efisien di masa depan.

Kata Kunci: Turbin Angin, Energi Terbarukan, Archimedes Liam F1, VAWT, Efisiensi.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga Laporan Proyek Akhir dengan judul "Rancang Bangun Blade Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Archimedes Liam F1" ini dapat diselesaikan dengan baik. Penyusunan laporan ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Program Studi Diploma Tiga (D-III) di Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Dalam proses penyelesaian Proyek Akhir ini, penulis telah mendapatkan berbagai dukungan, bimbingan, serta bantuan pemikiran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral, dan materiil yang tak terhingga selama penyusunan Proyek Akhir ini.
2. Bapak Dr. Eko Indrawan, S.T., M.Pd., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin FT UNP.
3. Bapak Dr. Junil Adri, S.Pd., M.Pd.T., selaku Ketua Program Studi Diploma III Departemen Teknik Mesin FT UNP.
4. Bapak Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D.Eng., selaku Dosen Pembimbing Proyek Akhir, atas waktu, arahan, bimbingan, dan masukan yang berharga sehingga laporan ini dapat terselesaikan.
5. Seluruh Staf Dosen dan Teknisi Jurusan Teknik Mesin FT UNP atas ilmu dan fasilitas yang telah diberikan selama masa studi dan penyelesaian proyek ini.
6. Sahabat, teman, dan rekan-rekan Teknik Mesin yang telah memberikan dukungan, motivasi, serta bantuan selama proses pengerjaan Proyek Akhir.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun akan sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan Proyek Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang energi terbarukan.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN PROYEK AKHIR.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN.....	ii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABLE.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
Rumusan Masalah.....	4
Tujuan Proyek Akhir.....	4
Manfaat Proyek Akhir.....	5
BAB II KAJIAN TEORI.....	7
2.1 Teori Pendukung	7
2.1.1 Energi Angin dan Potensinya	7
2.1.2 Turbin Angin dan Klasifikasinya	9
2.1.3 Turbin Archimedes Liam F1	10
2.1.4 Parameter Kinerja Turbin Angin dan Pengukuran	13
2.4.4. Efisiensi Konversi Energi (η)	15

2.4.5. Tip Speed Ratio (TSR)	15
Pemilihan Material	16
2.1.6 Metodologi Pengujian Kinerja Turbin Angin Eksperimental	17
2.2. Penelitian Terdahulu	18
2.2.1. Gap Penelitian	20
BAB III METODE PROYEK AKHIR	21
3.1. Diagram Alir Proyek Akhir	21
3.2 Jenis Penelitian.....	23
3.3. Teknik Pengumpulan Data	24
3.4. Instrumen Penelitian.....	24
3.5 Teknik Analisis Data.....	25
3.6 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	26
3.7 Alat dan Bahan.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN PROYEK AKHIR.....	29
4.1 Hasil Perancangan dan Fabrikasi	29
4.1.1 Desain Akhir Blade dan Poros	Error! Bookmark not defined.
4.1.2 Proses Fabrikasi dan Perakitan.....	31
4.1.3 Spesifikasi Teknis Turbin yang Terbangun	35
4.2 Prosedur Pengujian.....	35
4.3 Paparan Data.....	36
4.4 Interpretasi Hasil	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	48
5.1 Kesimpulan.....	48
5.2 Saran.....	49
DAFTARPUSTAKA	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Gambar Diagram Alir Proyek Akhir	21
Gambar 2. Desain Akhir 3D Blade dan Poros.....	29
Gambar 3. Mengukur Matrial Untuk Blade	31
Gambar 4. Hasil Potongan Blade Turbin	32
Gambar 5. Pembentukan Blade	32
Gambar 6. Pembubutan Poros	33
Gambar 7. Hasil Pengelasan.....	33
Gambar 8. Hasil Turbin	34
Gambar 9. <i>Kecepatan Angin (m/s) vs. Putaran Turbin (RPM)</i>	41
Gambar 10. <i>Kecepatan Angin (m/s) vs. Torsi (Nm)</i>	42
Gambar 11. <i>Kecepatan Angin (m/s) vs. Daya Mekanik (Watt)</i>	43
Gambar 12. <i>Kecepatan Angin (m/s) vs. Efisiensi (%)</i>	44
Gambar 13. <i>Tip Speed Ratio (TSR) vs. Efisiensi (%)</i>	45

DAFTAR TABLE

Table 1. Rincian Biaya Alat dan Bahan	28
Table 2. Spesifikasi Turbin.....	35
Table 3. Data Pengujian Turbin Angin Archimedes Liam F1	36
Table 4. Analisis Data Hasil Pengujian Turbin Angin Archimedes Liam F1	40

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan laju industrialisasi, sementara sumber daya energi fosil yang tidak terbarukan semakin menipis dan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti emisi gas rumah kaca. Kondisi ini mendesak upaya pencarian dan pengembangan sumber energi alternatif yang bersih, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Energi angin merupakan salah satu potensi energi terbarukan yang melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal di banyak wilayah, termasuk di Indonesia yang memiliki garis pantai panjang dan daerah dataran tinggi berpotensi angin.

Pemanfaatan energi angin dilakukan melalui Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) yang menggunakan turbin angin. Turbin angin secara garis besar dibagi menjadi dua jenis utama: Turbin Angin Aksis Horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine - HAWT) dan Turbin Angin Aksis Vertikal (Vertical Axis Wind Turbine - VAWT). Meskipun HAWT umum digunakan dalam skala besar, VAWT menawarkan beberapa keunggulan, terutama untuk aplikasi skala kecil atau menengah, seperti kemampuannya beroperasi pada kecepatan angin rendah, tidak memerlukan sistem pengarah angin (yaw mechanism) karena independen terhadap arah angin, serta seringkali memiliki tingkat kebisingan yang lebih rendah.

Di antara berbagai jenis VAWT, Turbin Archimedes (seringkali disebut juga Turbin Liam F1 atau serupa) menarik perhatian karena desain bilahnya yang unik berbentuk spiral atau heliks. Desain ini diklaim mampu menangkap angin dari berbagai arah secara efektif dan memiliki efisiensi yang menjanjikan pada kecepatan angin yang bervariasi, termasuk kecepatan angin rendah yang umum di banyak lokasi. Namun, pengembangan dan optimasi desain serta proses fabrikasi turbin jenis ini masih terus dilakukan, khususnya untuk aplikasi yang praktis dan terjangkau di skala D3 Teknik Mesin.

Oleh karena itu, proyek akhir ini bertujuan untuk melakukan rancang bangun dan pengujian kinerja blade serta poros pada pembangkit listrik tenaga angin menggunakan Turbin Archimedes Liam F1. Proyek ini diharapkan dapat menghasilkan prototipe turbin yang fungsional dan memberikan pemahaman mendalam mengenai aspek desain mekanis, proses manufaktur, dan kinerja konversi energi dari turbin jenis ini.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan tinjauan terhadap pengembangan energi terbarukan dan potensi turbin angin sumbu vertikal (VAWT) dengan desain Archimedes Liam F1, identifikasi masalah yang melandasi pelaksanaan proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

- a) Kebutuhan akan pengembangan desain turbin angin yang efektif dan efisien untuk kondisi angin yang bervariasi, khususnya kecepatan angin rendah, di Indonesia.
- b) Optimalisasi Desain dan Proses Manufaktur Prototipe: Belum terdapat panduan terperinci terkait tahapan perancangan desain blade dan poros yang optimal, serta proses fabrikasi yang efisien untuk prototipe turbin angin Archimedes Liam F1, khususnya dengan memanfaatkan material plat aluminium dan proses pengerjaan yang relevan untuk skala pendidikan Diploma Tiga (D3) Teknik Mesin. Ini menimbulkan tantangan dalam merealisasikan desain konseptual menjadi produk fisik yang fungsional dan dapat direplikasi.
- c) Keterbatasan Data Kinerja Empiris pada Kondisi Terkendali: Minimnya data hasil pengujian eksperimental yang komprehensif mengenai karakteristik kinerja daya mekanik dari prototipe turbin angin Archimedes Liam F1 yang difabrikasi secara lokal. Data ini esensial untuk memvalidasi performa turbin pada berbagai kondisi kecepatan angin dan memahami potensi konversi energi yang sesungguhnya.
- d) Analisis Pengaruh Variabel Operasional Terhadap Kinerja: Belum terdefinisinya secara kuantitatif bagaimana variasi parameter operasional (meliputi kecepatan angin, bukaan udara pada ducting simulasi, serta sudut

poros turbin) mempengaruhi parameter kinerja turbin seperti putaran (RPM), torsi, daya mekanik yang dihasilkan, daya angin tersedia, efisiensi konversi energi, dan Tip Speed Ratio (TSR). Pemahaman mendalam ini krusial untuk mengidentifikasi konfigurasi operasional yang paling efisien.

- e) Validasi Konsep Desain Melalui Pengujian Prototipe: Diperlukan validasi empiris terhadap desain turbin angin VAWT Archimedes Liam F1 melalui pengujian prototipe. Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi asumsi perancangan, mengukur kinerja aktual dalam kondisi terkontrol (wind tunnel/blower), serta mengidentifikasi potensi modifikasi atau peningkatan desain yang diperlukan.

1.3 Batasan Masalah

Agar proyek akhir ini tetap fokus dan dapat diselesaikan dalam waktu yang ditentukan, maka batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

- a) Objek Penelitian: Penelitian ini berfokus pada perancangan, fabrikasi, dan pengujian kinerja prototipe turbin angin sumbu vertikal (VAWT) dengan desain Archimedes Liam F1.
- b) Material Fabrikasi: Bilah turbin akan difabrikasi menggunakan plat aluminium, sedangkan poros dan struktur pendukung akan menggunakan material yang sesuai dengan kebutuhan desain dan ketersediaan.
- c) Metode Pengujian: Pengujian kinerja turbin akan dilakukan secara eksperimental di dalam terowongan angin (wind tunnel/blower)
- d) Parameter Variasi Pengujian: Variabel independen yang akan diuji meliputi kecepatan angin, bukaan udara (yaitu 0°, 15°, 30°, dan 45°), serta sudut poros (yaitu 0°, 15°, dan 30°).
- e) Parameter Kinerja yang Dianalisis: Analisis kinerja turbin akan mencakup pengukuran dan perhitungan putaran turbin (RPM), torsi (Nm), daya mekanik (Watt), daya angin tersedia (Watt), efisiensi konversi energi (%), dan Tip Speed Ratio (TSR).
- f) Lingkup Analisis Daya: Penelitian ini hanya berfokus pada analisis daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin. Aspek konversi daya mekanik menjadi daya listrik (misalnya, pemilihan generator, efisiensi generator,

atau desain sistem kelistrikan) tidak termasuk dalam ruang lingkup utama penelitian ini.

- g) Kondisi Lingkungan Pengujian:** Pengujian akan dilaksanakan dalam kondisi lingkungan yang terkontrol di terowongan angin. Oleh karena itu, faktor-faktor lingkungan alami seperti fluktuasi arah angin yang ekstrim, turbulensi acak di alam terbuka, variasi suhu atau tekanan atmosfer yang signifikan, serta dampak korosi atau keausan jangka panjang tidak akan menjadi fokus analisis.

Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi dan batasan masalah di atas, rumusan masalah dalam proyek akhir ini adalah:

- a)** Bagaimana tahapan perancangan desain blade dan poros yang optimal untuk turbin angin Archimedes Liam F1 yang fungsional dan dapat difabrikasi?
- b)** Bagaimana proses fabrikasi dan perakitan komponen blade dan poros turbin angin Archimedes Liam F1 menggunakan plat aluminium dan material lainnya sesuai dengan desain yang telah direncanakan?
- c)** Berapa besar daya mekanik yang dihasilkan dan bagaimana efisiensi konversi energi dari turbin angin Archimedes Liam F1 pada berbagai variasi kecepatan angin, bukaan udara, dan sudut poros berdasarkan hasil pengujian?
- d)** Bagaimana pengaruh variasi bukaan udara dan sudut poros terhadap kinerja daya mekanik dan efisiensi konversi energi turbin angin Archimedes Liam F1?

1.4 Tujuan Proyek Akhir

Tujuan yang hendak dicapai melalui pelaksanaan proyek akhir ini adalah:

- a) Merancang Desain Optimal:** Merancang desain *blade* dan poros turbin angin sumbu vertikal Archimedes Liam F1 yang fungsional, optimal, dan aplikatif untuk proses fabrikasi.
- b) Melaksanakan Fabrikasi dan Perakitan:** Melaksanakan proses fabrikasi dan

perakitan komponen *blade* dan poros turbin angin Archimedes Liam F1 menggunakan plat aluminium dan material lainnya sesuai dengan desain yang telah direncanakan.

- c) Mengukur dan Menganalisis Kinerja Daya Mekanik: Melakukan pengukuran dan analisis terhadap daya mekanik yang dihasilkan serta efisiensi konversi energi dari prototipe turbin angin Archimedes Liam F1 pada berbagai variasi kecepatan angin, bukaan udara, dan sudut poros melalui pengujian eksperimental.
- d) Menganalisis Pengaruh Variasi Parameter: Menganalisis secara kuantitatif pengaruh variasi bukaan udara dan sudut poros terhadap kinerja daya mekanik dan efisiensi konversi energi turbin angin Archimedes Liam F1.

1.5 Manfaat Proyek Akhir

Proyek akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak, yaitu:

1.5.1 Bagi Mahasiswa (Penulis):

- a) Meningkatkan pemahaman dan keterampilan praktis dalam perancangan, fabrikasi, dan pengujian komponen turbin angin, khususnya jenis Archimedes.
- b) Mengaplikasikan teori dan konsep Teknik Mesin yang telah dipelajari selama perkuliahan ke dalam proyek nyata.
- c) Mengembangkan kemampuan analisis data dan penyelesaian masalah teknis.
- d) Menjadi bekal pengetahuan dan pengalaman yang relevan untuk dunia kerja di bidang energi terbarukan atau manufaktur.

1.5.2 Bagi Dunia Pendidikan (Program Studi/Universitas):

- a) Menambah khazanah penelitian dan referensi ilmiah di bidang energi terbarukan, khususnya turbin angin vertikal.
- b) Menyediakan prototipe fisik turbin angin Archimedes Liam F1 yang dapat digunakan sebagai media praktikum, alat peraga, atau inspirasi untuk penelitian dan pengembangan selanjutnya.

- c) Meningkatkan reputasi program studi dalam kontribusi pengembangan teknologi yang relevan dengan kebutuhan energi saat ini.

1.5.3 Bagi Masyarakat:

- a) Menyediakan informasi dan data mengenai potensi dan kinerja turbin angin Archimedes Liam F1 sebagai salah satu solusi energi terbarukan.
- b) Membuka peluang bagi pengembangan turbin angin skala kecil yang dapat diaplikasikan di daerah terpencil atau sebagai sumber daya listrik pelengkap.
- c) Meningkatkan kesadaran akan pentingnya pemanfaatan energi terbarukan untuk keberlanjutan lingkungan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, fabrikasi, dan pengujian turbin angin Archimedes Liam F1, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan Desain: Tahapan perancangan desain blade dan poros turbin angin Archimedes Liam F1 berhasil dilakukan, menghasilkan desain fungsional dengan dimensi yang telah ditentukan (Diameter Turbin 420 mm, Tinggi 390 mm, Poros 10 mm). Desain ini menggunakan bilah spiral yang dikenal memiliki torsi awal yang baik.
2. Proses Fabrikasi dan Perakitan: Proses fabrikasi bilah menggunakan plat aluminium dan material lainnya untuk poros dan rangka berhasil dilaksanakan sesuai dengan desain. Perakitan komponen turbin juga telah dilakukan, menghasilkan unit prototipe yang siap diuji.
3. Kinerja Daya Listrik dan Efisiensi:
 - a) Turbin mampu menghasilkan daya mekanik yang meningkat seiring dengan kecepatan angin, dengan puncak daya sekitar 0.168 Watt pada kecepatan angin 6.0 m/s.
 - b) Efisiensi konversi energi turbin masih tergolong rendah, dengan nilai maksimum sekitar 0.99%. Efisiensi ini dipengaruhi secara signifikan oleh kecepatan angin serta pengaturan Bukaannya Udara dan Sudut Poros.
 - c) Kombinasi Bukaannya Udara 0° dan Sudut Poros 15° terbukti paling optimal dalam menghasilkan daya mekanik dan efisiensi yang lebih baik dalam rentang pengujian.
 - d) Titik Tip Speed Ratio (TSR) optimal untuk efisiensi turbin ini berada di kisaran 1.2 - 1.4.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan keterbatasan yang ditemukan selama proyek ini, beberapa saran untuk pengembangan selanjutnya adalah:

1. Pengurangan Gesekan Mekanis: Lakukan perbaikan pada sistem poros dan bantalan untuk mengurangi gesekan. Penggunaan bantalan dengan koefisien gesek yang lebih rendah atau pelumasan yang lebih baik dapat meningkatkan daya mekanik yang tersedia.
2. Optimasi Desain Aerodinamis: Lakukan studi lebih lanjut mengenai profil dan sudut bilah untuk meningkatkan efisiensi aerodinamis. Simulasi Komputasi Dinamika Fluida (CFD) dapat membantu mengidentifikasi bentuk bilah yang lebih efisien dalam menangkap energi angin.
3. Pengujian yang Lebih Terperinci: Lakukan pengujian dengan variasi parameter yang lebih halus, terutama pada Bukaan Udara dan Sudut Poros di sekitar titik-titik optimal yang ditemukan, untuk mendapatkan kurva kinerja yang lebih presisi.
4. Integrasi dan Pengujian Generator: Lakukan pengujian turbin yang terhubung langsung dengan generator untuk mengukur daya listrik yang dihasilkan secara riil. Ini akan memberikan gambaran efisiensi sistem secara keseluruhan (turbin, transmisi, dan generator).
5. Peningkatan Akurasi Pengukuran: Pastikan semua alat ukur terkalibrasi dengan baik dan metode pengukuran torsi sangat presisi, karena akurasi data sangat mempengaruhi hasil perhitungan efisiensi.
6. Penggunaan Material Ringan: Pertimbangkan penggunaan material yang lebih ringan namun tetap kuat untuk bilah dan struktur pendukung guna mengurangi inersia dan meningkatkan respon turbin terhadap angin.

DAFTARPUSTAKA

1. Ackerman, T. (2005). *Wind Power in Power Systems*. John Wiley & Sons.
2. Bachant, P., & Wosnik, M. (2015). Performance measurements of a high-performance vertical-axis wind turbine in a towing tank. *Journal of Fluids Engineering*, 137(2), 021105.
3. Betz, A. (1920). *Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen*. Vandenhoeck & Ruprecht. (Terjemahan bahasa Inggris tersedia).
4. Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., & Bossanyi, E. A. (2001). *Wind Energy Handbook*. John Wiley & Sons.
5. Chen, J., Yu, B., & Li, Y. (2017). Effects of blade profile and solidity on the aerodynamic performance of a vertical axis wind turbine. *Renewable Energy*, 106, 169-180.
6. Eriksson, S., Bernhoff, H., & Leijon, M. (2008). Evaluation of different vertical axis wind turbine concepts for power production in wind turbine parks. *Renewable Energy*, 33(7), 1421-1430.
7. Freris, L. L. (1990). *Wind Energy Conversion Systems*. Prentice Hall.
8. Gasch, R., & Jodeit, C. (2013). *Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction and Operation*. Springer.
9. Gipe, P. (2004). *Wind Power: Renewable Energy for the 21st Century*. Chelsea Green Publishing.
10. Hau, E. (2013). *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Applications*. Springer Science & Business Media.
11. Islam, M. R., Ting, D. S. K., & Fartaj, A. (2008). Aerodynamic models for vertical axis wind turbine: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(7), 1957-1971.
12. Johnson, G. L. (2006). *Wind Energy Systems*. Prentice Hall.
13. Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2002). *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. John Wiley & Sons.
14. Popescu, D., Badicu, G., Mihaila, M., & Stanciu, I. (2019). Numerical Investigation of Helical Savonius Wind Turbine Performance. *Energy Procedia*, 157, 111-118.
15. Pope, A., & Barlow, J. B. (2004). *Low-speed wind tunnel testing*. John Wiley & Sons.
16. Shamsul, B. M., et al. (2017). Performance analysis of a small-scale helical vertical axis wind turbine. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 11(3), 2824-2838.
17. Twidell, J., & Weir, T. (2006). *Renewable Energy Resources*. Routledge.
18. Verga, M., et al. (2018). Numerical and experimental study of a small vertical axis wind turbine for urban applications. *Energy Conversion and Management*, 171, 441-452.