

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN HAWT NACA 2412 SKALA
MIKRO MENGGUNAKAN 3D PRINTER**



Oleh:

M IHSAN RASYID

03051281823057

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN HAWT NACA 2412 SKALA
MIKRO MENGGUNAKAN 3D PRINTER**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



OLEH

M IHSAN RASYID

03051281823057

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**RANCANG BANGUN HAWT NACA 2412 SKALA MIKRO
MENGUNAKAN 3D PRINTER**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin
Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

M IHSAN RASYID
03051281823057

Palembang, 20 Desember 2024


Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing Skripsi

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197909272003121004



Dr. Denny Adanta, S.Pd., M.T., IPP.
NIP. 199306052019031016

JURUSAN TEKNIK MESIN

Agenda No.

: 131/TM/AF/2024

FAKULTAS TEKNIK

Diterima Tanggal

: 30 Desember 2024

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Paraf

: 

SKRIPSI

NAMA : MIHSAN RASYID
NIM : 03051281823057
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : RANCANG BANGUN HAWT NACA 2412
SKALA MIKRO MENGGUNAKAN 3D
PRINTER
DIBUAT TANGGAL : 22 FEBRUARI 2024
SELESAI TANGGAL : 11 NOVEMBER 2024

Palembang, 12 Desember 2024

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

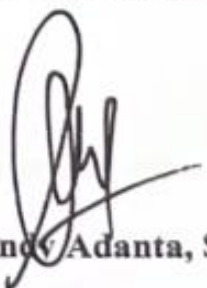



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPP.

NIP. 197909272003121004

Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Skripsi


Dr. Denny Adanta, S.Pd., M.T., IPP.
NIP. 199306052019031016

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Rancang Bangun HAWT NACA 1412 Skala Mikro Menggunakan 3D Printer” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 11 Desember 2024.

Palembang, 11 Desember 2024

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Skripsi:

Ketua :

1. Gunawan, S.T., M.T.
NIP. 197705072001121001

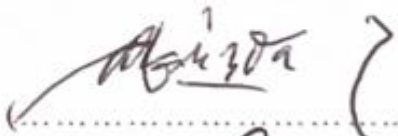
()

Anggota :

2. Ir. Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 198106302006041001

()

3. Aneka Firdaus, S.T., M.T.
NIP. 197502261999031001


()

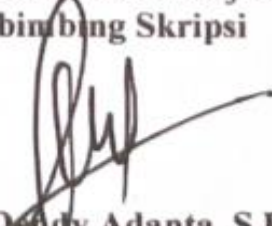
4. Ir. Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001

()

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Mesin

Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing Skripsi


Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197909272003121004


Dr. Dedy Adanta, S.Pd., M.T., IPP.
NIP. 199306052019031016

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M Ihsan Rasyid

NIM : 03051281823057

Judul : Rancang Bangun HAWT NACA 2412 Skala Mikro Menggunakan 3D Printer

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Palembang, 25 November 2024



M Ihsan Rasyid
NIM. 03051281823057

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M Ihsan Rasyid

NIM : 03051281823057

Judul : Rancang Bangun HAWT NACA Skala Mikro Menggunakan 3D Printer

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya saya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.



Palembang, 25 November 2024



M Ihsan Rasyid
NIM. 03051281823057

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas rahmat Allah SWT, atas dengan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik yang berjudul “Rancang Bangun HAWT NACA 2412 Menggunakan 3D Printer”

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam penyusunan skripsi ini tentunya penulis tidak bekerja sendirian. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih pada pihak terkait antara lain:

1. Terima kasih kepada kedua orang tua saya, Bapak Sumantri dan Ibu Marwiyah yang telah mendukung saya selama penyusunan skripsi ini.
2. Terima kasih kepada Ketua Jurusan Teknik Mesin Bapak Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPP. dan dosen serta staf Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang telah membekali saya dengan ilmu yang bermanfaat sebelum Menyusun skripsi ini.
3. Terima Kasih kepada Bapak Dr. Dendy Adanta, S.Pd., M.T., IPP. yang merupakan pengajar dan sekaligus dosen pembimbing saya.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi dalam dunia pendidikan dan industri.

Palembang, 25 November 2024



M Ihsan Rasyid
NIM 03051281823057

RINGKASAN

RANCANG BANGUN HAWT NACA 2412 SKALA MIKRO MENGUNAKAN 3D PRINTER

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 20 Desember 2024

M Ihsan Rasyid, dibimbing oleh Dr. Dendy Adanta, S.Pd, M.T, IPP xxi + 59
Halaman, 9 Tabel, 28 Gambar, 6 Lampiran

Pentingnya pengembangan energi terbarukan untuk mengatasi keterbatasan distribusi listrik di Indonesia, khususnya di pulau-pulau kecil yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik utama. Energi angin dipilih karena potensinya yang besar, dengan kecepatan angin rata-rata 3 hingga 10 m/s di berbagai wilayah Indonesia. Turbin angin skala mikro menjadi solusi yang ideal karena dapat dibangun dengan desain sederhana, efisien, dan ramah lingkungan. Penelitian ini menggunakan kombinasi metode analitik. Tahapan penelitian meliputi pemilihan airfoil NACA 2412, perancangan geometri sudu, penghitungan sudut puntir (twist), hingga pembuatan prototipe turbin menggunakan pencetakan 3D. Desain geometris dilakukan menggunakan perangkat lunak SOLIDWORKS. Turbin dirancang dengan 3 sudu mengkaji pengaruhnya terhadap efisiensi konversi energi angin menjadi energi listrik.

Kesimpulannya, turbin angin horizontal skala mikro dengan airfoil NACA 2412 dan 3 sudu memberikan efisiensi terbaik. Teknologi pencetakan 3D memungkinkan pembuatan prototipe yang ringan dan presisi, menjadikannya solusi yang efektif untuk memenuhi kebutuhan energi di wilayah terpencil. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi energi terbarukan, khususnya di Indonesia. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan simulasi dengan berbagai model turbulensi, memperluas rentang kecepatan angin, serta mengoptimalkan desain sudu untuk meningkatkan efisiensi turbin. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi

yang berguna dalam mengembangkan solusi energi bersih dan terbarukan di masa depan.

.

Kata kunci : turbin angin sumbu horizontal, airfoil

Kepustakaan : 30

SUMMARY

DESIGN AND DEVELOPMENT OF MICRO SCALE HAWT NACA 2412 USING A 3D PRINTER

Scientific Writing in the form of a Thesis, December 20th 2024

M Ihsan Rasyid, Supervised by Dr. Dendy Adanta, S.Pd, M.T, IPP xxi + 59 Pages,
9 Tables, 28 Figures, 6 Apendices

The importance of developing renewable energy to address the limitations of electricity distribution in Indonesia, particularly in small islands that are difficult to reach by the main power grid, is undeniable. Wind energy was chosen due to its significant potential, with average wind speeds ranging from 3 to 10 m/s across various regions in Indonesia. Micro-scale wind turbines offer an ideal solution as they can be constructed with a simple, efficient, and environmentally friendly design. This research employed a combination of analytical methods. The research stages included selecting the NACA 2412 airfoil, designing blade geometry, calculating the twist angle, and prototyping the turbine using 3D printing. Geometric design was carried out using SOLIDWORKS software. The turbine was designed with three blades to study its impact on the efficiency of wind energy conversion into electricity.

In conclusion, the micro-scale horizontal-axis wind turbine with a NACA 2412 airfoil and three blades demonstrated the best efficiency. The 3D printing technology enables the creation of lightweight and precise prototypes, making it an effective solution to meet energy needs in remote areas. This research provides a significant contribution to the development of renewable energy technology, particularly in Indonesia. Recommendations for future research include conducting simulations with various turbulence models, expanding the range of wind speeds analyzed, and optimizing blade design to enhance turbine efficiency. Therefore, the

results of this study are expected to serve as a valuable reference in developing clean and renewable energy solutions in the future.

Keywords : horizontal axis wind turbine, airfoil

Literature : 30

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	v
SKRIPSI.....	vii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ix
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xi
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	13
KATA PENGANTAR	xv
RINGKASAN	xvii
SUMMARY	xix
DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR GAMBAR	xxiii
DAFTAR TABEL.....	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Studi Literatur	3
1.3 Rumusan Masalah.....	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Energi Angin.....	7
2.2 Turbin Angin.....	7
2.3 Klasifikasi Turbin Angin	8
2.4 Turbin Angin Sumbu Horizontal	9
2.5 Prinsip Konversi Energi.....	10
2.6 Daya Angin	18
2.7 Kecepatan Poros	18
2.8 Gaya Aerodinamis	19
2.9 Pendekatan Segitiga Kecepatan Airfoil	20
2.10 Aerodinamika Rotor	21
2.10.1 Jumlah Sudu Rotor.....	23

2.10.2	Radius Hub dan Radius Lokasi	24
2.10.3	Bentuk Optimum Sudu Rotor.....	25
2.10.4	Twist (θ) dan Pitch (β)	27
2.10.5	Profil Airfoil Sudu Rotor.....	28
2.11	Profil airfoil NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) 28	
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1	Diagram Alir	31
3.2	Pemilihan Airfoil.....	32
3.3	Merancang Geometri sudu	33
3.3.1	Tip <i>Speed Ratio</i> Optimum (TSR Optimum)	33
3.3.2	Angle <i>f Attack</i> α	34
3.4	Perancangan 3D	34
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Hasil Analisis	39
4.1.1	Perhitungan Daya Angin	39
4.1.2	Radius Hub dan Radius Lokal.....	40
4.1.3	TSR Lokal λr	41
4.1.4	Sudut Twist θ dan Pitch β	42
4.1.5	Nilai Kecepatan Aksial dan Kecepatan Relatif Sudu.....	43
4.1.6	Panjang Chord Optimum.....	44
4.2	Hasil Perancangan	45
4.2.1	Hasil Perancangan Sudu Turbin.....	45
4.2.2	Hasil Perancangan Hub Turbin	46
4.2.3	Hasil Perancangan Knob Turbin	47
4.2.4	Hasil Perancangan Penghubung Pengunci	48
4.2.5	Hasil Perancangan Assembly Turbin	48
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		51
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....		53
LAMPIRAN		57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Turbin angin sumbu horizontal	9
Gambar 2.2 Kondisi Aliran Udara (Hau & Von Renourd, 2013)	10
Gambar 2.3 Koefisien daya terhadap rasio kecepatan (Hau & Von Renourd, 2013)	16
Gambar 2.4 Kondisi aliran pada <i>disk shaped converter ideal</i> (Hau & Von Renourd, 2013)	17
Gambar 2.5 Koefisien daya pada beberapa jenis turbin angin (Hau & Von Renourd, 2013)	17
Gambar 2.6 Gaya <i>lift</i> dan <i>drag</i> pada <i>airfoil</i> (Hau & Von Renourd, 2013).....	19
Gambar 2.7 Skema segitiga kecepatan <i>airfoil</i>	21
Gambar 2.8 Teori momentum dengan <i>rotating wake</i> (Hau & Von Renourd, 2013)	22
Gambar 2.9 pengaruh jumlah sudu terhadap koefisien daya rotor (Hau & Von Renourd, 2013).....	23
Gambar 2.10 Elemen sudu turbin (Burton dkk., 2001).....	26
Gambar 2.11 Bentuk kontur hiperbolik sudu (Hau & Von Renourd, 2013).....	26
Gambar 2.12 Pengaruh rasio gaya <i>lift</i> dan <i>drag</i> pada koefisien daya motor (Hau & Von Renourd, 2013).....	28
Gambar 2.13 Terminologi <i>Airfoil</i> (Wibisono dkk., 2013)	29
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3.2 <i>Airfoil</i> NACA 2412	33
Gambar 3.3 Knob	35
Gambar 3.4 Hub Turbin	35
Gambar 3.5 Penghubung Pengunci Hub Turbin	36
Gambar 3.6 Pengunci Bagian Depan	36
Gambar 3.7 Sudu Turbin.....	37
Gambar 4.1 <i>Airfoil</i> pada turbin	44
Gambar 4.2 Sudu Turbin Hasil Pencetakan 3D	45
Gambar 4.3 Hub Turbin Hasil Perancangan Tampak atas.....	46

Gambar 4.4 Hub Turbin Hasil Perancangan Tampak Samping	46
Gambar 4.5 Knob Turbin Tampak Samping	47
Gambar 4.6 Knob Turbin Tampak Atas	47
Gambar 4.7 Penghubung Pengunci	48
Gambar 4.8 Assembly Turbin	48

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Perancangan Sudu Turbin	34
Tabel 3.2 Hub Turbin	35
Tabel 4.1 Tabel daya sudu	39
Tabel 4.2 Kecepatan Poros (ω)	40
Tabel 4.3 Jarak tiap titik data	41
Tabel 4.4 Nilai TSR lokal	41
Tabel 4.5 Sudut twist dan pitch 3 sudu	42
Tabel 4.6 Kecepatan relatif dan kecepatan aksial 3 sudu.....	43
Tabel 4.7 Panjang chord optimum 3 sudu.....	44

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik memiliki peranan penting dalam setiap kegiatan manusia. Di Indonesia sendiri penggunaan energi listrik meningkat setiap tahunnya. Berdasarkan laporan kementerian ESDM, peningkatan penggunaan konsumsi listrik per kapita pada tahun 2022 di Indonesia mencapai 1173 kWh/kapita dan level konsumsi pemakaian tersebut naik 4% dibandingkan tahun 2021 (Ahdiat, 2023). Di Indonesia sendiri pembangkit listrik masih mengandalkan energi dari batu bara dengan presentasi tercatat sebesar 67,21% pada tahun 2022 (Kusdiana, 2022). Dengan kondisi Indonesia yang berupa negara kepulauan, menjadikan masalah tersendiri dalam faktor penyebaran listrik. Banyaknya pulau yang dipisahkan oleh perairan menjadikan distribusi listrik sulit dilakukan di pulau-pulau kecil.

Terhambatnya distribusi dan penyebaran listrik ke pulau-pulau kecil merupakan masalah utama yang dihadapi pemerintah sendiri. Banyak upaya yang telah dilakukan pemerintah dalam menangani masalah tersebut, salah satunya adalah pembangunan PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel). Namun, upaya tersebut tetap memiliki masalah sendiri berupa, harga dari bahan bakar yang digunakan dalam pembangkit ini selalu meningkat dari waktu ke waktu, keterlambatan saat pengiriman pasokan bahan bakar, dan juga dampak pada lingkungan yang buruk karena emisi karbon yang dihasilkan pembangkit ini cukup tinggi. Alternatif lainnya berupa sambungan kabel listrik bawah laut namun hanya dapat diterapkan pada beberapa pulau kecil yang dekat dengan sistem di pulau besar salah satu contohnya ialah Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. Solusi lain yang dapat diterapkan adalah pemanfaatan energi angin, kondisi geografis yang dimiliki Indonesia sangat mendukung dalam pemanfaatan energi angin, karena Indonesia sendiri berada di dalam garis khatulistiwa. Dimana menjadi salah satu faktor wilayah yang memiliki potensi energi angin yang sangat melimpah (Novri, 2021).

Energi baru dan terbarukan berupa energi angin untuk menjadi salah satu dari sumber energi alternatif yang ramah lingkungan yang harus dikembangkan, untuk daerah yang ada di Indonesia cocok untuk pembangkit listrik tenaga angin skala kecil (10 kW) hingga skala menengah (10-100 kW) dikarenakan kecepatan angin di Indonesia memiliki rata-rata 10-3 m/s. Daya angin yang mampu dihasilkan di Indonesia sekitar 978 MW, rata-rata potensi angin yang didapatkan memiliki nilai kecepatan 3 m/s sampai dengan 10 m/s tergantung lokasi (Praditya dkk., 2019). Oleh karena itu, spesifikasi kecepatan angin di Indonesia memadai dan mampu untuk dilakukan pembuatan turbin angin horizontal skala rendah untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik. Energi angin berpotensi menjadi energi listrik menggunakan turbin angin.

Turbin angin merupakan alat yang diperlukan untuk mengonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan cara memanfaatkan energi kinetik pada angin yang menggerakkan bilah pada turbin menjadi energi mekanik kemudian membuat poros berotasi sehingga dari gerak tersebut akan menggerakkan generator dan akhirnya disimpan menjadi energi listrik (Jamieson & Hassan, 2011). Untuk mengatasi permasalahan ini turbin angin berjenis turbin angin horizontal dapat menjadi solusi dalam membantu pemasokan energi listrik untuk daerah yang terisolasi dari sumber pembangkit listrik besar. Kelebihan dari turbin angin horizontal skala *rendah* adalah pembangunan konstruksi yang sederhana dan mudah dicetak, memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan jenis turbin angin vertikal, memiliki performa gaya aerodinamis yang lebih optimal, memiliki kemampuan untuk berputar otomatis tanpa memerlukan gaya tambahan, dan juga mengandalkan gaya angkat dari energi angin dibandingkan gaya tarik (Johari dkk., 2018). Untuk membantu agar turbin angin bekerja secara optimum, ada beberapa parameter yang harus diperhitungkan seperti, bentuk *blade*, *airfoil*, dan material yang digunakan dalam pembentukan turbin angin dengan difokuskan beberapa hal tersebut dalam manufaktur bilah turbin angin maka besar kemungkinan turbin tersebut bakal mendapatkan daya yang optimum..

Untuk mengoptimalkan kinerja turbin angin maka digunakan *airfoil* jenis NACA 2412 karena, *airfoil* jenis NACA 2412 dapat menghasilkan nilai efisiensi yang sangat bagus dibandingkan jenis *airfoil* lainnya (Kriswanto dkk., 2022).

Dengan bantuan *software* berupa SOLIDWORK penulis melakukan desain turbin angin dengan menggunakan profil NACA 2412 dengan menggunakan metode *computational fluid dynamics* (CFD) dalam mencari informasi penting yang akan digunakan dalam penelitian ini dengan judul “Rancang Bangun HAWT NACA 2412 Skala Mikro Menggunakan 3D Printer”.

1.2 Studi Literatur

Turbin angin merupakan salah satu jenis generator yang mengandalkan energi bersih berupa angin. Namun efisiensi mekanik turbin angin ini dalam penginderaan angin tidak melebihi 59,3% yang dikenal dengan fenomena batas Betts Zhang, dkk., 2022).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Abhishiktha Tumamala dkk. Menyimpulkan bahwa pada turbin angin horizontal skala rendah, sebagian besar kinerja difokuskan pada pengaruh berbagai parameter berupa TSR (*tips speed ratio*), *rotor velocity*, dan sudut puntir pada *airfoil* tertentu. Namun belum banyak yang melakukan lebih dalam untuk penelitian pada hal ini. Bertujuan untuk mendapatkan *coefficient power* mendekati optimum, desain mestinya diposisikan dengan benar terhadap arah datangnya angin guna mengoptimalkan setiap gaya yang ada untuk turbin angin dan juga jenis ukuran turbin angin terbagi menjadi tiga yaitu ukuran *large* dengan ukuran rotor antara 50-100 meter, *medium* dengan diameter 20-50 meter, *small* antara 10-20 meter (Tummala dkk., 2016).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Abhishiktha Tumamala dkk. Menyimpulkan bahwa pada turbin angin horizontal skala rendah, sebagian besar kinerja difokuskan pada pengaruh berbagai parameter berupa TSR (*tips speed ratio*), *rotor velocity*, dan sudut puntir pada *airfoil* tertentu. Namun belum banyak yang melakukan lebih dalam untuk penelitian pada hal ini. Bertujuan untuk mendapatkan *coefficient power* mendekati optimum, desain mestinya diposisikan dengan benar terhadap arah datangnya angin guna mengoptimalkan setiap gaya yang ada untuk turbin angin dan juga jenis ukuran turbin angin terbagi menjadi tiga yaitu ukuran *large* dengan ukuran rotor antara 50-100 meter, *medium* dengan diameter 20-50 meter, *small* antara 10-20 meter (Tummala dkk., 2016)

Terdapat juga sebuah penelitian yang membandingkan kinerja aerodinamis dari turbin angin poros horizontal (HAWT) dengan bilah yang menyapu ke arah depan (*forward*) dan menyapu ke arah belakang (*backward*). Dengan kesimpulan bahwa turbin angin dengan bilah yang menyapu ke arah depan terjadi peningkatan gaya sebesar 2,9%. Sementara bilah yang menyapu ke arah belakang terjadi sebuah penurunan koefisien dorong hingga 5,4% pada TSR desain (Kaya dkk., 2018). Dengan demikian, bilah yang menyapu ke arah depan mampu meningkatkan kinerja, sementara bilah yang menyapu ke arah belakang cenderung mengurangi performa dari turbin angin itu sendiri.

Dalam penelitian (Deghoum dkk., 2023) juga menyimpulkan jika simulasi dan komputasi dalam hal mendesain dan merancang turbin angin merupakan hal yang sangat diperlukan dikarenakan berguna dalam mencapai performansi yang diinginkan bersamaan dengan metode Betz (BEMT) digunakan untuk merancang geometri sudu. namun jika mengandalkan teori ini saja dalam melakukan perancangan turbin terdapat sebuah kelemahan karena metode ini tidak mengondisikan desain linear dari *chord* dan sudut belok. Sehingga, analisis komputasi dan simulasi digunakan untuk mengoptimalkan bilah angin sesuai dengan pendekatan linearisasi. Sama halnya seperti penelitian (Bai & Wang, 2016) menyelidiki performa aerodinamis dari turbin angin sumbu horizontal skala rendah menggunakan pendekatan eksperimental dan metode *numerical* (CFD dan BEM).

Telah banyak sebuah penelitian yang menggunakan turbin angin sebagai topik pembahasannya namun masih sedikit yang memperhatikan sudut puntir untuk sudu turbin angin tersebut. Banyak penelitian yang hanya mengandalkan sudut serang sebagai faktor utama dalam mencapai nilai aerodinamis agar turbin angin tersebut bekerja secara maksimum namun hal ini tidak dapat menjadi acuan karena dengan hanya mengandalkan sudut serang efisiensi yang didapat tidak sesuai ekspektasi. Seharusnya dalam perancangan sudu turbin angin *propeller*, sudut puntir atau *twist* harus diperhitungkan dikarenakan dapat mempengaruhi dan mengoptimalkan kinerja turbin. Pada sebuah penelitian dilakukan percobaan eksperimental dengan memuntir sebuah turbin hingga dalam beberapa percobaan didapatkan sebuah peningkatan efisiensi dari turbin, maka dengan beberapa percobaan selanjutnya didapatkan sebuah Persamaan dalam menentukan sudut

puntir tersebut (Burton dkk., 2001). Sudut puntir sangat berguna karena dapat menyesuaikan perubahan kecepatan angin dari pangkal menuju ujung sudu turbin sehingga mampu meratakan distribusi beban dan meningkatkan efisiensi dalam menghasilkan daya. Sehingga, studi ini bertujuan untuk mengetahui metode perancangan turbin angin skala *rendah* dengan menggunakan sudut puntir mampu menghasilkan daya dan efisiensi yang diharapkan sehingga dapat diusulkan sebagai salah satu pembangkit listrik mandiri.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan studi literatur, rumusan masalah studi ini adalah apakah turbin angin jenis horizontal skala mikro dengan rancangan sudu sudut puntir (*twist*) dengan pembuatan metode 3d printing mampu menghasilkan turbin yang kuat dalam menghasilkan daya yang baik dan efisien.

1.4 Batasan Masalah

Dalam Penelitian, permasalahan dibatasi guna penelitian yang di lakukan tidak keluar ruang lingkup kajian. Berikut batasan masalah dalam penelitian ini:

1. Turbin yang digunakan menggunakan jenis airfoil NACA 2412.
2. Diameter yang digunakan turbin berukuran 1 meter.
3. Fluida yang bekerja adalah udara dengan $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$.
4. 3D Printing menggunakan filamen PLA+.
5. Jenis geometri bilah turbin menggunakan keadaan *twist* (θ).

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas sarjana ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui cara merancang turbin menggunakan airfoil NACA 2412 dengan ukuran bilah 1 meter.
2. Menghasilkan turbin angin dengan metode pembuatan 3D printing.

1.6 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan, penelitian ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya dalam perancangan turbin angin sumbu horizontal skala mikro.
2. Memberikan pengetahuan tentang turbin angin sumbu horizontal skala mikro sebagai salah satu alternatif energi terbarukan yang dapat diterapkan pada daerah terpencil.

DAFTAR PUSTAKA

- Adanta, D., Sari, D. P., Syofii, I., Thamrin, I., Yani, I., Marwani, Fudholi, A., & Prakoso, A. P. (2024). Configuration blade shape for enhancement crossflow turbine performance by the CFD method. *International Journal of Thermofluids*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.100665>
- Ahdiat, adi. (2023, Februari 23). Konsumsi Listrik Penduduk Indonesia Naik pada 2022, Capai Rekor Baru. Databoks. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/02/23/konsumsi-listrik-penduduk-indonesia-naik-pada-2022-capai-rekor-baru>
- Bai, C. J., & Wang, W. C. (2016). Review of Computational and Experimental Approaches to Analysis of Aerodynamic Performance in Horizontal-Axis Wind Turbines (HAWTs). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 506–519. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.078>
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., & Bossanyi, E. (2001). *Wind Energy Handbook* (2nd ed.). John Wiley & Sons, Ltd. <https://books.google.co.id>
- Baliska, D. Z., Bisono R. M., Salim A. T. A., Sulistyono, & Nurdiansyah R. T.. (2023). Metode CFD untuk Pengolahan Data Pengukuran Temperatur dan Analisis Distribusi Temperatur Ruang KRDE. *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur (JETM)*, 06(1), 37–44. <https://doi.org/10.33795/jetm.v6i01.1843>
- Dajani, S., Shehadeh, M., Saqr, K. M., Elbatran, A. H., Hart, N., Soliman, A., & Cheshire, D. (2017). Numerical Study for a Marine Current Turbine Blade Performance under Varying Angle of Attack. *Energy Procedia*, 119, 898–909. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.143>
- Deghoum, K., Gherbi, M. T., Sultan, H. S., Jameel Al-Tamimi, A. N., Abed, A. M., Abdullah, O. I., Mechakra, H., & Boukhari, A. (2023). Optimization of Small

Horizontal Axis Wind Turbines Based on Aerodynamic, Steady-State, and Dynamic Analyses. *Applied System Innovation*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/asi6020033>

Eltayesh, A., Hanna, M. B., Castellani, F., Huzayyin, A. S., El-Batsh, H. M., Burlando, M., & Becchetti, M. (2019). Effect of wind tunnel blockage on the performance of a horizontal axis wind turbine with different blade number. *Energies*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/en12101988>

Hau, E., & Von Renourd, H. (2013). *Wind turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*. Dalam *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics* (3rd ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-27151-9>

Hidayat, M. F. (2016). Analisa Aerodinamika Airfoil NACA 0021 dengan Ansys Fluent. *Journal Kajian Teknik Mesin UTA'45*, 1(1), 45–50. <https://doi.org/10.52447/jktm.v1i1.332>

Jamieson, P., & Hassan, Garrad. (2011). *Innovation in Wind Turbine Design* (1 ed.). A John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119975441>

Johari, M. K., Jalil, M. A. A., & Shariff, M. F. M. (2018). Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT). *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 7(4), 74–80. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.13.21333>

Kaminsky, C., Filush, A., Kasprzak, P., & Mokhtar, W. (2012). *A CFD Study of Wind Turbine Aerodynamics*.

Kaya, M. N., Kose, F., Ingham, D., Ma, L., & Pourkashanian, M. (2018). Aerodynamic Performance of a Horizontal Axis Wind Turbine with Forward and Backward Swept Blades. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 176, 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.03.023>

Khusnawati, N., Wibowo, R., & Kabib, M. (2022). Analisa Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu. *Jurnal Crankshaft*, 5(2), 2623–0755.

<https://doi.org/10.24176/crankshaft.v5i2.7683>

- Kriswanto, Romadlon, F., Al-Janani, D. H., Aryadi, W., Naryanto, R. F., Anis, S., Sukoco, I., & Jamari. (2022). Rotor Power Optimization of Horizontal Axis Wind Turbine from Variations in Airfoil Shape, Angle of Attack, and Wind Speed. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 94(1), 138–151. <https://doi.org/10.37934/arfmts.94.1.138151>
- Krogstad, P. Å., & Lund, J. A. (2012). An experimental and numerical study of the performance of a model turbine. *Wind Energy*, 15(3), 443–457. <https://doi.org/10.1002/we.482>
- Kusdiana, D. (2022). Laporan Kinerja Ditjen EBTKE 2022. Dalam Laporan Kinerja Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Tahun 2022. https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content_laporan_kinerja_direktorat_jenderal_energi_baru_terbarukan_dan_konservasi_energi-tahun-2022.pdf
- Lawson, M., Jenne, D., Thresher, R., Houck, D., Wimsatt, J., & Straw, B. (2020). An Investigation into The Potential for Wind Turbines to Cause Barotrauma in Bats. *PLoS ONE*, 15(12 December). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242485>
- Novri, R. R. (2021). Analisis Potensi Energi Angin Tambak Untuk Menghasilkan Energi Listrik. *Journal of Research and Education Chemistry*, 3(2), 96. [https://doi.org/10.25299/jrec.2021.vol3\(2\).7165](https://doi.org/10.25299/jrec.2021.vol3(2).7165)
- Oukassou, K., El Mouhsine, S., El Hajjaji, A., & Kharbouch, B. (2019). Comparison of The Power, Lift and Drag Coefficients of Wind Turbine Blade from Aerodynamics Characteristics Of NACA 0012 and NACA 2412. *Procedia Manufacturing*, 32, 983–990. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.312>
- Praditya, A., Abdilla, T., Damayanti, A. H., Marciano, I., Simamora, P., Mursanti, E., Arinaldo, D., Giwangkara, J., & Adiatma, J. C. (2019). Indonesia Clean Energy Outlook Tracking Progress and Review of Clean Energy Development in Indonesia. www.iesr.or.id

- Qunfeng, L., Jin, C., & Jiangtao, C. (2011). Study of CFD Simulation of a 3-D Wind Turbine. *China National Nature Science Fund*, 5(5). <https://doi.org/10.1109/ICMREE.2011.5930883>
- Roache, P. J. (1998). Verification of codes and calculations. *AIAA Journal*, 36(5), 696–702. <https://doi.org/10.2514/2.457>
- Sayma, A. (2009). *Computational Fluid Dynamics* (1st ed.). Abdalnaser Sayma & Bookboon.com. <https://bookboon.com/en/computational-fluid-dynamics-ebook?mediaType=ebook>
- Setiawan, J., & Darmawan dan Harto Tanujaya, S. (2022). Komparasi Simulasi CFD Pada Turbin Cross-Flow Dengan Model Turbulen k- ϵ STD dan RNG k- ϵ . *Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa dan Inovasi*, 4(2), 153–162. <https://doi.org/10.35814/asiimetrik.v4i1.3100>
- Tummala, A., Velamati, R. K., Sinha, D. K., Indraja, V., & Krishna, V. H. (2016). A review on small scale wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 13511371. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.027>
- Wahyudi, Y., & Agung, M. (2021). Pengaruh Distribusi Tekanan Terhadap Gaya Lift Airfoil NACA 23012 Pada Berbagai Variasi Angle Of Attack [Thesis (S1), Universitas Negeri Makassar]. Dalam *Jurnal | Mechanical Engineering*. <http://eprints.unm.ac.id/19675/>
- Wibisono, Y., Nugroho, G., & Hantoro, R. (2013). Studi Karakteristik Aliran Tiga Dimensi Dan Perpindahan Panas Pada Cascade Airfoil Dengan Pengaruh Clearance. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1). <https://doi.org/10.12962/J23373539.V2I1.3255>
- Zhang, H., Wen, J., Zhan, J., & Xin, D. (2022). Effects of blade number on the aerodynamic performance and wake characteristics of a small horizontal-axis wind turbine. *Energy Conversion and Management*, 273. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116410>