

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN TURBIN VENTILATOR

Muhammad Haidar Rafi; Hasyim Asy'ari, S.T., M.T
Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Angin adalah salah satu sumber daya alam terbarukan yang bisa kita dapat saat ini. Angin dapat dimanfaatkan dalam banyak hal salah satunya pembangkit listrik. Cara kerja pembangkit listrik menggunakan tenaga angin dalam mengkonversi energi listrik dari energi angin adalah dengan memanfaatkan turbin angin sebagai penggerak generator. Tujuan dari perancangan pembangkit listrik tenaga angin pada tugas akhir kali ini adalah untuk mengembangkan pemberdayaan sumber energi terbarukan berupa energi angin. Energi angin akan difungsikan sebagai penggerak turbin yang terhubung dengan sebuah generator sehingga mampu menghasilkan suatu energi listrik. Dalam penelitian ini turbin yang digunakan merupakan turbin ventilator yang berfungsi sebagai *exhaust fan* pada bangunan. Penelitian kali ini menguji besaran energi listrik yang mampu dihasilkan oleh generator pada kondisi kecepatan angin yang berbeda-beda. Adapun metode-metode dalam pelaksanaan penelitian ini diantaranya pengukuran potensi, studi literatur, perancangan dan pembuatan alat, serta pengujian alat yang dilakukan di Gedung Fakultas Kedokteran Lantai 7 Universitas Muhammadiyah Surakarta, Kec. Kartasura, Kab. Sukoharjo, Jawa Tengah. Hasil yang diperoleh dari 14 hari pengujian adalah alat dapat menghasilkan energi listrik sebesar 23,29 Wh. Produksi energi tertinggi dalam satu hari adalah 3,48 Wh dan terendah adalah 0,81 Wh.

Kata Kunci: energi, angin, pembangkit listrik, turbin ventilator.

Abstract

Wind is one of renewable natural resources that we can get right now. Wind can be used in many ways, one of which is power plant. The way wind power plants work in converting wind energy into electrical energy is by using a wind turbine as a generator drive. The purpose of designing a wind power plant in this final project is to develop the empowerment of renewable energy sources in the form of wind energy. Wind energy will be utilized as a turbine drive connected to a generator so it can produce electrical energy. In this final project, the turbine used is a turbine ventilator that functions as an exhaust fan in buildings. This research examines the amount of electrical energy that can be generated by generators at different wind speed conditions. The methods in carrying out this research included potential measurement literature studies, design and manufacture of tools, as well as testing of tools carried out at the 7th Floor of the Faculty of Medicine Building, Muhammadiyah University, Surakarta, Kec. Kartasura, Kab. Sukoharjo, Central Java. The results obtained from the 14 days of testing are that the device can generate electrical energy of 23.29 Wh. The highest energy production in one day is 3.48 Wh and the lowest is 0.81 Wh.

Keywords: energy, wind, power plants, turbine ventilator.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik menjadi sumber daya yang amat penting dan diperlukan pada zaman modern ini. Kebutuhan energi listrik mengalami peningkatan selaras dengan pertumbuhan jumlah penduduk, namun banyaknya kebutuhan energi listrik tersebut belum mampu diimbangi dengan produksi energi yang masif. Hingga saat ini pemasok energi masih bergantung kepada sumber energi seperti minyak bumi, gas alam, maupun batubara. Akibat dari peningkatan penggunaan energi tak terbarukan, maka di masa mendatang ketersediaannya pun akan semakin menipis. Ketersediaan energi fosil akan terus berkurang dan tidak lagi dapat menjadi pemasok energi. Karena sifatnya yang tidak terbarukan itu mengharuskan untuk mengembangkan sumber energi terbarukan. Disamping itu, sumber energi terbarukan dapat mengurangi angka polusi yang ditimbulkan akibat penggunaan bahan bakar minyak. Untuk itu dibutuhkan pengembangan sumber energi terbarukan yang ketersediaannya cukup di bumi dan dapat diharapkan keberlangsungannya.

Angin merupakan satu dari sekian banyak sumber daya alam yang memiliki potensi untuk menjadi energi alternatif yang bersifat terbarukan dan ramah bagi lingkungan serta memiliki peluang besar untuk pengembangan (Suryadi et al., 2019). Energi angin ini bisa dimanfaatkan sebagai pembangkit energi listrik sebagai pemasok sumber energi alternatif. Saat ini energi angin belum cukup dilirik oleh masyarakat di Indonesia. Salah satu alasan terhambatnya pengembangan energi angin menjadi energi listrik adalah rancangan sistem pembangkitan listrik tenaga angin dinilai kurang optimal akibat kecepatan angin di Indonesia terbilang tidak konstan dan mudah berubah dalam waktu singkat sedangkan pembangkit listrik tenaga angin memerlukan waktu yang relatif lama untuk memproses daya yang dihasilkan (Otong & Bajuri, 2017). Dalam mengkonversi suatu energi listrik dari energi angin diperlukan adanya turbin angin, misalnya turbin ventilator.

Turbin ventilator termasuk turbin angin jenis vertikal yang berperan sebagai kipas hisap. Turbin ventilator menggunakan tenaga angin tidak seperti kipas ventilasi yang menggunakan listrik sebagai penggerak (Padmika et al., 2017). Turbin tersebut akan terhubung dengan generator agar dapat mengubah energi mekanik tersebut menjadi energi listrik. Energi listrik inilah yang nantinya dapat dimanfaatkan guna memenuhi kebutuhan listrik. Untuk mengetahui berapa daya listrik yang dihasilkan dari turbin angin dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Nurdiyanto, 2020).

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (1)$$

Keterangan:

P	=	Daya Listrik (Watt),
ρ	=	Massa jenis udara (kg/m^3),
A	=	Luas penampang turbin (m^2),
v	=	Kecepatan angin (m/s).

1.2 Rumusan masalah

Rumusan permasalahan mengacu dari latar belakang diatas yaitu:

1. Bagaimana perancangan sistem pembangkit listrik energi terbarukan dengan tenaga angin menggunakan turbin ventilator.
2. Bagaimana kecepatan angin mempengaruhi besaran listrik yang dihasilkan.
3. Bagaimana waktu dan cuaca mempengaruhi besaran listrik yang dihasilkan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini diantaranya adalah:

1. Merancang suatu sistem pembangkit listrik energi terbarukan dengan tenaga angin menggunakan turbin ventilator.
2. Menganalisis pengaruh kecepatan angin terhadap besaran listrik yang dihasilkan.
3. Menganalisis pengaruh waktu dan cuaca terhadap besaran listrik yang dihasilkan.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan-batasan permasalahan, yaitu meliputi:

1. Pembuatan sitem pembangkit listrik energi terbarukan dengan tenaga angin dengan turbin ventilator.
2. Mengetahui nilai-nilai besaran listrik yang dihasilkan dari perbedaan kecepatan angin.
3. Mengetahui nilai-nilai besaran listrik yang dihasilkan dari perbedaan waktu dan cuaca.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dihasilkan melalui penelitian kali ini diantaranya adalah:

1. Untuk mengembangkan pemanfaatan energi angin sebagai pembangkit listrik.
2. Sebagai pertimbangan dalam pembangunan pembangkit listrik dari sumber energi terbarukan.

2. METODE

2.1 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan-tahapan dalam pelaksanaan penelitian untuk tugas akhir kali ini, yaitu:

2.1.1 Pengukuran Potensi Angin

Melakukan pengukuran kecepatan angin untuk mengetahui apakah tempat tersebut memiliki potensi angin yang cukup untuk melakukan pengujian alat.

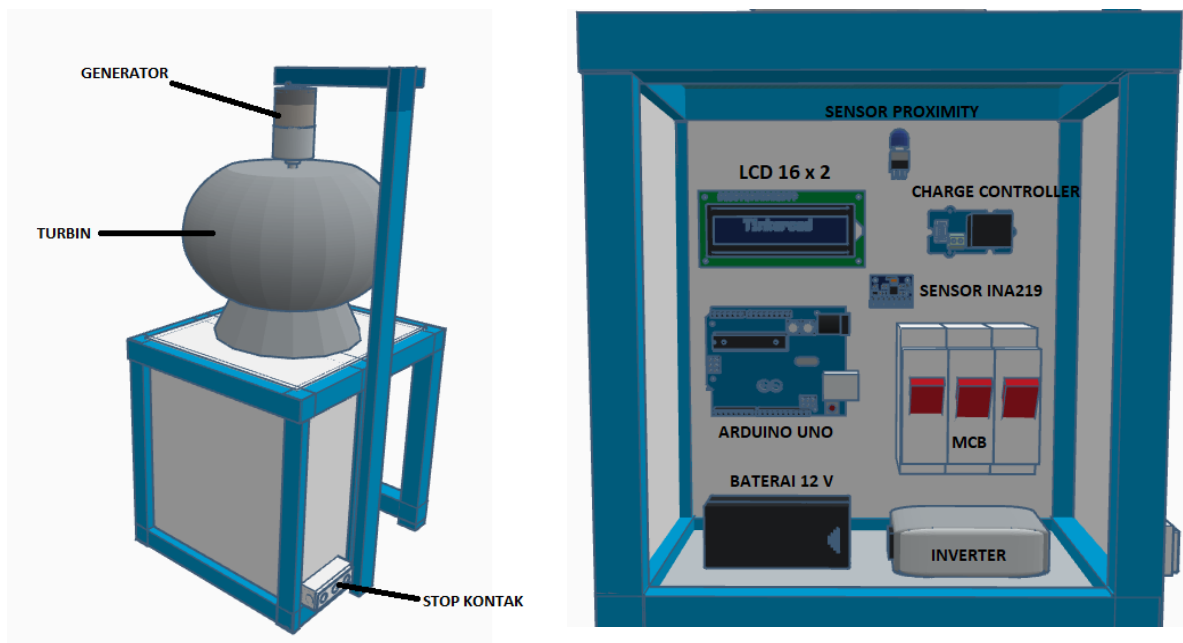
2.1.2 Studi Literatur

Melakukan studi literatur dengan sumber dari jurnal-jurnal ilmiah maupun penelitian-penelitian terdahulu sebagai referensi sebelum melakukan penelitian.

2.1.3 Perancangan Alat

Mendesain alat yang akan dibuat pada penelitian berdasarkan studi literatur dan pengukuran kecepatan angin yang telah dilakukan menggunakan *software* desain.

a. Desain Alat

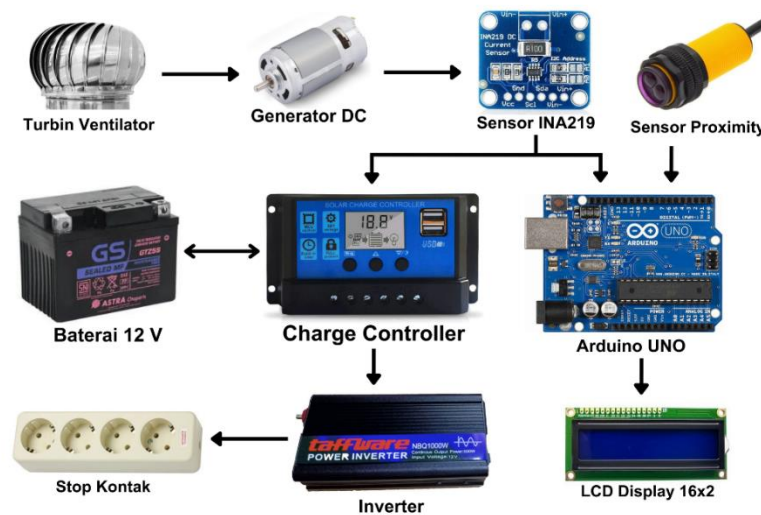


Gambar 1. Desain Alat

b. Prinsip Kerja Alat

Pada saat terdapat angin yang bertiup maka akan ditangkap oleh turbin ventilator dan turbin ventilator pun akan berputar. Turbin ventilator terhubung dengan generator, jadi pada saat turbin ventilator berputar maka *shaft* generator juga akan berputar. Generator akan mengkonversi energi mekanik ini menjadi energi listrik. Pada saat generator menghasilkan energi listrik akan disimpan pada sebuah

baterai. Energi listrik yang dihasilkan akan diukur oleh sensor INA219 kemudian besaran-besarnya ditampilkan pada LCD 16x2. Energi listrik tersebut dapat digunakan untuk menyuplai beban AC 220V. Cara kerja alat digambarkan dalam Diagram Blok pada Gambar 2. berikut:



2.1.4 Pembuatan Alat

Proses pembuatan alat sesuai dengan yang telah dirancang meliputi desain, spesifikasi bahan, dan prinsip kerja. Adapun bahan dan alat yang nantinya akan dipergunakan dalam penelitian tugas akhir kali ini meliputi:

a. Alat :

- Anemometer
Pengukuran kecepatan angin di lokasi pengujian alat dilakukan menggunakan Anemometer.
- Multimeter
Multimeter difungsikan untuk mengukur besaran listrik yang dihasilkan oleh alat (arus dan tegangan).
- Tachometer
Kecepatan putar turbin ventilator dapat diukur dengan tachometer.

b. Bahan :

- Turbin Ventilator
Turbin ventilator sebagai turbin yang akan menangkap energi angin.

- **Sensor Arus INA219**
Sensor INA219 berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur besaran listrik pada suatu rangkaian, diantaranya adalah mengukur arus, tegangan, dan daya.
- **Sensor *Proximity***
Sensor *proximity* dapat mendeteksi suatu benda pada jarak tertentu. Pada penelitian ini sensor *proximity* difungsikan untuk mengukur kecepatan putar turbin.
- **Arduino UNO**
Arduino UNO merupakan suatu mikrokontroler yang cukup sederhana. Dalam penelitian ini Arduino UNO difungsikan sebagai pengolah data yang dibaca oleh sensor INA219 dan sensor *proximity* sesuai program yang telah ditentukan, serta untuk mengirim data ke LCD 16x2.
- **LCD 16x2**
LCD 16x2 berfungsi sebagai *interface* dengan menerima dan menampilkan data yang dikirim oleh Arduino UNO.
- **Generator DC**
Generator difungsikan untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik.
- ***Charger Controller***
Charger controller digunakan untuk pengaman agar baterai tidak mengalami *over charge*.
- **Baterai**
Baterai menjadi tempat penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh generator.
- **Inverter**
Inverter digunakan untuk mengubah arus listrik DC menjadi AC.
- **Stop Kontak 220 V**
Stop kontak berfungsi sebagai penghubung dengan beban yang memerlukan arus listrik AC.

2.1.5 Pengujian Alat

Melakukan pengujian dan pengamatan pada alat yang telah dibuat. Pengujian dilakukan di lokasi yang telah ditentukan sebelumnya yaitu Gedung Fakultas

Kedokteran Lantai 7 Universitas Muhammadiyah Surakarta. Jika pada saat pengujian terdapat *error* maka alat akan melalui perbaikan terlebih dahulu. Jika alat telah siap maka akan dilakukan pengujian ulang hingga tidak terdapat *error*.

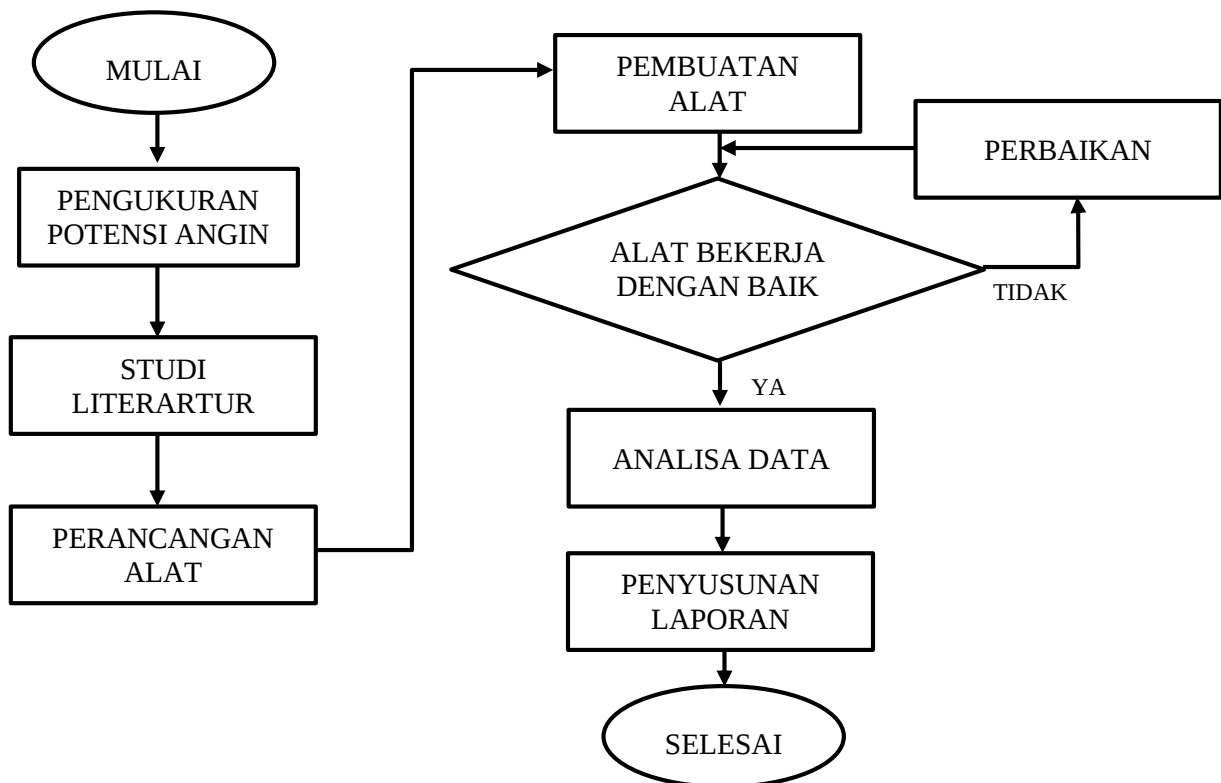
2.1.6 Analisa Data

Menganalisa data pengukuran yang didapat dari pengujian selama 14 hari mengenai produksi energi, kecepatan angin, kecepatan putar turbin, tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan selama pengujian.

2.1.7 Penyusunan Laporan

Pembuatan laporan/naskah publikasi dan kesimpulan dari hasil penelitian, pengamatan, dan pengujian yang telah dilakukan di lokasi pengujian yaitu Gedung Fakultas Kedokteran Lantai 7 Universitas Muhammadiyah Surakarta.

2.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Tahapan-Tahapan Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Spesifikasi Bahan

3.1.1 Turbin Ventilator

Lebar : 43 cm

Tinggi : 30 cm
Kecepatan Angin : 3,2 – 16 m/s
Volume Udara : 298 – 1100 CMH



Gambar 4. Turbin Ventilator

3.1.2 Generator DC

Panjang ; Lebar ; Tinggi : 10 cm ; 5 cm ; 5 cm
Kecepatan Maks. : 3000 rpm
Daya Maksimal : 30 Watt
Tegangan Output : 13 Volt (120 rpm)



Gambar 5. Generator DC

3.1.3 Charge Controller

- *Charge Controller I*
Arus Maks : 10 Ampere
Tegangan Kerja : 12/24 Volt

- *Charge Controller II*
Tegangan Kerja : 10 Volt



Gambar 6. *Charge Controller I*



Gambar 7. *Charge Controller II*

3.1.4 Baterai

- Baterai I
Tegangan : 12 Volt
Kapasitas : 5 Ah
- Baterai II
Tegangan : 7,4 Volt
Kapasitas : 2 Ah



Gambar 8. Baterai 12 Volt 5 Ah



Gambar 9. Baterai 7,4 Volt 2 Ah

3.1.5 Inverter

Kapasitas : 800 Watt

Tegangan : 12 Volt DC menjadi 220 Volt AC



Gambar 10. Inverter

3.1.6 Arduino UNO

Mikrokontroler : ATmega 328

Tegangan Pengoperasian : 5 Volt

Tegangan *Input* disarankan : 7 – 12 Volt

Batas Tegangan *Input* : 6 – 20 Volt

Jumlah pin *I/O* Digital : 14 pin

Jumlah pin *Input* Analog : 6 pin

Arus DC tiap pin *I/O* : 40 mA

Arus DC pin 3,3 Volt : 50 mA

Memori *Flash* : 32 KB

SRAM : 2 KB (ATmega 328)

EPROM	: 1 KB (ATmega 328)
<i>Clock Speed</i>	: 16 MHz



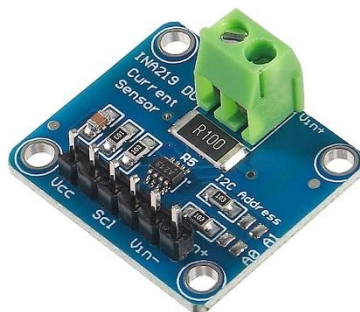
Gambar 11. Arduino UNO

3.1.7 Sensor

- Sensor INA219

Tegangan Terdeteksi Maksimal	: 26 Volt
Arus Terdeteksi Maksimal	: 3,2 Ampere
Tegangan <i>Input</i>	: 3 – 5 Volt
- Sensor *Proximity*

Tegangan <i>Input</i>	: 5 Volt
Arus <i>Input</i>	: 25 mA
Jarak Deteksi	: 3 – 80 cm



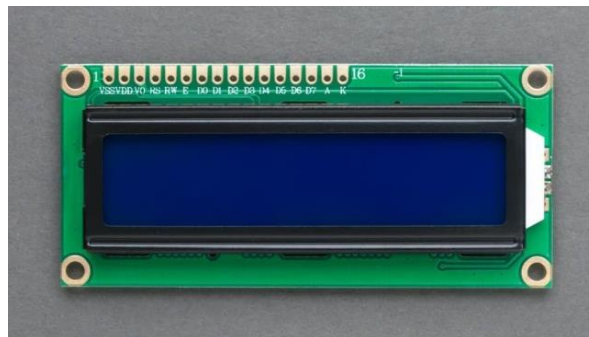
Gambar 12. Sensor INA219



Gambar 13. Sensor Proximity

3.1.8 LCD 16x2

Tegangan Kerja	: 5 Volt DC
Dimensi Modul	: 80 x 36 x 12 mm
Dimensi Layar	: 64,5 mm x 16 mm
Tampilan	: 2 baris 16 karakter, 5 x 8 <i>pixel</i>



Gambar 14. LCD 16x2

3.2 Hasil Pengujian

Pengujian alat dilakukan di Kampus 4 Gedung Fakultas Kedokteran Lantai 7 Universitas Muhammadiyah Surakarta pada tanggal 26 Mei 2023 – 18 Juni 2023. Pengujian dilakukan menggunakan 2 baterai yang berbeda yaitu baterai 12 Volt 5 Ah dan 7,4 Volt 2 Ah. Masing-masing baterai dilakukan pengujian selama 7 hari untuk mengetahui tegangan, arus, daya, kecepatan putar turbin, dan total energi yang dihasilkan. Hasil pengujian menggunakan baterai 12 Volt 5 Ah akan disajikan pada Tabel 1. Sedangkan hasil pengujian menggunakan baterai 7,4 Volt 2 Ah disajikan pada Tabel 2 berikut.

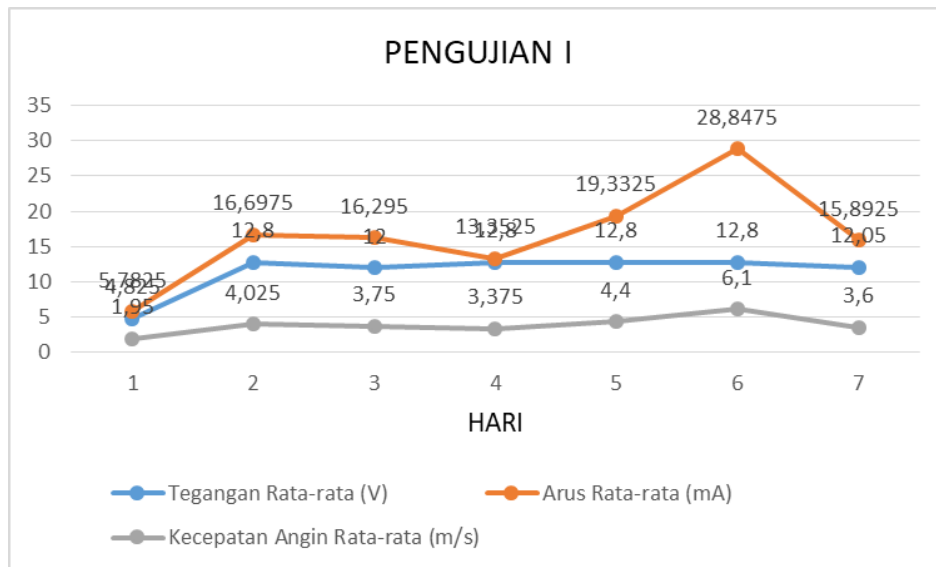
3.2.1 Tabel Hasil Pengujian

- Pengujian I (Baterai 12 Volt 5 Ah)

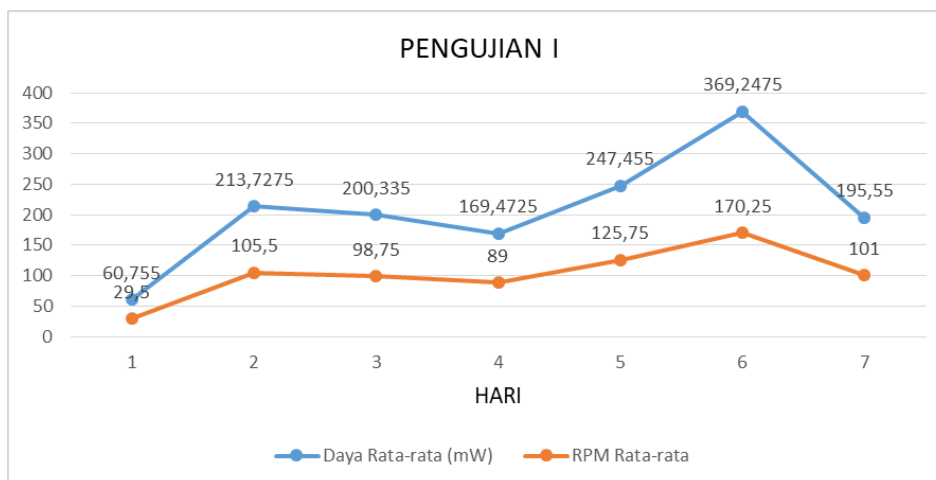
Tabel 1. Hasil Pengujian I

Jumat, 26 Mei 2023						
Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM	Energi (mWh)
09.00	2,5	6,5	8,42	54,73	28	0
13.30	0,9	0	0	0	0	17,79
16.00	1	0	0	0	0	30,37
19.30	3,4	12,8	14,71	188,29	90	128,13
Energi Akhir Dalam Sehari (mWh)						1070,12
Sabtu, 27 Mei 2023						
Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM	Energi (mWh)
09.00	3,8	12,8	15,43	197,5	98	0
13.30	4	12,8	17,41	222,85	109	173,68
16.00	5,2	12,8	22,45	287,36	140	672,64
19.30	3,1	12,8	11,5	147,2	75	1635,3
Energi Akhir Dalam Sehari (mWh)						3202,4
Minggu, 28 Mei 2023						
Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM	Energi (mWh)
09.00	3,4	12,8	15,2	194,56	93	0
13.30	4	12,8	18,53	237,18	115	524,2
16.00	3	9,6	10,3	98,88	55	815,07
19.30	4,6	12,8	21,15	270,72	132	1311,63
Energi Akhir Dalam Sehari (mWh)						1860,28
Senin, 29 Mei 2023						
Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM	Energi (mWh)
09.00	3,1	12,8	11,5	141,45	78	0
13.30	3,1	12,8	11,61	148,6	80	208,02

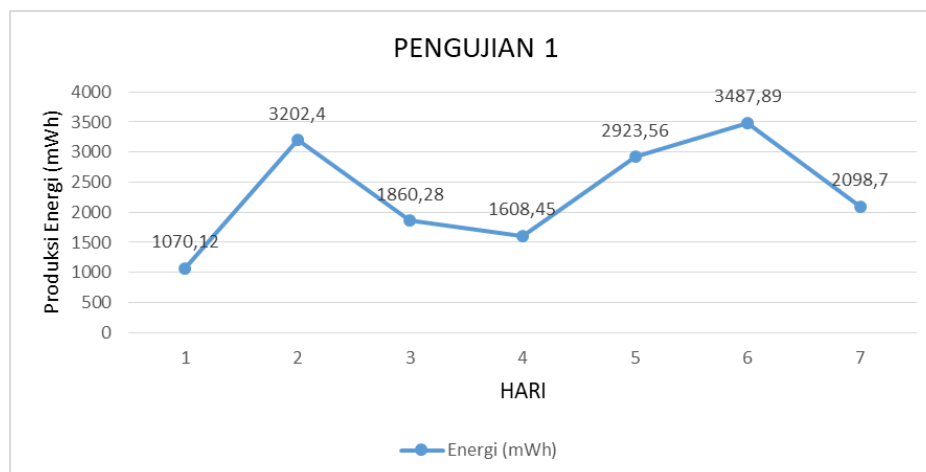
16.00	3,8	12,8	15,5	198,4	108	825,83
19.30	3,5	12,8	14,8	189,44	90	1075,8
Energi Akhir Dalam Sehari (mWh)						1608,45
Senin, 5 Juni 2023						
Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM	Energi (mWh)
09.00	3,5	12,8	15,3	195,84	95	0
13.30	4,6	12,8	19,6	250,88	127	242,03
16.00	5,5	12,8	23,34	298,75	164	691,44
19.30	4	12,8	19,09	244,35	117	1281,21
Energi Akhir Dalam Sehari (mWh)						2923,56
Selasa, 6 Juni 2023						
Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM	Energi (mWh)
09.00	4,2	12,8	20,12	257,54	118	0
13.30	5,2	12,8	26,53	339,58	144	445,25
16.00	8	12,8	36,3	464,64	227	941,88
19.30	7	12,8	32,44	415,23	192	1533,87
Energi Akhir Dalam Sehari (mWh)						3487,89
Rabu, 7 Juni 2023						
Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	RPM	Energi (mWh)
09.00	3	9,8	10,5	102,9	63	0
13.30	3,8	12,8	17,5	224	112	415,84
16.00	4	12,8	20,07	256,9	120	850,41
19.30	3,6	12,8	15,5	198,4	109	1411,25
Energi Akhir Dalam Sehari (mWh)						2098,7
Total Energi Yang Dihasilkan (mWh)						16251,4
Total Energi Yang Dihasilkan (Wh)						16,2514
Rata-Rata Energi Yang Dihasilkan Perhari (Wh)						2,321628571



Gambar 15. Grafik I Pengujian I



Gambar 16. Grafik II Pengujian I



Gambar 17. Grafik III Pengujian I

Pada pengujian pertama ini menggunakan komponen-komponen diantaranya : generator DC, *charge controller*, baterai 12 Volt 5 Ah, Arduino UNO, sensor INA219, sensor *proximity*, LCD 16x2, dan sebagai beban yang digunakan adalah inverter 12Volt DC - 220 Volt AC. Cara kerjanya adalah pada saat angin mengenai turbin, turbin akan berputar dan juga memutar *shaft* generator sehingga generator akan menghasilkan arus listrik. Arus listrik tersebut akan melewati sensor INA219 untuk diukur besar arus, tegangan, dan dayanya yang kemudian data pengukuran tersebut akan dikirim ke Arduino UNO untuk ditampilkan pada LCD 16x2. Sensor *proximity* berfungsi untuk mengukur kecepatan putar turbin dan data pengukurannya akan dikirim ke Arduino UNO dan ditampilkan pada LCD 16x2 juga. Arus yang dihasilkan oleh generator akan masuk ke *charge controller* untuk diatur sebelum digunakan untuk mengisi baterai. Arus DC pada baterai terhubung dengan inverter untuk diubah dari arus listrik DC menjadi Arus listrik AC 220 Volt. Sehingga dapat digunakan untuk menyuplai alat-alat elektronik rumahan.

Waktu pengujian dilakukan dalam 24 jam penuh selama 7 hari di Gedung Fakultas Kedokteran Lantai 7 Kampus 4 Universitas Muhammadiyah Surakarta. Berdasarkan dengan data hasil pengujian didapatkan bahwa produksi energi listrik terbesar terjadi pada hari ke-6 yaitu sebesar 3487,89 mWh. Kecepatan angin tertinggi pada hari tersebut adalah 8 m/s dengan kecepatan putar turbin 227 Rpm. Tegangan maksimal yang dihasilkan adalah 12,8 Volt dengan arus sebesar 36,3 mA dan daya sebesar 464,64 mWatt. Sedangkan produksi energi listrik terendah ada pada pengujian hari pertama dengan hanya menghasilkan 1070,12 mWh. Hal tersebut bisa terjadi karena faktor alam, dimana potensi energi angin pada hari tersebut tidak sebesar hari lainnya. Sehingga hal tersebut akan mempengaruhi juga energi listrik yang dihasilkan.

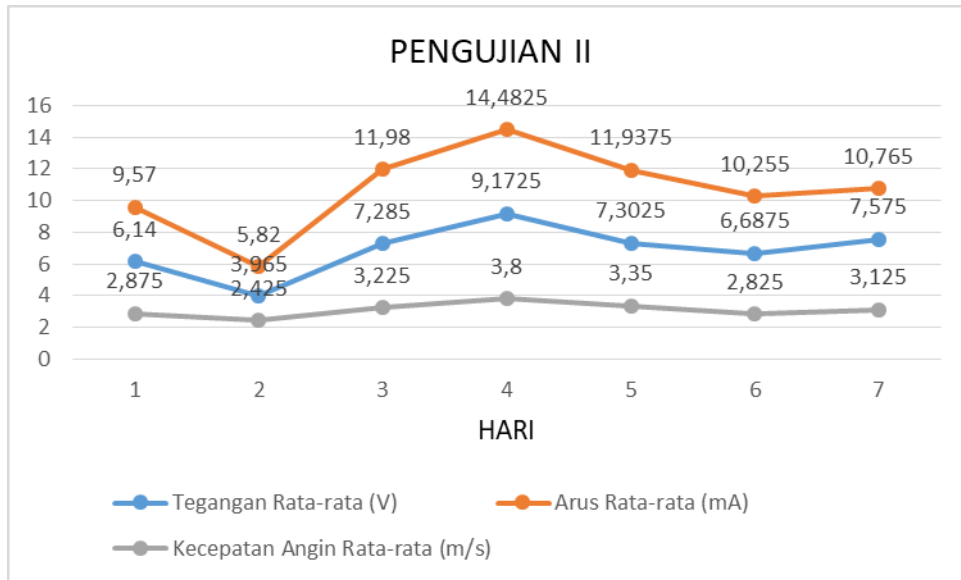
Kelemahan yang didapat dari pengujian ini adalah ada pada pengisian baterai. Baterai kurang dapat terisi karena arus dan tegangan yang diperlukan untuk pengisian cukup besar. Sedangkan arus dan tegangan yang dihasilkan oleh generator terbilang relatif kecil. Ditambah lagi baterai juga digunakan untuk menyuplai Arduino UNO, rangkaian sensor, serta LCD 16x2. Sehingga tegangan dari baterai cenderung turun karena *output* lebih besar daripada *input*.

- **Pengujian II (Baterai 7,4 Volt 2 Ah)**

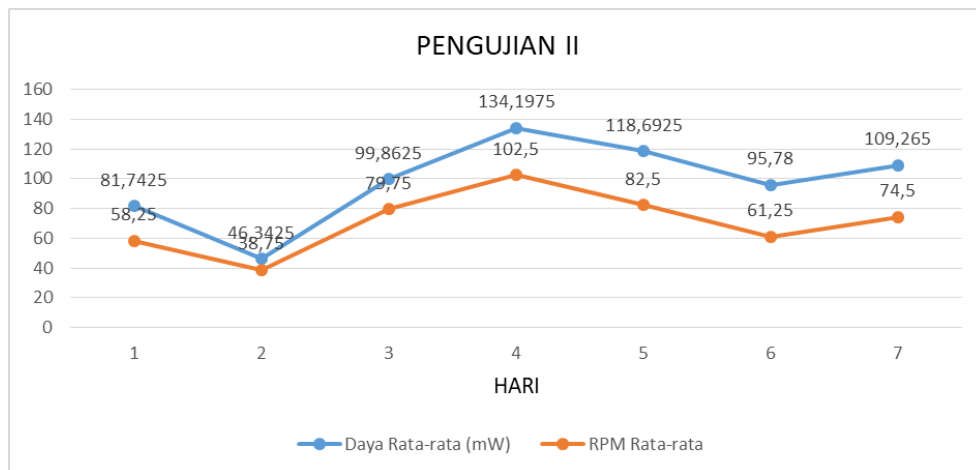
Tabel 2. Hasil Pengujian II

Senin, 12 Juni 2023						
Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	Rpm	Energi (mWh)
09.00	2,7	6,27	10,33	64,77	43	0
13.30	3,2	7,84	11,45	89,77	80	52,36
16.00	1,6	0	0	0	0	156,74
19.30	4	10,45	16,5	172,43	110	436,08
Energi Akhir Dalam Sehari (mWh)						963,11
Selasa, 13 Juni 2023						
Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	Rpm	Energi (mWh)
09.00	3	7,25	11,08	80,33	63	0
13.30	1,8	0	0	0	0	41,29
16.00	1,5	0	0	0	0	65,36
19.30	3,4	8,61	12,2	105,04	92	287,89
Energi Akhir Dalam Sehari (mWh)						812,5
Rabu, 14 Juni 2023						
Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	Rpm	Energi (mWh)
09.00	2	2,31	5,58	12,89	23	0
13.30	3,6	8,78	14,08	123,62	98	63,77
16.00	3,1	7,6	11,36	86,34	78	185,23
19.30	4,2	10,45	16,9	176,6	120	461,12
Energi Akhir Dalam Sehari (mWh)						921,45
Kamis, 15 Juni 2023						
Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	Rpm	Energi (mWh)
09.00	3,3	8,54	12,2	104,19	90	0
13.30	3,6	8,85	14,15	125,23	100	93,55
16.00	4,5	10,45	17,43	182,14	122	225,38

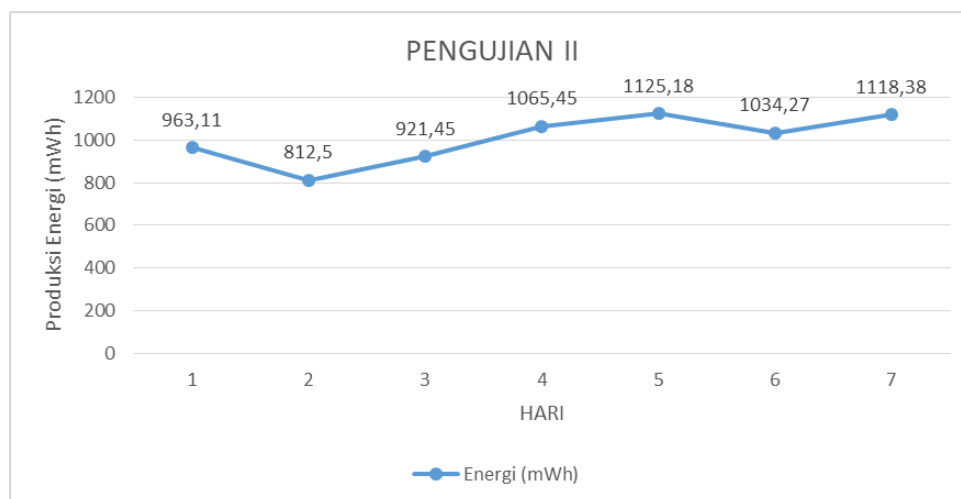
19.30	3,8	8,85	14,15	125,23	98	512,31
Energi Akhir Dalam Sehari (mWh)						1065,45
Jumat, 16 Juni 2023						
Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	Rpm	Energi (mWh)
09.00	1,8	0	0	0	0	0
13.30	3,2	8,31	12,15	100,97	85	62,38
16.00	3,6	10,45	16,65	174,82	110	197,89
19.30	4,8	10,45	18,95	198,98	135	525,77
Energi Akhir Dalam Sehari (mWh)						1125,18
Sabtu, 17 Juni 2023						
Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	Rpm	Energi (mWh)
09.00	2,5	6,15	9,5	58,42	30	0
13.30	1,8	0	0	0	0	45,23
16.00	3,5	10,2	15,55	158,61	105	105,89
19.30	3,5	10,4	15,97	166,09	110	455,71
Energi Akhir Dalam Sehari (mWh)						1034,27
Minggu, 18 Juni 2023						
Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	Rpm	Energi (mWh)
09.00	3,1	9,8	10,5	102,9	75	0
13.30	3,8	10,05	15,21	152,86	103	50,76
16.00	4	10,45	17,35	181,3	120	488,79
19.30	1,6	0	0	0	0	528,3
Energi Akhir Dalam Sehari (mWh)						1118,38
Total Energi Yang Dihasilkan (mWh)						7040,34
Total Energi Yang Dihasilkan (Wh)						7,04034
Rata-Rata Energi Yang Dihasilkan Perhari (Wh)						1,005762857



Gambar 18. Grafik I Pengujian II



Gambar 19. Grafik II Pengujian II



Gambar 20. Grafik III Pengujian II

Pada pengujian kedua ini menggunakan komponen-komponen diantaranya : generator DC, *charge controller*, baterai 7,4 Volt 2 Ah, Arduino UNO, sensor INA219, sensor *proximity*, LCD 16x2, dan sebagai beban yang digunakan adalah 3 buah lampu 12 Volt DC 3 Watt. Cara kerjanya adalah pada saat angin mengenai turbin, turbin akan berputar dan juga memutar *shaft* generator sehingga generator akan menghasilkan arus listrik. Sensor *proximity* berfungsi untuk mengukur kecepatan putar turbin dan data pengukurannya akan dikirim ke Arduino UNO dan ditampilkan pada LCD 16x2. Arus listrik yang dihasilkan generator akan melewati sensor INA219 untuk diukur besar arus, tegangan, dan dayanya yang kemudian data pengukuran tersebut akan dikirim ke Arduino UNO untuk ditampilkan pada LCD 16x2 juga. Arus tersebut akan masuk ke *charge controller* untuk diatur sebelum digunakan untuk mengisi baterai. Arus DC pada baterai digunakan untuk menyalakan 3 buah lampu 12 Volt DC 3 Watt.

Waktu pengujian dilakukan dalam 24 jam penuh selama 7 hari di Gedung Fakultas Kedokteran Lantai 7 Kampus 4 Universitas Muhammadiyah Surakarta. Berdasarkan dengan data hasil pengujian didapatkan bahwa produksi energi listrik terbesar terjadi pada hari ke-5 yaitu sebesar 1125,18 mWh. Kecepatan angin tertinggi pada hari tersebut adalah 4,8 m/s dengan kecepatan putar turbin 135 Rpm. Tegangan maksimal yang dihasilkan adalah 10,45 Volt dengan arus sebesar 18,95 mA dan daya sebesar 198,98 mWatt. Sedangkan produksi energi listrik terendah ada pada pengujian hari ke-2 dengan hanya menghasilkan 812,5 mWh. Salah satu penyebabnya adalah perbedaan potensi energi angin di hari itu lebih kecil dibandingkan dengan hari lainnya, maka akan mempengaruhi produksi energi listrik.

Selain itu, produksi energi harian pada pengujian kedua lebih kecil jika dibandingkan dengan produksi energi harian pada pengujian pertama. Hal tersebut bisa terjadi karena beberapa faktor. Pertama adalah komponen yang digunakan. Rangkaian dengan baterai 7,4 Volt akan mempengaruhi tegangan yang masuk ke *charge controller* menjadi mendekati tegangan baterai, sehingga tegangan dan arus yang terukur tidak sebesar saat menggunakan baterai 12 Volt. Faktor kedua yaitu faktor alam. Potensi energi angin pada waktu pengujian kedua tidak sebesar saat pengujian pertama. Hal itu dapat dilihat dari rata-rata kecepatan angin pada grafik Gambar 15 dan Gambar 18. Sehingga hal tersebut mempengaruhi produksi energi listrik dalam tiap harinya. Namun dengan menggunakan rangkaian baterai 7,4 Volt pengisian menjadi lebih mudah karena tegangan yang diperlukan tidak sebesar saat menggunakan baterai 12 Volt.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil pengujian selama 14 hari dari penelitian kali ini dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Produksi energi listrik harian tertinggi pada pengujian pertama adalah pada hari ke-6 tanggal 6 Juni 2023 yaitu sebesar 3487,89 mWh. Sedangkan produksi energi listrik harian terendah pengujian pertama ada pada hari pertama tanggal 26 Mei 2023 sebesar 1070,12 mWh.
2. Produksi energi listrik harian tertinggi pada pengujian kedua adalah pada hari ke-5 tanggal 16 Juni 2023 yaitu sebesar 1125,18 mWh. Sedangkan produksi energi listrik harian terendah pengujian kedua ada pada hari ke-2 tanggal 13 Mei 2023 sebesar 812,5 mWh.
3. Total energi listrik yang dihasilkan dari pengujian pertama adalah sebesar 16,25 Wh dengan rata-rata produksi perhari adalah 2,32 Wh.
4. Total energi listrik yang dihasilkan dari pengujian kedua adalah sebesar 7,04 Wh dengan rata-rata produksi perhari adalah 1,005 Wh.
5. Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produksi daya listrik yang dihasilkan antara lain :
 - Meningkatkan kecepatan putar generator menggunakan gearbox
 - Memperbesar ukuran penampang turbin agar angin yang ditangkap lebih banyak dan torsi untuk memutar generator lebih kuat
 - Mengganti kawat kumparan generator dengan kawat berdiameter lebih besar agar arus yang dihasilkan lebih besar juga

PERSANTUNAN

Puji dan syukur tak henti penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Karunia-Nya karena atas izin-Nya lah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Ventilator”.

Penyusunan Tugas Akhir ini ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta. Dalam penyusunannya, penulis menyadari Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, karena didalamnya masih terdapat banyak kekurangan. Hal ini karena keterbatasan yang dimiliki oleh penulis baik dalam segi kemampuan, pengetahuan serta pengalaman penulis. Oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun agar dalam penyusunan karya tulis selanjutnya dapat menjadi lebih baik.

Proses penyusunan Tugas Akhir ini banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan, bimbingan, kerjasama dari berbagai pihak baik moral maupun materi, akhirnya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, diantaranya yaitu kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Karunia-Nya karena atas izin-Nya lah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Diri penulis sendiri karena telah berjuang dengan segala kemampuan, kesabaran, dan kekuatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Kedua orang tua dan seluruh keluarga yang senantiasa mendukung, mendoakan, dan memotivasi penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Hasyim Asy'ari, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dengan sabar dan selalu memberi masukan yang membangun sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak/Ibu Dosen Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberikan ilmunya di perkuliahan sebagai bekal dalam penyusunan Tugas Akhir.
6. Semua teman-teman di perkuliahan khususnya Muhasabah Diri yang telah saling mendukung, membantu, dan bertukar pikiran baik dalam hal Tugas Akhir maupun perkuliahan.
7. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, M., Harahap, P., & Nasution, M. R. (2019). Energi listrik menjadi sebuah kebutuhan utama yang digunakan oleh manusia. Secara nasional kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk, akan tetapi laju kebutuhan energi yang sangat cepat tersebut tidak diimbangi deng. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 2(1), 30–36. jurnal.umsu.ac.id/index.php/RELE/article/view/3648/3993%0D
- Ahmed, S. D., Al-Ismail, F. S. M., Shafiullah, M., Al-Sulaiman, F. A., & El-Amin, I. M. (2020). Grid Integration Challenges of Wind Energy: A Review. *IEEE Access*, 8(type 1), 10857–10878. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2964896>
- Al-dousari, A., Al-nassar, W., Al-hemoud, A., Alsaleh, A., & Ramadan, A. (2019). *US*.
- Leiren, M. D., Aakre, S., Linnerud, K., Julsrud, T. E., Di Nucci, M. R., & Krug, M. (2020). Community acceptance of wind energy developments: Experience from wind energy scarce regions in Europe. *Sustainability (Switzerland)*, 12(5), 18–20. <https://doi.org/10.3390/su12051754>
- Nurdiyanto, A. (2020). Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Angin Savonius. *Jurnal Teknik Elektro*, 09(01), 711–717. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/download/29892/27395>
- Otong, M., & Bajuri, R. M. (2017). Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Buck-Boost Converter. *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 5(2), 103. <https://doi.org/10.36055/setrum.v5i2.1563>
- Padmika, M., Satriya Wibawa, I. M., & Trisnawati, N. L. P. (2017). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Turbin Ventilator Sebagai Penggerak Generator. *Buletin Fisika*, 18(2), 68. <https://doi.org/10.24843/bf.2017.v18.i02.p05>
- Suryadi, A., Asmoro, P. T., & Raihan, R. (2019). Pemanfaatan Turbin Ventilator sebagai Pembangkit Listrik Alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Teknoka*, 4(January). <https://doi.org/10.22236/teknoka.v4i0.4124>
- Watson, S. (2014). Quantifying the variability of wind energy. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 3(4), 330–342. <https://doi.org/10.1002/wene.95>
- Willis, D. J., Niezrecki, C., Kuchma, D., Hines, E., Arwade, S. R., Barthelmie, R. J., DiPaola, M., Drane, P. J., Hansen, C. J., Inalpolat, M., Mack, J. H., Myers, A. T., & Rotea, M. (2018). Wind energy research: State-of-the-art and future research directions. *Renewable Energy*, 125, 133–154. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.049>