

**Pemanfaatan Udara Buang Kipas Kondensor *AC Split* menjadi
Energi Listrik melalui Turbin Angin Sumbu Vertikal**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Muhammad Ramdani

223441902



**PROGRAM STUDI TEKNIK REKAYASA OTOMASI
JURUSAN TEKNIK OTOMASI MANUFAKTUR DAN MEKATRONIKA
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:
**Pemanfaatan Udara Buang Kipas Kondenser *AC Split* menjadi Energi
Listrik melalui Turbin Angin Sumbu Vertikal**

Oleh:

Muhammad Ramdani

223441902

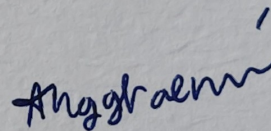
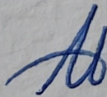
Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 27 Desember 2024

Disetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Dr. Aris Budiarto,
S.T., M.T.
NIP. 197012301995121

001

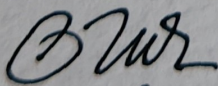
Anggraeni Mulyadewi,
S.Si., M.T.
NIP.199612172024062002

Disahkan,

Penguji I,

Penguji II,

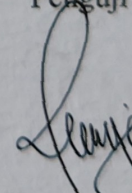
Penguji III,



Nur Wisma Nugraha,
S.T., M.T.
NIP. 197406092003121000



Danu Jaya Saputro,
S.T., M.Sc.
NRP. 224401001



Rizqi Aji Pratama, S.Pd.,
M.Pd.
NIP. 199110272022031005

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

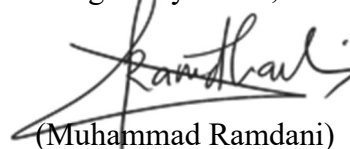
Nama : Muhammad Ramdani
NIM : 223441902
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknik Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Pemanfaatan Udara Buang Kipas Kondensor
AC Split menjadi Energi Listrik melalui Turbin
Angin Sumbu Vertikal

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 27 – Des – 2024
Yang Menyatakan,


(Muhammad Ramdani)
NIM 223441902

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

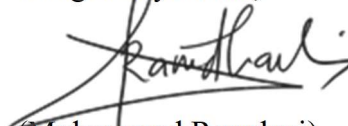
Nama : Muhammad Ramdani
NIM : 223441902
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Pemanfaatan Udara Buang Kipas Kondensor
AC Split menjadi Energi Listrik melalui Turbin
Angin Sumbu Vertikal

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 27 – Des – 2024
Yang Menyatakan,


(Muhammad Ramdani)
NIM 223441902

MOTO PRIBADI

“Kehidupan dunia ini hanyalah kenikmatan dari khayalan”

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalanNya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembah yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagiNya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hambaNya dan RasulNya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “Pemanfaatan Udara Buang Kipas Kondenser *AC Split* menjadi Energi Listrik melalui Turbin Angin Sumbu Vertikal”.

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknik Rekayasa Otomasi di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

- Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Mohammad Nurdin, S.T., M.AB
- Ketua Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Bapak Ismail Rokhim, S.T., M.T
- Ketua Program Studi Teknik Rekayasa Otomasi Ibu Nuryanti, S.T., M.Sc
- Para Pembimbing tugas akhir Bapak Dr. Aris Budiarto, S.T., M.T., dan Ibu Anggraeni Mulyadewi, S.Si., M.T.
- Para Penguji siding tugas akhir Bapak Nur Wisma Nugraha, S.T., M.T., Bapak Danu Jaya Saputro, S.T., M.Sc., dan Bapak Rizqi Aji Pratama, S.Pd., M.Pd

- Panitia tugas akhir Bapak Rizqi Aji Pratama, S.Pd., M.Pd
- Teristimewa kepada Orang Tua penulis Sri Herlina dan Tom Kartiwan(almarhum) yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
- Untuk istri tercinta Fitri Noerenasari dan anak pertama Muhammad Daffa Ramadhan dan anak kedua Arfa Athalla Ramadhan yang telah menjadi penyemangat hidup untuk terus berjuang.
- Buat sahabat – sahabat saya Irwan Rahdian Subarkah, Imam Suwondo, Mochamad Aulia, dan Banu Lutfhan Aziz yang terus mensupport dan memberikan semangat.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, 27 Desember 2024

Penulis

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan energi global mendorong penelitian tentang solusi berkelanjutan untuk memanfaatkan sumber daya yang ada. Salah satu potensi yang masih kurang dieksplorasi adalah udara buang dari kipas kondenser *AC split*. Perangkat ini menghasilkan aliran udara yang jika dimanfaatkan dengan efisien dapat menjadi sumber daya energi terbarukan dan berpotensi mengurangi limbah energi serta berkontribusi positif terhadap upaya global untuk mengurangi emisi karbon. Tujuan dari penelitian ini adalah meninjau potensi mengkonversi aliran udara dari kipas kondenser *AC* menjadi energi listrik menggunakan turbin angin sumbu vertikal beserta sistem pencatat data yang dilengkapi *time-stamp* menggunakan *network time protocol (NTP)*. Metode penelitian melibatkan perancangan *guide vane* dan penggunaan turbin angin sumbu vertikal tipe savonius yang dapat diintegrasikan dengan kipas kondenser *AC split* sehingga pemanfaatan udara buang lebih efektif. Generator DC dari turbin angin akan diberi beban resistif dan terhubung dengan sensor arus dan tegangan. Sensor arus dan tegangan diintegrasikan dengan mikrokontroler yang terhubung ke jaringan nirkabel lokal atau *Wifi* dan kemudian melakukan sinkronisasi waktu terhadap server waktu global melalui *NTP*. Proses *time-stamp* akan berlangsung setiap pengambilan data dengan interval 5 detik. Dari hasil penelitian didapat energi kinetik angin yang dapat dikonversi menjadi energi listrik dalam waktu uji 1 jam 45 menit 10 detik yaitu sebesar 23,61 mWh pada uji pertama dan 29,81 mWh dalam waktu uji kedua dengan durasi 2 jam 10 menit 20 detik. Dengan 1263 rekam data (uji pertama) dan 1566 rekam data (uji kedua) tersimpan pada microSD (100% keberhasilan pencuplikan data). Data yang berhasil terunggah ke *web-based monitoring Firebase* yaitu sebanyak 1060 rekam data (83,93%) dan 1564 rekam (99,67%) setelah perbaikan program *data logger*. Diharapkan bahwa penelitian ini akan menstimulasi penelitian-penelitian lanjutan dalam hal potensi *energy-harvesting* dari perangkat yang menghasilkan limbah energi.

Kata kunci: Energi Udara Buang, Energi Terbarukan, *Guide Vane*, Turbin Angin.

ABSTRACT

The increasing global energy demand is driving research into sustainable solutions to utilize existing resources. One potential that is still under-explored is the exhaust air from the split AC condenser fan. This device produces air flow that if utilized efficiently can be a renewable energy resource and has the potential to reduce energy waste and contribute positively to global efforts to reduce carbon emissions. The purpose of this study is to review the potential of converting air flow from the AC condenser fan into electrical energy using a vertical axis wind turbine along with a data recording system equipped with a time-stamp using the network time protocol (NTP). The research method involves designing a guide vane and using a savonius type vertical axis wind turbine that can be integrated with the split AC condenser fan so that the utilization of exhaust air is more effective. The DC generator from the wind turbine will be given a resistive load and connected to current and voltage sensors. The current and voltage sensors are integrated with a microcontroller connected to a local wireless network or WiFi and then synchronize the time to the global time server via NTP. The time-stamp process will take place every time data is taken with an interval of 5 seconds. From the research results, the wind kinetic energy that can be converted into electrical energy with duration 1 hour 45 minutes 10 seconds is 23.61 mWh in the first test and 29.81 mWh in the second test with a duration of 2 hours 10 minutes 20 seconds. With 1263 data records (first test) and 1565 data records (second test) stored on microSD (100% successful data sampling). The data that was successfully uploaded to the Firebase web-based monitoring was 1060 data records (83.93%) and 1564 records (99.67%) after the data logger program was improved. It is hoped that this research will stimulate further research in terms of the energy-harvesting potential of devices that produce energy waste.

Keywords: Exhaust Air Energy, Renewable Energy, Guide Vane, Wind Turbine.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xv
I BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Batasan Masalah	3
I.4 Tujuan dan Manfaat	4
I.5 Sistematika Penulisan	5
II BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
II.1 Tinjauan Teori	6
II.1.1 Kecepatan Angin	6
II.1.2 Turbin Angin	8
II.1.3 Energi Angin	10
II.2 Tinjauan Alat	12
II.2.1 Mikrokontroler	12
II.2.1.1 Mikrokontroler Arduino Uno R3	13
II.2.1.2 Mikrokontroler ESP32	14
II.2.1.3 Mikrokontroler ESP32-S3	16
II.2.2 Sensor Arus dan Tegangan	17
II.2.3 Sensor Suhu dan Kelembaban Udara	20
II.2.4 Turbin Angin	21
II.2.5 <i>Guide Vane</i>	21
II.2.6 <i>Internet of Things (IoT)</i>	22

II.3	Studi Penelitian Terdahulu	22
III	BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH.....	31
III.1	Kebutuhan	31
III.2	Analisa Perancangan Sistem	32
III.3	Domain Perancangan Khusus	33
III.3.1	Perancangan <i>Guide Vane</i> dan Studi <i>Flow Simulation</i>	34
III.3.2	Perancangan Sistem Elektrikal/Elektronik.....	36
III.3.3	Perancangan Sistem Informasi.....	41
III.4	Integrasi Sistem.....	43
III.5	Verifikasi/Validasi	44
III.6	Modelling dan model analysis	45
III.7	Produk	45
IV	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
IV.1	Hasil Studi <i>Flow Simulation</i>	46
IV.2	Pengukuran Tegangan Turbin Angin dengan dan tanpa <i>Guide Vane</i> ... 55	
IV.3	Validasi pengukuran arus dan tegangan listrik alat dengan multimeter 56	
IV.4	Uji Alat.....	58
V	BAB V PENUTUP	67
V.1	Kesimpulan	67
V.2	Saran.....	67
	DAFTAR PUSTAKA	69
	LAMPIRAN 1 Program Mikrokontroler	72
	LAMPIRAN 2 Program <i>Energy Monitoring</i>	79
	LAMPIRAN 3 Rekam data <i>SD Card</i>	80
	LAMPIRAN 4 Rekam data <i>Firebase json</i>	81
	LAMPIRAN 5 Skematik Rangkaian Sistem Elektrik/Elektronik.....	82
	LAMPIRAN 6 <i>Flow Simulation</i>	83

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Skala Beaufort.....	II.1.2
Tabel 2. Penelitian terdahulu.....	II.3
Tabel 3. Perbandingan spesifikasi mikrokontroler.....	II.3.2
Tabel 4. Pertimbangan pemilihan sistem <i>IoT</i>	III.3.3
Tabel 5. Perbandingan pengukuran kecepatan angin secara aktual dan hasil studi <i>flow simulation</i>	IV.1
Tabel 6. Hasil perbandingan pengukuran tegangan (V) sensor INA219 dengan Multimeter.....	IV.3
Tabel 7. Hasil perbandingan pengukuran arus (mA) sensor INA219 dengan Multimeter.....	IV.3
Tabel 8 Analisa data korelasi antara Tegangan&Arus terhadap Kelembaban & Suhu Udara.....	IV.4

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Contoh turbin angin sumbu horizontal	II.2.1
Gambar 2. Beberapa model turbin angin sumbu vertikal	II.2.1
Gambar 3. Arsitektur Arduino Uno	II.2.1.1
Gambar 4. Arsitektur ESP32 DevKitC	II.2.1.2
Gambar 5. Arsitektur ESP32-S3-DevKit-1	II.2.1.3
Gambar 6. Sensor INA 219	II.2.2
Gambar 7. Diagram skematik INA 219	II.2.2
Gambar 8. Diagram blok kalkulasi INA 219	II.2.2
Gambar 9. Modul Sensor DHT22	II.2.3
Gambar 10. Contoh <i>omni directional guide vane</i>	II.2.5
Gambar 11. VDI 2206 model pada level makro	III
Gambar 12. Ilustrasi kebutuhan sistem	III.1
Gambar 13. Diagram alir perancangan sistem domain khusus	III.3
Gambar 14. Diagram alir perancangan <i>guide vane</i>	III.3
Gambar 15. 3D Printer dengan metode FDM (kiri) dan SLA (kanan)	III.3.1
Gambar 16. Turbin angin sumbu vertikal Savonius berkapasitas 1 Watt	III.3.2
Gambar 17. Diagram skematik sistem elektrik	III.3.2
Gambar 18. Diagram alir program mikrokontroler	III.3.2
Gambar 19. Rancangan untuk penempatan komponen-komponen sistem elektrikal	III.3.2
Gambar 20. Tampilan antarmuka sistem informatika berbasis <i>Firestore</i>	III.3.3
Gambar 21. Blok diagram sistem	III.2
Gambar 22. Posisi anemometer dan hasil pengukuran (posisi 1)	IV.1
Gambar 23. Kurva hasil pengukuran selama ± 6 menit (posisi 1)	IV.1
Gambar 24. Posisi anemometer dan hasil pengukuran (posisi 2)	IV.1
Gambar 25. Kurva hasil pengukuran selama ± 7 menit (posisi 2)	IV.1
Gambar 26. Hasil gambar ulang profil bilah kipas <i>AC split</i>	IV.1
Gambar 27. Pengaturan parameter pada solidworks <i>flow simulation</i>	IV.1
Gambar 28. Hasil studi <i>flow simulation & cut plots</i> kontur aliran angin kipas aksial	IV.1

Gambar 29. Hasil studi <i>flow simulation</i> posisi 1.....	IV.1
Gambar 30. Hasil studi <i>flow simulation</i> posisi 2.....	IV.1
Gambar 31. Perancangan <i>guide vane</i>	IV.1
Gambar 32. <i>Flow simulation guide vane</i> bersama kipas aksial kondenser.....	IV.1
Gambar 32. <i>Cutplots</i> kontur dan vektor <i>flow simulation</i> dari berbagai sumbu .	IV.1
Gambar 34. Hasil <i>3D-printing guide vane</i>	IV.1
Gambar 35. Pengukuran tegangan turbin angin tanpa <i>guide vane</i>	IV.2
Gambar 36. Pengukuran tegangan turbin angin dengan <i>guide vane</i>	IV.2
Gambar 37. Perbandingan pengukuran tegangan multimeter dan INA219	IV.3
Gambar 38. Perbandingan pengukuran arus multimeter dan INA219.....	IV.3
Gambar 39. Integrasi alat untuk uji dengan kondenser <i>AC split ½ PK</i>	IV.4
Gambar 40. Hasil rekam data <i>SD Card</i>	IV.4
Gambar 41. Hasil rekam data dari <i>Firebase</i>	IV.4
Gambar 42. Perbaikan diagram alir program mikrokontroler.....	IV.4
Gambar 43. Perbandingan data suhu dan kelembaban <i>SD Card</i> dan <i>Firebase</i> .	IV.4
Gambar 44. Hasil rekam data <i>SD Card</i> pada uji kedua.....	IV.4
Gambar 45. Tampilan energy monitoring pada <i>Firebase</i> pada uji kedua.....	IV.4

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** Program Mikrokontroler & *Firebase* (Salinan Lunak/ *Softcopy*)
- Lampiran 2** Rekam Data *SD Card* (Salinan Lunak/ *Softcopy*)
- Lampiran 3** Rekam Data *Firebase* json (Salinan Lunak/ *Softcopy*)
- Lampiran 4** Data sheet ESP32-S3
- Lampiran 5** Data sheet INA219
- Lampiran 6** Data sheet DHT22

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

<i>AC</i>	= <i>Air Conditioner</i>
<i>CPU</i>	= <i>Central Processing Unit</i>
<i>DC</i>	= <i>Direct Current</i>
<i>GPIO</i>	= <i>General Purpose Input/Output</i>
<i>GWh</i>	= <i>Giga-Watthours</i>
<i>IRENA</i>	= <i>International Renewable Energy Agency</i>
<i>I2C</i>	= <i>Inter-Integrated Circuit</i>
<i>I2S</i>	= <i>Inter-Integrated Circuit Sound</i>
<i>MMC</i>	= <i>Multi Media Card</i>
<i>OPI</i>	= <i>Octal Peripheral Interface</i>
<i>PK</i>	= <i>Paard Kracht</i>
<i>QPI</i>	= <i>Quad Peripheral Interface</i>
<i>RAM</i>	= <i>Random Access Memory</i>
<i>Rpm</i>	= <i>Revolution per minutes</i>
<i>RTC</i>	= <i>Real Time Clock</i>
<i>SD</i>	= <i>Secure Digital</i>
<i>SoC</i>	= <i>System-on-a-Chip</i>
<i>SPI</i>	= <i>Serial Peripheral Interface</i>
<i>UART</i>	= <i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
<i>VA</i>	= <i>Volt-Ampere</i>
<i>WiFi</i>	= <i>Wireless Fidelity</i>

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Energi merupakan hal utama dalam menggerakkan aktivitas manusia serta menjalankan perkembangan teknologi dan peradaban. Saat ini, ketegangan antara kebutuhan energi yang terus meningkat dan dampak negatif terhadap perubahan iklim. Perubahan iklim yang disebabkan manusia telah memengaruhi banyak cuaca dan iklim ekstrem di setiap wilayah di seluruh dunia[1]. Aktivitas manusia, terutama melalui emisi gas rumah kaca, secara jelas telah menyebabkan pemanasan global, dengan suhu permukaan global periode 2011-2019 mencapai $1,1^{\circ}\text{C}$ di atas periode tahun 1850–1900[1]. Dekade ini, keberhasilan dalam mengurangi emisi gas rumah kaca akan menentukan apakah kenaikan suhu global dapat dibatasi hingga $1,5^{\circ}\text{C}$ atau bahkan 2°C [2]. *IRENA 1,5°C pathway*, yang ditetapkan dalam *World Energy Transitions Outlook*, menempatkan elektrifikasi dan efisiensi sebagai pendorong utama transisi, yang dimungkinkan oleh energi terbarukan, hidrogen bersih, dan biomassa berkelanjutan[2].

Dari pemaparan kondisi tersebut harus menjadi pendorong penelitian-penelitian dan pengembangan energi terbarukan, serta meningkatkan efisiensi dalam penggunaan energi guna berkontribusi dalam mengurangi dampak negatif perubahan iklim. Salah satu sumber energi potensial yang luput dari perhatian adalah udara buang dari unit *AC* yang dapat ditemukan di sekitar kita sepanjang waktu. Perkiraan konsumsi energi untuk *AC* di rumah tangga di Indonesia pada tahun 2020 hampir 13.900 MWh setiap hari atau rata-rata per tahun sekitar 5.057 GWh[3]. Perlu dicatat bahwa Indonesia sangat bergantung pada batubara untuk pembangkitan listrik yang menyumbang karbon emisi yang sangat signifikan, berdasarkan data 2023 bauran energi listrik yang berasal batu-bara yaitu sekitar 61%[4].

Jenis *AC* yang paling umum digunakan di rumah tangga yang telah disurvei pada tahun 2020 adalah *AC split* dengan kapasitas $\frac{1}{2}$ PK (1 PK= 735,5 Watt) atau sekitar 57% dari perkiraan total unit secara nasional 3.970.392 unit [3]. Setiap peningkatan

1% pada penetrasi penggunaan AC akan mengakibatkan peningkatan besar dalam permintaan energi di sektor perumahan sebesar 1.676,5 GWh per tahun[5]. Salah satu langkah penghematan energi yang dapat dilakukan dengan biaya yang lebih terjangkau dan tanpa perubahan signifikan pada konstruksi bangunan yaitu dengan perubahan perilaku untuk mencapai kenyamanan termal dalam ruangan. Sayangnya, sebagian besar masyarakat Indonesia tidak menyadari fakta bahwa menaikkan titik setel AC hingga di atas 25°C dapat menghemat sekitar 8% listrik. Hal ini terbukti dari 70% dari mereka yang terus menyetel AC pada suhu 20°C atau di bawahnya[5].

Selain upaya menanggulangi peningkatan konsumsi energi listrik pada perangkat rumah tangga terutama AC dari segi perilaku pengguna, penelitian mengenai pemanfaatan udara buang dari kipas kondensor AC dengan turbin angin sumbu vertikal adalah topik yang menarik dan berpotensi untuk memberikan kontribusi signifikan dalam upaya penghematan energi. Apabila setiap unit AC dapat berkontribusi menghasilkan 1 Watt, maka dengan perkiraan 3,9 juta unit AC secara nasional, potensi penghematan energi listrik yang dapat dicapai mencapai sekitar 3,9 GW.

Penelitian ini mempertimbangkan pada berbagai studi sebelumnya yang memberikan acuan bagi penulis dalam merumuskan pendekatan pemanfaatan udara buang dari kipas kondensor AC *split*. Pertama, penelitian oleh Yen-Tang Chen dkk. (2021) yang mengemukakan bahwasannya pemanfaatan energi angin dengan mendaur ulang energi kinetik pada udara buang dari AC *split* berkapasitas 1 PK dengan turbin angin sumbu vertikal bertipe *H-Darrieus* dinilai layak dikembangkan. Pendekatan ini relevan dengan fokus penelitian ini yang hendak memanfaatkan aliran udara buang untuk memutar turbin. Selanjutnya, studi oleh Indra Herlamba Siregar dkk. (2023) dan Berhanu dkk. (2021) memberikan landasan teknis mengenai peningkatan kinerja turbin angin Savonius. Penggunaan *omnidirectional guide vane* (Siregar dkk., 2023) dan *drag force blocker* (Berhanu dkk., 2021) mampu meningkatkan efisiensi serta kecepatan rotasi turbin angin melalui pengaturan arah dan fokus aliran udara. Pengetahuan ini dapat diadaptasi untuk mengoptimalkan kinerja turbin angin dalam upaya memanfaatkan aliran udara buang dari kipas kondensor AC *Split*. Aspek pemantauan dan pengolahan data yang

andal juga menjadi faktor pendukung penting. Penelitian oleh Yuliadi Erdani dkk. (2023) tentang sistem *data logger* dengan *time-stamp* berbasis *Network Time Protocol (NTP)*, serta studi Dessyanto Boedi Prasetyo dkk. (2020) terkait sistem pemantauan secara *real-time* berbasis platform *IoT*, menjadi fondasi dalam pengembangan sistem pemantauan kinerja turbin angin. Dengan dukungan teknologi ini, hasil penelitian dapat direkam pada penyimpanan lokal sekaligus dimonitor secara *real-time* pada platform *IoT*, sehingga data dapat dianalisis secara akurat, dan keputusan pengembangan lebih lanjut dapat diambil secara tepat.

Dengan memadukan hasil-hasil penelitian tersebut, penulis berupaya menyusun konsep dan merancang sistem yang dapat mengubah udara buang dari kipas kondensor *AC Split* menjadi energi listrik melalui turbin angin sumbu vertikal dengan tambahan perangkat peningkat performa turbin berupa *guide vane* sekaligus memantau dan menganalisis kinerjanya secara berkesinambungan.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah harus sesuai dengan topik penelitian yang disusun.

Permasalahan yang akan dibahas dalam karya tulis ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana rancangan *guide vane* yang apat meningkatkan performa turbin angin?
2. Bagaimana rancangan *guide vane* yang dikombinasikan dengan turbin angin sumbu vertikal dapat mengeksplorasi potensi pemanfaatan udara buang dari kipas kondensor *AC split*?
3. Bagaimana rancangan *data logger* yang mampu melakukan kalkulasi kumulatif energi, pengambilan data dari sensor-sensor dengan *time-stamp* menggunakan *Network Time Protocol (NTP)* dengan interval 5 detik, menyimpan data tersebut pada penyimpanan lokal serta melakukan pengunggahan rekam data ke sistem *IoT* sehingga bisa dipantau secara *real-time*?
4. Bagaimana dampak suhu dan kelembaban udara pada pengkonversian energi angin menjadi energi listrik?

I.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan permasalahan yang telah dipaparkan, agar dapat dibahas lebih spesifik maka dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut:

Ruang lingkup yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Unit luar ruangan dari *AC split* yang akan dimanfaatkan AC dengan kapasitas $\frac{1}{2}$ PK dengan spesifikasi teknis sebagai berikut konsumsi daya = 390 Watt; Tegangan = 220 V; Arus listrik = 1,9 Ampere. Kipas aksial dengan spesifikasi teknis konsumsi daya = 17 Watt; Tegangan = 220-240 V; Arus listrik = 0,22 A dan 760 rpm.
2. Generator DC dengan spesifikasi tegangan keluar 0,01-5,5 V dan arus keluaran 0,01-100 mA.
3. Perangkat peningkatan performa turbin angin sumbu vertikal berupa *guide vane*.
4. Perangkat lunak SolidWork untuk studi *flow simulation*.
5. Pembebanan menggunakan beban resistif 200 Ohm.
6. Dampak terhadap *AC Split* tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini.

I.4 Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi potensi pemanfaatan energi udara buang dari kipas unit luar ruangan pendingin ruangan (*AC*) melalui integrasi turbin angin sumbu vertikal dan pengarah angin. Tujuan spesifik meliputi:

1. Menganalisis karakteristik aliran udara dari kipas *AC*
2. Merancang dan mengimplementasikan prototipe *guide vane* dan turbin angin sumbu vertikal yang dapat diintegrasikan dengan unit *AC*.
3. Mengoptimalkan desain *guide vane* untuk meningkatkan efisiensi konversi energi.
4. Mengevaluasi kinerja sistem secara eksperimental dalam skenario nyata.

Manfaat Penelitian:

1. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam mengubah emisi udara buang menjadi sumber daya terbarukan, membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional.
2. Integrasi turbin angin dengan unit *AC* diharapkan dapat berkontribusi dalam hal menghasilkan energi tanpa emisi tambahan.
3. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pengembangan teknologi ramah lingkungan dalam pengelolaan energi, menciptakan solusi berkelanjutan.

4. Penerapan teknologi ini dapat mendukung pembangunan tata kota hijau dengan memanfaatkan sumber daya yang sudah ada untuk mendukung keberlanjutan lingkungan.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika proposal Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH, berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN