

**PEMANFAATAN TURBIN ANGIN TIPE *CYCLONE TURBINE*
VENTILATOR UNTUK PENGECASAN AKI DENGAN MENGGUNAKAN
PRINSIP TRANSMISI RODA TIPE *SPUR GEAR***

Skripsi

Oleh

Rizky Esa Ramadhan



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PEMANFAATAN TURBIN ANGIN TIPE *CYCLONE TURBINE VENTILATOR* UNTUK PENGECCASAN AKI DENGAN MENGGUNAKAN PRINSIP TRANSMISI RODA TIPE *SPUR GEAR*

Oleh

RIZKY ESA RAMADHAN

Telah dilakukan penelitian pemanfaatan turbin angin tipe cyclone turbine ventilator untuk pengecasan aki dengan menggunakan prinsip transmisi roda tipe spur gear. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan pengaruh kecepatan angin terhadap kecepatan turbin, mengetahui hubungan variasi perbandingan rasio jumlah gigi gear driven dalam mentransmisikan kecepatan turbin ke generator untuk pengecasan aki dan mengetahui efisiensi yang dapat dihasilkan oleh turbin angin tipe cyclone dalam mengkonversi energi terbarukan angin menjadi energi listrik. Jumlah rasio gigi gear driven yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 10 gigi, 15 gigi, dan 20 gigi. Penelitian dilakukan di Pantai Tanjung Tua, Bakauheni, Lampung Selatan pada hari Minggu, 08 Januari 2023 dimulai pukul 12:00 WIB sampai dengan pukul 15:00 WIB. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa total peningkatan tegangan aki selama 3 jam dilakukan pengecasan menggunakan ketiga rasio gear driven secara bergantian adalah sebesar 5 V. Efisiensi turbin tertinggi dalam mengkonversi energi terbarukan angin menjadi energi listrik tercapai sebesar 1,843% pada saat menggunakan gear driven dengan rasio gigi 10.

Kata Kunci : *Turbin, Cyclone, Aki, Spur Gear*

ABSTRACT

UTILIZATION OF CYCLONE TURBINE VENTILATOR TYPE WIND TURBINE FOR BATTERY CHARGING USING SPUR GEAR TRANSMISSION PRINCIPLE

By

RIZKY ESA RAMADHAN

Research has been conducted on the utilization of cyclone turbine ventilator for charging batteries using the principle of transmission through spur gear wheels. The purpose of this research is to determine the relationship between wind speed and turbine speed, to investigate the relationship between variations in the ratio of the number of driven gear teeth in transmitting turbine speed to the generator for battery charging, and to determine the efficiency that can be achieved by cyclone wind turbines in converting renewable wind energy into electrical energy. The number of driven gear ratios used in this research are 10 teeth, 15 teeth, and 20 teeth. The research was conducted on Sunday, January 8th, 2023, from 12:00 PM to 3:00 PM at Tanjung Tua Beach, Bakauheni, South Lampung. Based on the research results, it was found that the total increase in battery voltage during 3 hours of charging using all three gear ratios alternately was 5 V. The highest turbine efficiency in converting renewable wind energy into electrical energy was achieved at 1.843% when using the gear driven with a 10-tooth gear ratio.

Keywords : *Turbine, Cyclone, Battery, Spur Gear*

**PEMANFAATAN TURBIN ANGIN TIPE *CYCLONE TURBINE*
VENTILATOR UNTUK PENGECCASAN AKI DENGAN MENGGUNAKAN
PRINSIP TRANSMISI RODA TIPE *SPUR GEAR***

Oleh

RIZKY ESA RAMADHAN

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **PEMANFAATAN TURBIN ANGIN TIPE
CYCLONE TURBINE VENTILATOR UNTUK
PENGECASAN AKI DENGAN
MENGUNAKAN PRINSIP TRANSMISI
RODA TIPE SPUR GEAR**

Nama Mahasiswa : **Rieky Esa Ramadhan**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1817041017**

Program Studi : **Fisika**

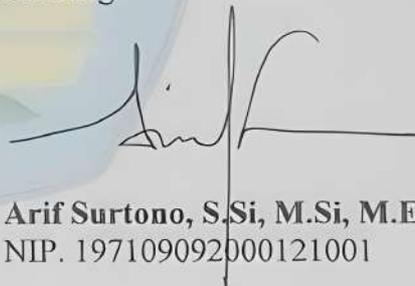
Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

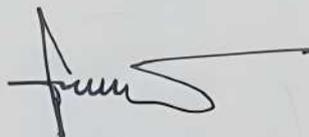


Drs. Amir Supriyanto, M.Si.
NIP. 196504071991111001



Arif Surtono, S.Si, M.Si, M.Eng.
NIP. 197109092000121001

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA



Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 198010102005011002

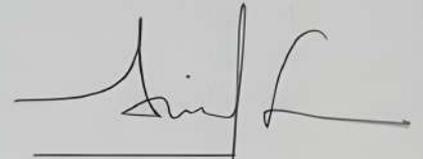
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Drs. Amir Supriyanto, M.Si.



Sekretaris : Arif Surtono, S.Si, M.Si, M.Eng.



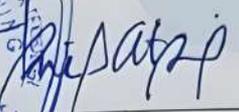
Penguji Bukan Pembimbing : Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 19 Mei 2023

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 19 Mei 2023



Rizky Esa Ramadhan
NPM. 1817041017

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Rizky Esa Ramadhan dilahirkan pada tanggal 09 Desember 2000 di Jakarta. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Bambang Supriatna dan Ibu Apriani.

Penulis menyelesaikan Pendidikan di SDN 02 Cibarusah pada tahun 2012, SMPN 1 Cibarusah tahun 2015, SMAN 1 Cibarusah tahun 2018. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN pada tahun 2018. Selama menempuh pendidikan, penulis tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai anggota sebagai anggota Sosial Masyarakat (Sosmas) periode 2020-2021.

Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di BPPT Pusat Teknologi dan Elektronika (PTE) Kota Tangerang pada tahun 2021 dan menyelesaikan laporan PKL dengan judul “Rancang Bangun Konfigurasi Pengoperasian Motor *Brushless* DC pada *Electric Vehicle*”. Penulis pernah melakukan pengabdian masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2021 di Kel. Kota Baru, Kec. Bekasi Barat, Kot. Bekasi. Penulis pernah menjadi Koordinator Perlengkapan Panitia Karya Wisata Ilmiah (KWI) ke-30 pada tahun 2019, lalu penulis juga pernah menjadi Asisten Praktikum dari Mata Kuliah Elektronika Dasar II pada tahun 2021, dan menjadi Koordinator Asisten Praktikum

dari Mata Kuliah Elektronika pada tahun 2022. Penulis juga menyelesaikan penelitian skripsi di Jurusan Fisika dengan Judul “**Pemanfaatan Turbin Angin Tipe Cyclone Turbine Ventilator untuk Pengecasan Aki dengan Menggunakan Prinsip Transmisi Roda Tipe Spur Gear**”

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur kepada Allah SWT, skripsi ini ku persembahkan kepada

Bapak Bambang Supriatna dan Ibu Apriani

Kedua orang tuaku yang telah membesarkan, mendidik,
mendukung, mendoakan, dan menjadi motivasiku selama ini

Adikku Ikhsan Dwisetia Ramadhan serta Keluarga

Selalu memberi semangat dan dorongan kepada penulis

Bapak/Ibu Guru dan Bapak/Ibu Dosen

Terima kasih atas bekal ilmu pengetahuan dan budi pekerti
yang telah membuka hati dan wawasanaku

Para sahabat dan teman-teman seperjuangan Fisika FMIPA Unila 2018

Terima kasih atas kebaikan dan kebersamaan yang kita lalui

Serta almamater tercinta

“Universitas Lampung”

MOTTO

Semua Kilauan Itu Bukanlah Selalu Tentang Emas
(SpongeBob Squarepants)

Hanya Orang Kebingungan Saja yang Peduli Pada Pendapat
Kritikus
(Squidward Tentacles)

Pemujaan yang Berlebihan itu Tidak Sehat
(Patrick Star)

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pemanfaatan Turbin Angin Tipe *Cyclone Turbine Ventilator* untuk Pengecasan Aki dengan Menggunakan Prinsip Transmisi Roda Tipe *Spur Gear*”**.

Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Penekanan dalam skripsi ini adalah pembuatan dan pemanfaatan turbin angin tipe *cyclone turbine ventilator* untuk mengelola sumber energi terbarukan angin menjadi energi listrik dan pengecasan aki dengan variasi pada rasio jumlah gigi *gear driven* pada *spur gear*.

Penulis menyadari bahwa penyajian skripsi ini masih banyak kekurangan dalam penulisan maupun referensi data. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menjadi rujukan untuk penelitian berikutnya agar lebih sempurna.

Bandar Lampung, April 2023

Penulis

SANWACANA

Alhamdulillah puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul “**Pemanfaatan Turbin Angin Tipe *Cyclone Turbine Ventilator* untuk Pengecasan Aki dengan Menggunakan Prinsip Transmisi Roda Tipe *Spur Gear*”**”.

Penulis menyadari bahwa dalam melakukan penelitian tidak lepas dan dukungan, bimbingan, motivasi serta do'a dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang senantiasa memberikan bimbingan, saran, motivasi serta ilmunya selama penulisan skripsi.
2. Bapak Arif Surtono, S.Si, M.Si, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa memberi saran, masukan, dan motivasi dalam penulisan skripsi ini
3. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Kepala Jurusan serta Dosen Penguji yang telah memberi evaluasi dan masukan kepada penulis dalam penulisan skripsi.
4. Seluruh Staf UPT (BMKG) Stasiun Metereologi Maritim Lampung yang telah memberikan data dan informasi agar dapat digunakan sebagai bahan referensi dalam penulisan skripsi ini.

5. Bapak Dr. rer.nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik atas bimbingannya serta saran kepada penulis selama masa kuliah.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
7. Seluruh Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung, yang sudah memberikan banyak ilmu serta pengalaman kepada penulis selama masa kuliah.
8. Seluruh Staf dan karyawan Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah membantu administrasi penulis selama masa kuliah.
9. Kedua orang tuaku Bapak Bambang Supriatna dan Ibu Apriani yang selalu memberikan kasih sayang, membesarkan, mendidik dan bersama adikku Ikhsan Dwisetia Ramadhan yang selalu mendoakanku hingga sampai saat ini.
10. Mei Suryani sebagai sahabat terdekat yang selalu memberi semangat, dukungan dan motivasi, serta menjadi tempat diskusi yang baik bagi penulis.
11. Teman-teman dekat, Septian Priambodo, Herlambang Sihombing, I Made Agus Rianta, Raihan Irvana, Rizki Dwi Aptiant Putra, Ramadhani A, Dendi Rosandi, Hauzan Khoirullah, dan Adrian Reza yang selalu memberi motivasi dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
12. Teman-teman seperjuangan Fisika 2018, kakak serta adik tingkat yang telah membantu dan memberikan semangat dalam proses menyelesaikan tugas akhir.
13. Serta semua pihak yang tidak penulis cantumkan, yang telah memberikan bantuan moril maupun materiil kepada penulis.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan dan senantiasa memberi rahmat serta hidayah-Nya kepada kita. Aamiin.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xx
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	7

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait	8
2.2 Energi Alternatif Angin.....	11
2.3 Sistem Konversi Angin (SKEA)	14
2.4 Turbin Angin.....	14
2.5 Jenis-Jenis Turbin Angin.....	17
2.5.1 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)	18
2.5.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)	19
2.6 Turbin Ventilator.....	20
2.7 Generator	21
2.8 Sistem Transmisi.....	23
2.8.1 Kombinasi Roda Gigi.....	25
2.8.2 Perbandingan Gigi.....	27
2.8.3 Perhitungan Putaran Output Rpm.....	29
2.8.4 Perhitungan Torsi	29
2.9 Hubungan Roda-Roda.....	31
2.9.1 Hubungan roda-roda seporos	31
2.9.2 Hubungan roda-roda saling bersinggungan	32
2.9.3 Hubungan roda-roda yang dihubungkan dengan tali, sabuk atau rantai.....	34
2.10 Kecepatan Angin di Lampung	35

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	38
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	38
3.3 Prosedur Penelitian	39
3.3.1 Tahap 1.....	42
3.3.2 Tahap 2.....	42
3.3.3 Tahap 3.....	48
3.4 Rancangan Data Hasil Penelitian.....	50
3.5 Rancangan Analisis Data Hasil Penelitian.....	51
3.6 Metode Analisis	54

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan	57
5.2 Saran.....	58

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Bentuk modifikasi poros turbin	9
Gambar 2.2 Posisi <i>pulley</i> , dinamo dan sabuk	9
Gambar 2.3 Sistem gear <i>pulley</i>	10
Gambar 2.4 Contoh aki sebagai penyimpan energi	17
Gambar 2.5 Turbin angin sumbu vertikal	19
Gambar 2.6 Turbin angin sumbu horizontal	20
Gambar 2.7 Turbin ventilator	20
Gambar 2.8 Prinsip kerja turbin ventilator	21
Gambar 2.9 Cara kerja generator	23
Gambar 2.10 Contoh aplikasi sistem transmisi daya <i>direct drive</i>	24
Gambar 2.11 Contoh aplikasi sistem transmisi daya <i>speed increasing</i>	25
Gambar 2.12 Jenis-jenis sistem transmisi roda gigi	27
Gambar 2.13 Perhitungan 2 roda gigi.....	28
Gambar 2.14 Perhitungan 4 roda gigi.....	28
Gambar 2.15 Perhitungan 5 roda gigi.....	29
Gambar 2.16 Hubungan roda-roda seporos.....	32
Gambar 2.17 Hubungan roda-roda saling bersinggungan.....	33
Gambar 2.18 Hubungan roda-roda yang dihubungkan dengan tali, sabuk atau rantai	35

Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	41
Gambar 3.2 Rancangan desain penelitian keseluruhan	43
Gambar 3.3 Skema instalasi kabel pada penelitian	44
Gambar 3.4 Rancangan <i>gear drive</i> penelitian	45
Gambar 3.5 Rancangan <i>gear driven</i> (a) 10 gigi (b) 15 gigi (c) 20 gigi.....	47
Gambar 3.6 Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap kecepatan turbin.....	52
Gambar 3.7 Grafik hubungan kecepatan turbin dengan kecepatan generator pada saat menggunakan masing-masing rasio jumlah gigi <i>gear driven</i> .	52
Gambar 3.8 Grafik pengaruh kecepatan generator dengan tegangan generator yang dihasilkan pada saat menggunakan masing-masing rasio jumlah gigi <i>gear driven</i>	53
Gambar 3.9 Grafik pengaruh kecepatan generator terhadap arus yang dihasilkan pada saat menggunakan masing-masing rasio jumlah gigi <i>gear driven</i>	53
Gambar 3.10 Grafik hubungan waktu pengecasan dengan tegangan aki	54
Gambar 3.11 Grafik hubungan daya angin dan generator terhadap waktu	56
Gambar 3.12 Grafik hubungan kecepatan angin terhadap efisiensi turbin	56

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Kecepatan rata-rata angin tahun 2019 sampai tahun 2021	37
Tabel 3.1 Dimensi Turbin	43
Tabel 3.2 Spesifikasi <i>Gear Drive</i>	45
Tabel 3.3 Spesifikasi Generator DC	46
Tabel 3.4 Spesifikasi <i>Gear Driven</i>	48
Tabel 3.5 Pengukuran Karakteristik Kecepatan dan Elektrik Generator	51
Tabel 3.6 Pengukuran Karakteristik Nilai Tegangan Aki selama Waktu Pengecasan	51
Tabel 3.8 Hasil Perhitungan Daya Angin, Daya Listrik yang Dihasilkan oleh Generator DC dan Efisiensi yang Dihasilkan oleh Turbin Ventilator....	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik saat ini menjadi salah satu energi yang penting bagi kehidupan manusia, dan penggunaannya pun semakin meningkat. Di Indonesia, kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk Indonesia. Pada tahun 2021, rasio elektrifikasi Indonesia mencapai 99,45% dan rasio desa yang telah dialiri listrik mencapai 99,62%. Sementara itu pada tahun 2022, pemerintah menargetkan 100% baik rasio elektrifikasi maupun rasio desa yang dialiri listrik (Kementerian ESDM, 2021). Berdasarkan publikasinya juga yang berjudul capaian kerja ESDM yang diterbitkan pada tahun 2021, total kapasitas pembangkit listrik energi baru dan terbarukan (EBT) yang sudah terpasang sampai dengan tahun 2021 adalah sebesar 11,152 Mega Watt (MW) dengan kapasitas pembangkit listrik terbanyak besumber dari energi air yaitu sebesar 6.601,9 MW.

Penggunaan bahan bakar fosil dalam menghasilkan energi listrik tidak cukup efisien. Hal ini disebabkan oleh pencemaran lingkungan yang dihasilkan dari bahan bakar tersebut. Selain itu, pasokan bahan bakar fosil semakin lama juga semakin menipis. Untuk mengatasi ketergantungan terhadap energi fosil, maka perlu dilakukan konversi, konservasi, dan pengembangan sumber-sumber energi baru

yang terbarukan. Pengembangan ini harus memperhatikan energi, ekonomi, dan ekologi. Oleh karena itu, pengembangan sumber energi alternatif harus dapat memproduksi energi dalam jumlah yang besar, dengan biaya yang rendah serta tidak menimbulkan dampak kerusakan terhadap lingkungan (Culp, 1991). Negara Indonesia adalah negara yang memiliki sumber daya energi yang melimpah salah satunya adalah sumber energi angin. Faktor penyebabnya adalah fakta bahwa Indonesia merupakan negara kepulauan dan salah satu negara yang terletak di garis khatulistiwa. Kementerian ESDM menuturkan pada publikasinya yang berjudul “*Outlook Energi Indonesia*” pada tahun 2019, Indonesia mempunyai potensi energi baru terbarukan yang cukup besar untuk mencapai target baruan energi primer, energi tersebut diantaranya: tenaga angin dengan potensi 94,3 GW; panas bumi 28,5 GW; bioenergi dengan potensi PT Bio sebesar 32,6 GW, dan BBN sebesar 200 Ribu Bph; energi surya dengan potensi 207,8 GWP; energi angin dengan potensi 60,6 GW; dan energi laut dengan potensi 17,9 GW. Kementerian ESDM juga menambahkan, masih minimnya pemanfaatan EBT untuk ketenagalistrikan disebabkan masih relatif tingginya harga produksi pembangkit berbasis EBT, sehingga sulit bersaing dengan pembangkit fosil terutama batubara. Selain itu, kurangnya dukungan industri dalam negeri terkait komponen pembangkit energi terbarukan serta masih sulitnya mendapatkan pendanaan berbunga rendah, juga menjadi penyebab terhambatnya pengembangan energi terbarukan.

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Pada dasarnya angin dihasilkan akibat perbedaan suhu antara udara panas dan juga udara dingin. Di

daerah khatulistiwa, udara memiliki suhu yang tinggi sehingga membuat udara menjadi lebih mudah mengembang (memuai) dan menjadi ringan. Kemudian udara naik ke atas dan bergerak ke bagian yang lebih dingin. Dengan demikian akan timbul perputaran perpindahan udara. Potensi energi angin di Indonesia memiliki kecepatan rata-rata berkisar 3.5 – 7 m/s (Saputra, 2016).

Turbin angin merupakan sebuah sistem yang dapat mengkonversi energi angin (mekanik) menjadi energi listrik. Salah satu bagian komponen turbin angin yang berperan penting dalam mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik adalah generator. Generator turbin angin memiliki spesifikasi khusus, yaitu mampu menghasilkan energi listrik pada putaran yang rendah (Nurtjahmulyo, 2010). Berdasarkan kedudukan porosnya, turbin angin dibagi menjadi dua jenis, yaitu Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) dan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) (Jha, 2011). HAWT terbagi menjadi beberapa jenis berdasarkan jumlah baling-baling (*blade*), yaitu: *Single Blade*, *Double Blade*, *Three Blade*, dan *Multi Blade*. Sedangkan TASV terbagi menjadi tiga jenis berdasarkan bentuknya, yaitu: *Savonius Rotor*, *Darrieus Rotor*, dan *H Rotor*.

Meskipun energi angin memiliki potensi yang bagus dalam menghasilkan sumber daya alam alternatif, energi angin juga memiliki kelemahan, yaitu arah dan kecepatannya yang selalu berubah-ubah. Salah satu cara mengantisipasi perubahan arah angin adalah dengan menggunakan turbin angin dengan poros vertikal. Dengan demikian angin dari arah manapun dapat dimanfaatkan oleh turbin angin tersebut (Sugiono dkk, 2014).

Turbin angin dengan memanfaatkan kecepatan angin untuk dapat memutar kincir (*blade*) sehingga dapat diteruskan energinya menjadi energi listrik. Namun laju angin tidak selalu tetap (Supardi dkk, 2016). Maka dibutuhkan alat untuk menyesuaikan hasil energi angin yang didapat dengan laju angin yang selalu berubah-ubah, yaitu dengan memanfaatkan transmisi bertingkat. Transmisi ini terdiri dari beberapa *gear* yang dihubungkan menjadi satu (*gearbox*) lalu digunakan untuk mengubah kecepatan dan torsi (putaran) dari gigi penggerak menuju ke gigi yang digerakkan (Sukandi dkk, 2018).

Penelitian tentang pembuatan turbin angin sebagai sumber energi alternatif telah banyak dilakukan. Jenis turbin angin yang digunakan juga beragam, misalnya penelitian tentang pemanfaatan jenis *cyclone turbine ventilator* untuk melihat pengaruh kecepatan turbin terhadap tegangan listrik yang dihasilkannya (Tumembow dan Siwi, 2021). Selain itu, juga dilakukan pembuatan turbin angin sumbu vertikal (TASV) yang dikombinasikan dengan menggunakan perhitungan rasio gerigi sehingga memiliki kemampuan dapat bekerja pada daerah yang minim angin (Budiprayitno dkk, 2020).

Berdasarkan pemaparan di atas penelitian ini akan dilakukan pembuatan turbin angin dengan memanfaatkan turbin jenis *cyclone turbine ventilator* menggunakan prinsip transmisi roda gigi *spur gear*. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah jumlah gigi pada roda gigi bagian *gear driven*. Pada penelitian ini akan diamati dan dianalisis besarnya kecepatan yang dihasilkan oleh angin, kecepatan pada turbin ventilator dan kecepatan yang dihasilkan pada generator DC dengan menggunakan variabel tersebut. Selain itu juga diamati dan dianalisis karakteristik

elektrik yang dihasilkan oleh generator DC dan aki berdasarkan kecepatan putar generator DC yang didapat, serta akan dilakukan analisis efisiensi yang dihasilkan oleh turbin ventilator tipe *cyclone turbine ventilator* menggunakan sistem transmisi roda gigi *spur gear*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas permasalahan yang ada dirumuskan dalam beberapa hal berikut.

- a. Bagaimana membuat dan memanfaatkan sistem Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) tipe *cyclone turbine ventilator* dengan menggunakan transmisi roda gigi *spur gear* untuk pengecasan aki?
- b. Bagaimana pengaruh kecepatan angin terhadap kecepatan turbin ventilator tipe *cyclone turbine ventilator*?
- c. Bagaimana pengaruh jumlah gigi pada *gear driven* terhadap kecepatan putar generator DC?
- d. Bagaimana nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh perubahan kecepatan putar generator DC yang digunakan?
- e. Bagaimana nilai tegangan yang dialami oleh Aki selama dilakukan pengecasan menggunakan generator DC?
- f. Bagaimana efisiensi yang dihasilkan oleh turbin ventilator tipe *cyclone turbine ventilator* menggunakan sistem transmisi roda gigi *spur gear* dalam menghasilkan sumber energi terbarukan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Mengolah sumber energi terbarukan yang ideal untuk pengecasan aki memanfaatkan sistem Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) tipe *cyclone turbine ventilator* dengan transmisi roda gigi *spur gear*.
- b. Mencari hubungan kecepatan turbin ventilator tipe *cyclone turbine ventilator* yang dipengaruhi oleh kecepatan angin.
- c. Mencari hubungan rasio jumlah gigi *gear driven* terhadap kecepatan generator DC.
- d. Mencari hubungan nilai tegangan dan arus yang dipengaruhi oleh kecepatan putar generator DC yang digunakan.
- e. Mencari hubungan nilai tegangan yang dialami oleh Aki selama dilakukan pengecasan menggunakan generator DC.
- f. Mencari besarnya efisiensi yang dihasilkan oleh turbin ventilator tipe *cyclone turbine ventilator* menggunakan sistem transmisi roda gigi *spur gear*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Didapat referensi baru mengenai perbandingan jumlah gigi dalam sistem transmisi roda gigi tipe *spur gear* yang ideal untuk menghasilkan daya listrik pada Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) tipe *cyclone turbine ventilator*.
- b. Diperoleh informasi kecepatan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) tipe *cyclone turbine ventilator*, menggunakan transmisi roda gigi *spur gear* jika dipengaruhi oleh variasi jumlah gigi pada roda gigi bagian *gear driven*.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Jenis turbin yang digunakan adalah Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) tipe *cyclone turbine ventilator*.
- b. Jenis sistem transmisi roda gigi yang digunakan adalah *spur gear*.
- c. Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah rasio jumlah gigi pada roda gigi bagian *gear driven*.
- d. Penelitian dilakukan di tempat dataran rendah seperti pantai dan memanfaatkan aliran udara pada daerah tersebut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Beberapa penelitian terkait dengan pemanfaatan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) tipe *cyclone turbine ventilator* untuk melihat perbandingan antara kecepatan turbin dengan tegangan yang dihasilkan pernah dilakukan oleh Tumembow & Siwi (2021), dan penelitian yang dilakukan oleh Budiprayitno dkk (2020) yang juga membangun Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) dengan menggunakan perhitungan rasio gerigi sehingga dapat menghasilkan energi listrik yang lebih besar. Penelitian yang dilakukan oleh Tumembow dan Siwi (2021) memanfaatkan turbin angin vertikal tipe *cyclone turbine ventilator* yang telah jadi. Penelitian tersebut memodifikasi turbin yang digunakan dengan mengganti poros dengan yang lebih panjang, kemudian pada ujung bawah porosnya dipasang dua buah bantalan yang digunakan sebagai tumpuan. Poros diikat/disatukan dengan rumah sudu turbin pada bagian atas dan bawahnya. Realisasi modifikasi poros turbin dapat dilihat pada **Gambar 2.1** di bawah ini.



Gambar 2.1 Bentuk modifikasi poros turbin (Tumembow dan Siwi, 2021)

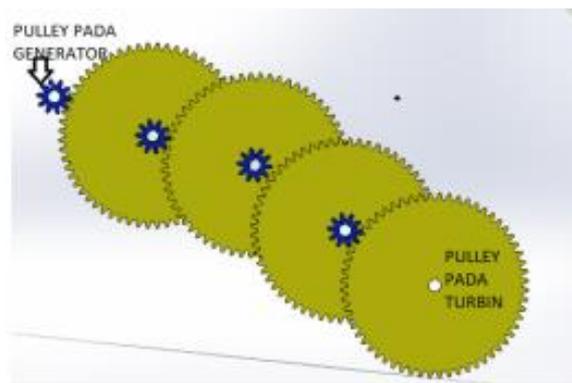
Penelitian ini juga menggunakan sistem transmisi roda dengan bantuan sabuk yang dipasangkan pada bagian bawah poros dan generator. Jarak *pulley* pada poros dengan generator juga dipasang secara berdekatan. Dapat dilihat realisasi posisi *pulley*, dinamo dan sabuk pada **Gambar 2.2** di bawah ini.



Gambar 2.2 Posisi *pulley*, dinamo dan sabuk (Tumembow dan Siwi, 2021)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari pengujian diambil dari 3 (tiga) kali dengan data kecepatan angin sebanyak 5 (lima) kali dalam setiap pengujian dan hasil pengukuran pada pengujian ketiga saat itu didapat kecepatan angin terbesar yaitu 10,96 m/s dan menghasilkan tegangan 3,54 V pada putaran dinamo 2075 rpm dan putaran turbin ventilator 184 rpm. Rata-rata dari pengujian pertama sampai ketiga didapat kecepatan angin 8,51 m/s menghasilkan tegangan 2,29 V dengan putaran dinamo 1044,48 rpm dan putaran turbin ventilator 92,59 rpm.

Penelitian yang dilakukan oleh Budiprayitno dkk (2020) adalah penelitian tentang proses membuat Turbin Angin Jenis Sumbu Vertikal (TASV) sebagai solusi peningkatan rasio elektrofikasi untuk daerah-daerah terpencil. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah *pulley* terhadap kecepatan motor DC, pengaruh kecepatan angin terhadap putaran turbin, pengaruh kecepatan angin terhadap intensitas energi kinetik angin, dan pengaruh kecepatan putaran motor DC terhadap tegangan keluaran. Pada penelitian tersebut total *pulley* yang digunakan adalah empat *pulley*, dimana dari setiap penambahan *pulley* tersebut terjadi peningkatan pada putaran motor DC. Desain sistem *gear pulley* yang digunakan pada penelitian tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2.3** di bawah ini.



Gambar 2.3 Sistem *gear pulley* (Budiprayitno dkk., 2020)

Dari penelitian didapatkan hasil pengaruh jumlah *pulley* terhadap kecepatan motor DC, pada penggunaan 1 *pulley* dengan putaran turbin 1 rpm menghasilkan kecepatan motor DC sebesar 6 rpm; pada penggunaan 2 *pulley* dengan putaran turbin 1 rpm menghasilkan kecepatan motor DC sebesar 36 rpm; pada penggunaan 3 *pulley* dengan putaran turbin 1 Rpm menghasilkan kecepatan motor DC sebesar 216 rpm; dan pada penggunaan 4 *pulley* dengan putaran turbin 1 rpm menghasilkan kecepatan motor DC sebesar 36 rpm.

Hasil pengaruh kecepatan angin terhadap kecepatan turbin didapatkan, pada kecepatan angin 1 m/s menghasilkan kecepatan turbin sebesar 1 rpm; kecepatan angin 2 m/s menghasilkan kecepatan turbin sebesar 4 rpm; kecepatan angin 3 m/s menghasilkan kecepatan turbin sebesar 8 rpm; dan pada kecepatan angin 4 m/s menghasilkan kecepatan turbin sebesar 12 rpm. Hasil pengaruh kecepatan angin terhadap intensitas energi kinetik angin didapatkan, pada kecepatan angin 6 m/s menghasilkan daya angin sebesar 2751,408 W; kecepatan angin 5 m/s menghasilkan daya angin sebesar 1592,25 W; kecepatan angin 4 m/s menghasilkan daya angin sebesar 815,232 W; dan pada kecepatan angin 3 m/s menghasilkan daya angin sebesar 343,926 W.

Hasil pengaruh kecepatan motor DC terhadap tegangan keluaran didapatkan, pada penggunaan 1 *pulley* dengan putaran motor DC sebesar 6 rpm menghasilkan tegangan keluaran sebesar 6 V; pada penggunaan 2 *pulley* dengan putaran motor DC sebesar 36 rpm menghasilkan tegangan keluaran sebesar 6,8 V; pada penggunaan 3 *pulley* dengan putaran motor DC sebesar 216 rpm menghasilkan tegangan keluaran sebesar 8,7 V; dan pada penggunaan 4 *pulley* dengan putaran motor DC sebesar 1296 rpm menghasilkan tegangan keluaran sebesar 12 V.

2.2 Energi Alternatif Angin

Energi alternatif merupakan energi yang dapat digunakan untuk menggantikan energi yang berasal dari bahan bakar konvensional (fosil). Angin adalah udara yang bergerak dari daerah bertekanan tinggi menuju daerah bertekanan rendah ataupun sebaliknya. Pada suatu wilayah yang menerima suhu udara yang lebih panas dan tekanan udara yang cenderung rendah, sehingga akan terjadi perbedaan suhu dan

tekanan udara antara wilayah yang menerima energi panas akibatnya akan terjadi aliran udara pada wilayah tersebut (Priyambodo dan Agung, 2019). Energi angin merupakan sumber energi alternatif yang berasal dari panas permukaan yang berbeda-beda sehingga menimbulkan perbedaan temperatur dan rapat massa di permukaan bumi yang mengakibatkan terjadinya aliran udara (Pudjanarsa, 2006). Pemanfaatan energi angin sebagai pembangkit listrik merupakan pemanfaatan energi terbarukan yang paling berkembang saat ini. Pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di daerah landai maupun dataran tinggi, bahkan dapat diterapkan di laut (Priyambodo dan Agung, 2019).

Tiupan angin di udara terbuka pada dasarnya terbagi menjadi dua aliran, yaitu:

- a. Aliran laminar, merupakan pergerakan udara (angin) dengan tanpa adanya hambatan, baik berupa pepohonan atau bangunan.
- b. Aliran turbulen, merupakan angin yang terbentuk akibat terganggunya aliran laminar akibat tumbukan antara udara yang bergerak dengan benda padat lain, seperti pepohonan atau bangunan (Wibawa, 2017).

Daya angin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2 sebagai berikut.

a. Energi Kinetik Angin

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.1)$$

dengan:

E = energi kinetik (J);

m = massa benda bergerak (kg);

v = kecepatan angin (m/s).

b. Daya Angin

$$P_{Angin} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.2)$$

dengan:

P_{Angin} = daya angin (W);

ρ = massa jenis udara (kg/m^3);

A = area penangkapan angin (m^2);

v = kecepatan angin (m/s).

(Handoko, 2016).

c. Daya Turbin Angin

Persamaan 2.2 merupakan sebuah persamaan untuk kecepatan angin pada turbin yang ideal, dimana dianggap energi angin dapat diekstrak seluruhnya menjadi energi listrik. Namun kenyataannya tidak seperti itu. Jadi terdapat faktor efisiensi dari mekanik turbin angin dan efisiensi dari generator sendiri. Sehingga daya yang dapat diekstrak menjadi energi angin dapat diketahui dari persamaan 2.3 berikut ini:

$$P_{Turbin} = C_p \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.3)$$

dengan:

P_{Turbin} = daya turbin angin (W);

C_p = koefisien daya;

ρ = massa jenis udara (kg/m^3);

A = area penangkapan angin (m^2).

v = kecepatan angin (m/s).

(Budiprayitno dkk, 2020).

2.3 Sistem Konversi Energi Angin (SKEA)

Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) merupakan suatu sistem yang bertujuan untuk mengubah energi angin menjadi energi mekanik poros oleh rotor untuk kemudian diubah lagi oleh alternator menjadi energi listrik. Prinsip utamanya adalah mengubah energi listrik yang dimiliki angin menjadi energi kinetik poros. Besarnya energi yang dapat ditransferkan ke rotor tergantung pada massa jenis udara, luas area dan kecepatan angin (Putranto, 2011).

Berdasarkan persamaan (2.1), energi kinetik yang terkandung dalam angin ditangkap oleh turbin angin untuk memutar generator. Dengan menganggap suatu penampang melintang A , dimana udara dengan kecepatan v mengalami pemindahan volume untuk setiap satuan waktu, yang disebut juga dengan aliran volume Q sebagai persamaan:

$$Q = vA \quad (2.5)$$

dengan:

Q = laju volume (m^3/s);

v = kecepatan angin (m/s);

A = luas area sapuan turbin (m^2).

(Hau, 2005).

2.4 Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Pada mulanya turbin angin dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain-lain. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik

masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Sampai saat ini penggunaan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Saputra, 2016). Dengan kata lain, turbin angin merupakan sebuah alat konversi energi kinetik yang dihasilkan oleh angin menjadi energi gerak rotasi pada rotor dan poros sehingga dapat dimanfaatkan untuk memutar generator dan menghasilkan energi listrik. Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah dengan mengubah energi kinetik dari angin menjadi gerak putar pada kincir. Lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator yang akhirnya akan menghasilkan listrik.

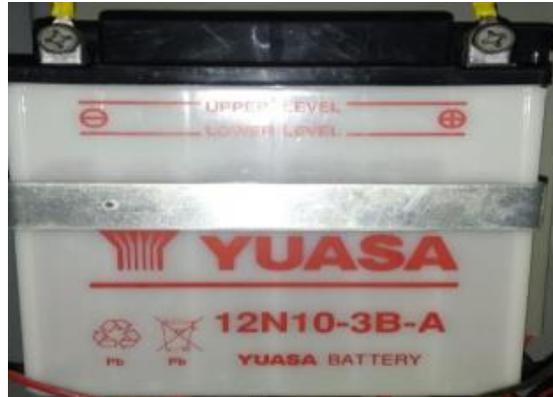
Sub-sistem yang dapat meningkatkan *safety* dan efisiensi dari turbin angin yaitu:

- a. *Gearbox*: alat ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi.
- b. *Brake System*: digunakan untuk menjaga putaran pada poros setelah *gearbox* agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang besar. Alat ini perlu dipasang karena generator memiliki titik kerja aman dalam pengoperasiannya. Generator ini akan menghasilkan energi listrik maksimal pada saat bekerja pada titik kerja yang telah ditentukan. Kehadiran angin di luar digunaan akan menyebabkan putaran yang cukup cepat pada poros generator, sehingga jika tidak diatasi maka putaran ini dapat merusak generator. Dampak dari kerusakan akibat putaran berlebih diantaranya: *overheat*, kawat pada generator putus karena tidak dapat menahan arus yang cukup besar.
- c. *Generator*: ini adalah salah satu komponen terpenting dalam pembuatan sistem turbin angin. Generator ini dapat mengubah energi mekanik menjadi energi

listrik. Mengacu pada salah satu cara kerja generator, poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen. Setelah itu di sekitar poros terdapat stator yang bentuk fisisnya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk *loop*. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa *Alternating Current (AC)* atau *Direct Current (DC)*.

- d. Penyimpan energi: karena keterbatasan ketersediaan akan energi angin (tidak sepanjang hari angin akan selalu tersedia) maka ketersediaan listrik pun tidak menentu. Oleh karena itu digunakan alat penyimpan energi yang berfungsi sebagai cadangan energi listrik. Ketika beban penggunaan daya listrik masyarakat meningkat atau ketika kecepatan angin suatu daerah sedang menurun, maka kebutuhan permintaan akan daya listrik tidak dapat terpenuhi. Oleh karena itu kita perlu menyimpan sebagian energi yang dihasilkan ketika terjadi kelebihan daya pada saat turbin angin berputar kencang atau saat penggunaan daya pada masyarakat menurun. Penyimpanan energi ini diakomodasi dengan menggunakan alat penyimpan energi. Contoh sederhana yang dapat dijadikan referensi sebagai alat penyimpan energi listrik adalah aki. Aki memiliki kapasitas penyimpanan energi yang cukup besar. Aki 12 V, 65 Ah dapat dipakai untuk mencatu rumah tangga (kurang lebih) selama 0.5 jam pada daya 780 W. Kendala dalam menggunakan alat ini adalah alat ini memerlukan catu daya *Direct Current (DC)* untuk meng-charge/mengisi energi, sedangkan dari generator dihasilkan catu daya *Alternating Current*

(AC). Oleh karena itu diperlukan *rectifier-inverter* untuk mengakomodasi keperluan ini.



Gambar 2.4 Contoh aki sebagai penyimpan energi (Suryadi dkk, 2019)

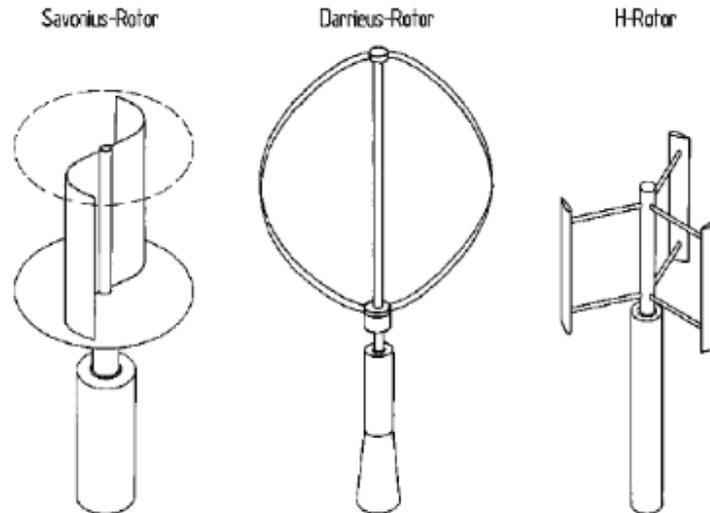
- e. *Rectifier-inverter*: *rectifier* berarti penyearah. *Rectifier* dapat menyearahkan gelombang sinusoidal (AC) yang dihasilkan oleh generator menjadi gelombang DC. *Inverter* berarti pembalik. Ketika dibutuhkan daya dari penyimpan energi (aki/lainnya) maka catu yang dihasilkan oleh aki akan berbentuk gelombang DC. Karena kebanyakan kebutuhan rumah tangga menggunakan catu daya AC, maka diperlukan *inverter* untuk mengubah gelombang DC yang dikeluarkan oleh aki menjadi gelombang AC, agar dapat digunakan oleh rumah tangga (Alit dkk, 2016).

2.5 Jenis-Jenis Turbin Angin

Berdasarkan arah sumbu gerak rotornya, turbin angin dibedakan menjadi dua, yaitu Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH), dan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV).

2.5.1 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

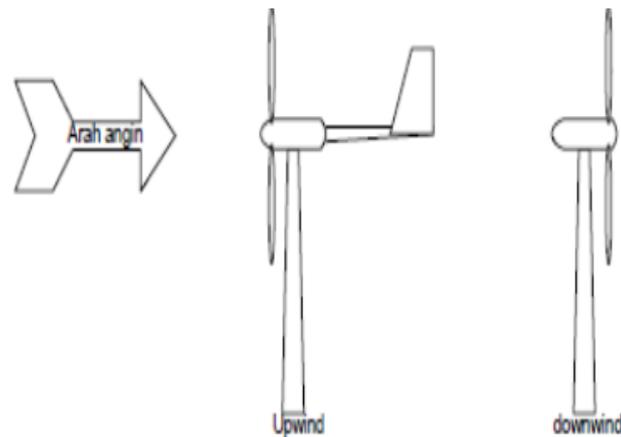
Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) yaitu turbin yang arah putaran rotornya sejajar dengan arah angin. Turbin angin jenis ini memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH). Ada beberapa kelebihan turbin angin sumbu vertikal, antara lain: aman, mudah dibangun, bisa dipasang tidak jauh dari tanah, generator dan *gearbox* bisa ditempatkan tidak jauh dari permukaan tanah sehingga mudah dalam perawatannya, kelebihan utama dari turbin angin jenis ini adalah tidak membutuhkan mekanisme *yaw* yang mengatur arah bilah sudu agar tetap menghadap angin dan menangkap energi angin dari berbagai arah sehingga pembuatannya dalam lebih sederhana (Marnoto., 2010). Adapun kekurangan yang dimiliki turbin bersumbu vertikal, yaitu : pada umumnya turbin bersumbu vertikal ini hanya mampu memproduksi energi sebanyak 50% dari efisiensi turbin bersumbu horizontal disebabkan *drag* tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar, kebanyakan turbin bersumbu vertikal tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi, turbin bersumbu vertikal juga mempunyai torsi yang lebih rendah di awal dan membutuhkan energi agar turbin dapat berputar, dan sebuah turbin bersumbu vertikal yang menggunakan kabel untuk menggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan, kabel yang dikaitkan ke puncak bantalan dapat meningkatkan daya dorong ke bawah saat angin bertiup (Jamaludin, 2019).



Gambar 2.5 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) (Haurissa & Santoso, 2017)

2.5.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) merupakan turbin angin yang arah putaran rotornya tegak lurus terhadap arah angin. Turbin angin jenis ini memiliki kelebihan, yaitu dapat diakses ke tempat yang memiliki daya angin yang lebih kuat, karena turbin angin sumbu horizontal biasanya memiliki menara yang tinggi (Putranto, 2011). Sedangkan turbin bersumbu horizontal ini memiliki kekurangan, yaitu : dalam pembuatan serta pemasangan memerlukan biaya yang besar yaitu hampir mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin; turbin bersumbu horizontal ini sulit untuk dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yang terampil; konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, *gearbox*, dan generator; turbin bersumbu horizontal yang tinggi dapat mempengaruhi radar *airport*; ukuran yang tinggi merintangai jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan *land skape*; berbagai varian *down wind* mengalami kerusakan diakibatkan oleh turbulensi (Jamaludin, 2019).



Gambar 2.6 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

2.6 Turbin Ventilator

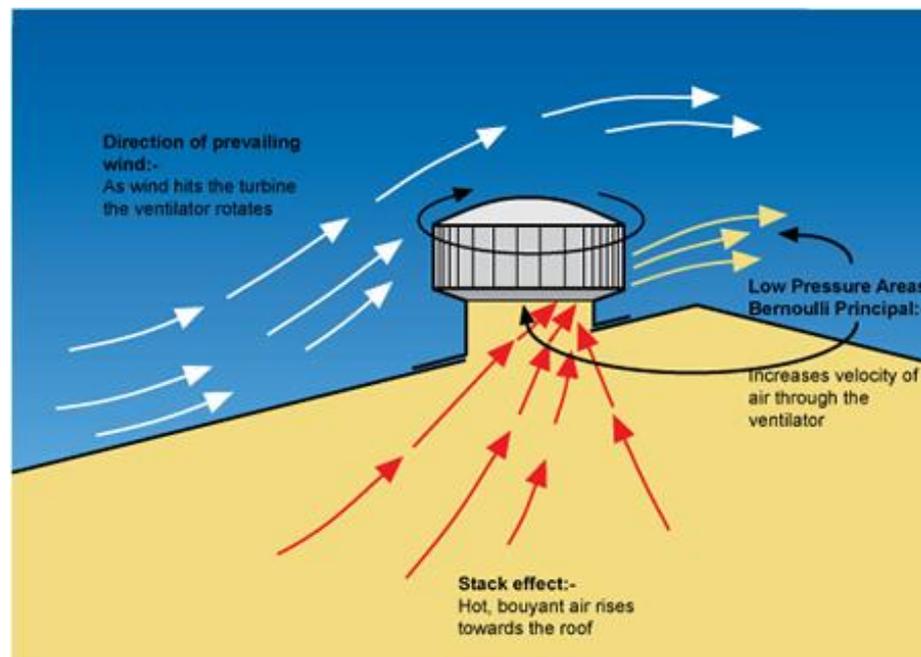
Turbin ventilator merupakan turbin bersumbu vertikal yang memiliki dua fungsi yaitu sebagai turbin angin dan kipas hisap. Turbin ventilator menggunakan energi angin sebagai penggerak. Turbin ini sering digunakan pada bagian atap suatu bangunan yang berfungsi sebagai ventilasi bangunan rumah ataupun industri. Energi angin yang berhembus pada sudu turbin ventilator akan menghasilkan *drag force* yang menyebabkan turbin dapat berputar (Jamaludin, 2019).



Gambar 2.7 Turbin Ventilator *Cyclone* (Jamaludin, 2019)

Turbin ventilator dapat berputar hanya dengan menggunakan tenaga angin yang lemah sekalipun, akan tetapi juga mampu menahan angin berkecepatan tinggi. Hembusan angin inilah yang mampu mendorong bilah turbin agar dapat berputar

sehingga udara di dalam ruangan yang bertekanan tinggi akan terbangun keluar. Aliran udara yang keluar ini akan membantu mendorong bilah turbin untuk berputar, sehingga udara yang berada di dalam ruangan akan terasa lebih sejuk karena terjadi sirkulasi udara (Kurniadi, 2016).



Gambar 2.8 Prinsip kerja turbin ventilator (Kurniadi, 2016)

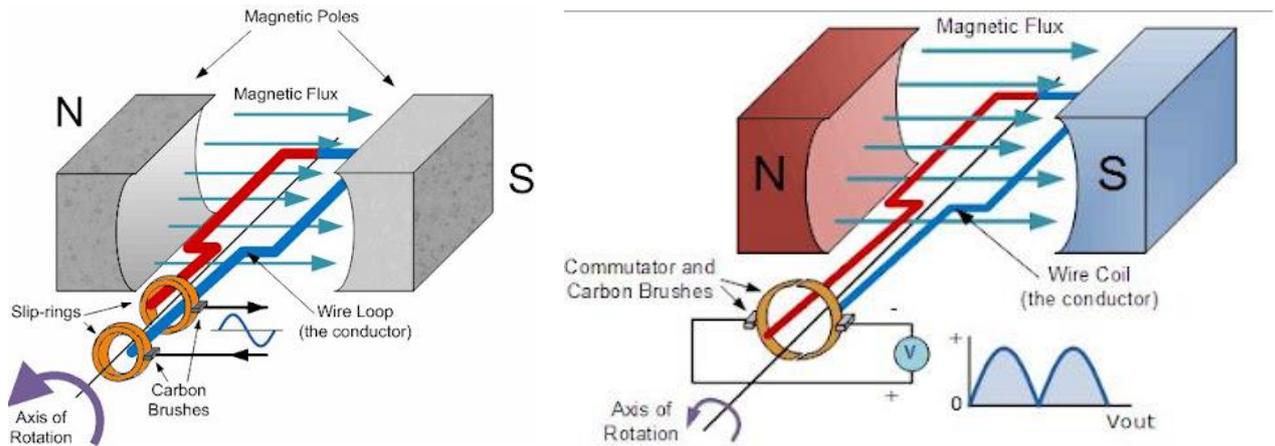
2.7 Generator

Generator adalah suatu mesin yang dapat mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik, arus yang dihasilkan oleh generator ada dua macam yaitu arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC), generator sinkron merupakan generator yang menghasilkan frekuensi arus listrik yang sebanding dengan kecepatan rotasi mekanik dari generator (Budiyanto dan Wibowo, 2014). Menurut Priyambodo dan Agung (2019), generator merupakan suatu mesin yang mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Tenaga mekanik digunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar dalam medan magnet ataupun sebaliknya memutar magnet diantara

kumparan kawat penghantar. Tenaga mekanik dapat berasal dari tenaga panas, potensial air, motor diesel, motor bensin dan ada yang berasal dari motor listrik.

Generator yang biasa digunakan pada pembangkit listrik adalah generator sinkron magnet permanen (*Permanent Magnet Synchronous Generator*). Konstruksi utama pada generator adalah stator, rotor, magnet dan celah udara (*airgap*). Stator merupakan bagian generator yang diam. Pada stator terdapat slot yang merupakan tempat kumparan atau *coil* disusun. Rotor merupakan bagian generator yang berputar dan merupakan tempat diletakkannya magnet. *Airgap* atau celah udara merupakan celah diantara rotor dan stator yang mencegah terjadinya gesekan antara rotor dan stator ketika generator mulai berputar (Anastasya dkk., 2020).

Generator menggunakan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga menimbulkan Gaya Gerak Listrik (GGL) induksi (Sunarlik, 2011). Ketika berputar, magnet yang digunakan untuk menghasilkan medan magnet akan menyebabkan fluks magnet pada inti kutub rotor bersikulasi di sekeliling rotor. Fluks magnet dari kutub magnet yang terletak pada rotor akan melewati celah udara dan mencapai permukaan stator beserta lilitan pada inti stator. Putaran rotor akan menyebabkan fluks magnet yang diterima oleh kumparan stator bersifat berubah terhadap waktu.



Gambar 2.9 Cara kerja generator

2.8 Sistem Transmisi

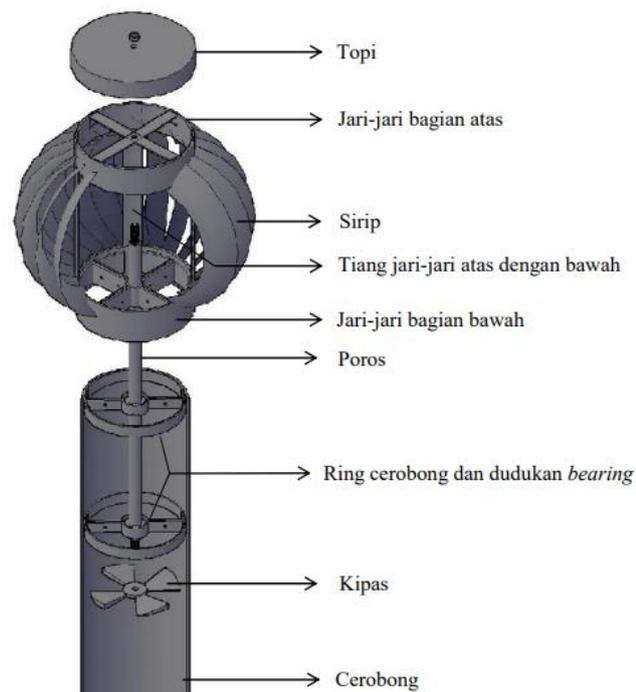
Menurut Daryanto (2001), sistem transmisi merupakan sistem yang dapat mentransmisikan daya mekanik dari mesin penggerak untuk kecepatan mengurangi mekanisme, dilengkapi dengan beberapa gigi. Transmisi sederhana sering disebut *gear box*. Sedangkan menurut Miptahun (2019), sistem transmisi merupakan suatu sistem yang meneruskan torsi dan kecepatan (putaran) dari mesin menjadi torsi dan kecepatan yang berbeda-beda dengan menggunakan rasio gigi untuk diteruskan ke penggerak akhir.

Sesuai dari pengertiannya, sistem transmisi digunakan untuk mengirimkan tenaga dari mesin roda belakang traktor, untuk mengurangi kecepatan roda belakang traktor, mengubah rasio kecepatan roda dan putaran mesin agar sesuai dengan kondisi lapangan, untuk mengirimkan daya melalui *drive* sudut kanan (Daryanto, 2001).

Untuk meneruskan daya yang dihasilkan oleh rotor ke generator, perlu sistem transmisi yang konfigurasinya disesuaikan dengan kebutuhan daya yang

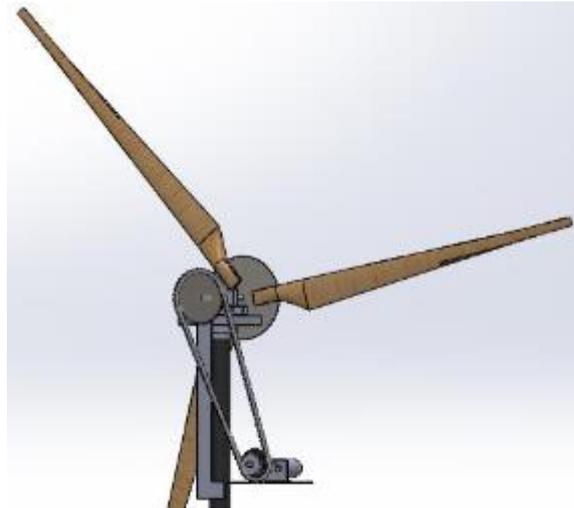
ditransmisikan, putaran, dan konfigurasi turbin angin. Sistem transmisi daya dikelompokkan menjadi tiga kelompok berdasarkan rasio putaran masukan dan keluarannya, yaitu:

- a. *Direct drive*, merupakan transmisi daya langsung dengan menggunakan poros dan pasangan kopling. Ciri khas dari sistem ini adalah tidak ada peningkatan maupun penurunan putaran.



Gambar 2.10 Contoh aplikasi sistem transmisi daya *direct drive* (Kurniadi, 2016)

- b. *Speed reducing*, merupakan sistem transmisi daya dengan penurunan putaran (putaran keluaran lebih rendah dibandingkan dengan putaran masukan). Sistem transmisi ini digunakan untuk meningkatkan momen gaya.
- c. *Speed Increasing*, merupakan sistem transmisi daya peningkatan putaran (putaran keluaran lebih tinggi dibandingkan dengan putaran masukan). Sistem ini memberikan konsekuensi momen gaya keluar yang lebih kecil. Sistem ini juga biasa menggunakan *pulley* sabuk atau roda gigi.



Gambar 2.11 Contoh aplikasi sistem transmisi daya *speed increasing* (Sukandi dkk, 2018)

Pada umumnya turbin angin yang putaran rotornya berada dalam selang putaran kerja generator, maka sistem transmisi daya yang digunakan adalah *direct driver* (rotor menggerakkan generator secara langsung), dan *speed increasing* karena putaran yang diperlukan generator lebih tinggi daripada putaran rotor (Putranto, 2011).

2.8.1 Kombinasi Roda Gigi

Ratio gear atau perbandingan gigi merupakan angka yang menunjukkan tingkat perbandingan ukuran besar kecilnya antara gigi pada sistem transmisi. *Ratio gear* dapat menentukan percepatan yang dihasilkan dari kombinasi gigi-gigi pada sistem transmisi, pada masing-masing tingkat percepatan (Palittin, 2018). Adapun jenis-jenis dari roda gigi, diantaranya adalah:

a. Roda Gigi Lurus (*Spur Gear*)

Roda gigi lurus merupakan roda gigi yang paling sederhana. Roda gigi ini terdiri dari silinder atau piringan dengan gigi-gigi yang terbentuk secara

radial/berporos. Ujung dari gigi-gigi lurus dan tersusun paralel terhadap aksis rotasi. Roda gigi ini umum terlihat pada bagian *gearbox* pada suatu mesin.

b. Roda Gigi Luar dan Roda Gigi Dalam (*Internal and External Gear*)

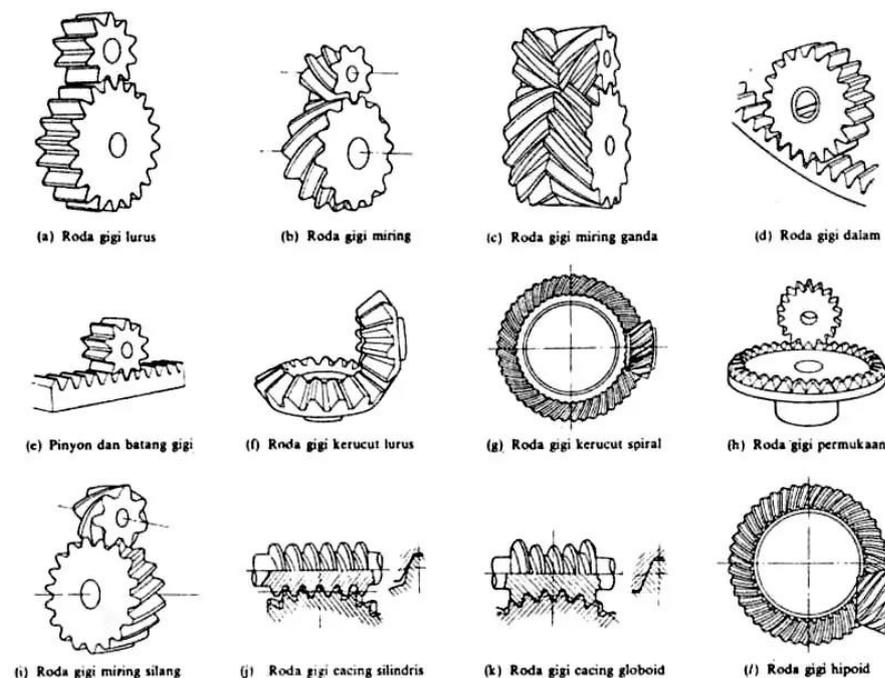
Roda gigi ini memiliki ciri khas pada gigi-giginya yang terletak di dalam silinder roda gigi. Berbeda dengan roda gigi eksternal yang memiliki gigi-gigii di luar silindernya, roda gigi internal tidak akan mengubah arah putarannya. Sistem roda gigi ini biasa diterapkan pada lift.

c. Roda Gigi Heliks (*Helical Gear*)

Roda gigi ini diciptakan untuk menyempurnakan sistem roda gigi *spur gear*. Bentuk ujung dari gigi-giginya tidak paralel terhadap aksis rotasi, melainkan miring pada derajat tertentu sehingga berbentuk seperti heliks.

d. Roda Gigi Heliks Ganda (*Double Helical Gear/Herringbone Gear*)

Roda gigi ini menyelesaikan masalah yang timbul pada roda gigi heliks biasa yang terletak pada dorongan aksial (*axial thrust*). Roda gigi heliks ini mempunyai dua pasang gigi yang berbentuk “V” sehingga terlihat seperti dua roda gigi heliks yang disatukan. Hal ini akan membentuk dorongan aksial yang saling meniadakan. Roda gigi ini memiliki kerumitan bentuk yang lebih sulit dari roda gigi lainnya (Adinata, 2019).



Gambar 2.12 Jenis-jenis sistem transmisi roda gigi (Sularso, 2018).

2.8.2 Perbandingan Gigi

Pada transmisi terdapat roda gigi yang saling berkaitan satu sama lain yang mana perkaitan roda gigi ini merupakan suatu kesatuan agar roda gigi tersebut saling mengimbangi. Roda gigi ini akan menentukan percepatan yang dihasilkan dari kombinasi gigi–gigi pada transmisi, pada masing–masing tingkat percepatan dan setiap percepatan memiliki momen yang berbeda-beda (Miptahudin, U, 2019).

a. Perbandingan roda gigi dasar diilustrasikan pada **Gambar 2.13** dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

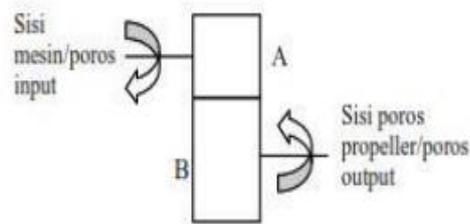
$$GR = \frac{B}{A} \quad (2.6)$$

dengan:

GR = gear ratio/perbandingan gigi;

A = roda gigi input;

B = roda gigi output.



Gambar 2.13 Perhitungan 2 roda gigi

- b. Pada transmisi terdapat dua pasang roda gigi seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 2.14**, untuk memperoleh input dan output shaft yang searah, maka dihitung dengan menggunakan rumus:

$$GR = \frac{B}{A} \frac{D}{C} \quad (2.7)$$

dengan:

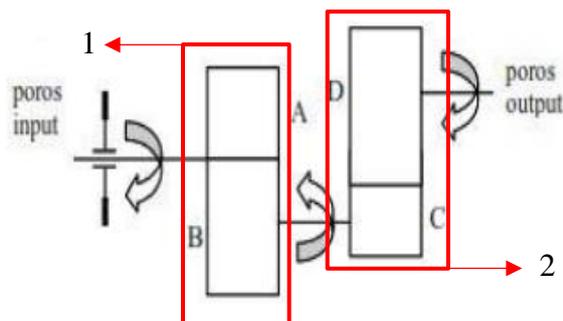
GR = gear ratio/perbandingan gigi;

A = roda gigi input 1;

B = roda gigi output 1;

C = roda gigi input 2;

D = roda gigi output 2.



Gambar 2.14 Perhitungan 4 roda gigi

- c. Untuk menggerakkan kendaraan kearah mundur seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 2.15**, pada perbandingan gigi transmisi ditambahkan *idle gear*, untuk memperoleh input dan output *shaft* yang berlawanan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$GR = \frac{B}{A} \frac{E}{C} \frac{D}{E} = \frac{B}{A} \frac{D}{C} \quad (2.8)$$

dengan:

GR = gear ratio/perbandingan gigi;

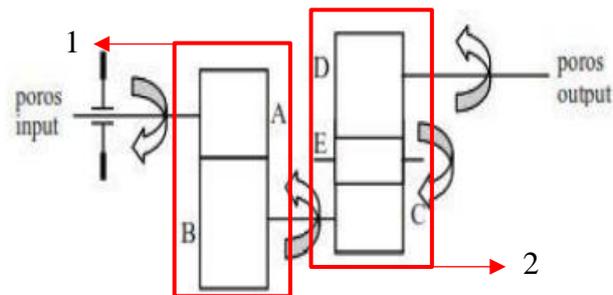
A = roda gigi input 1;

B = roda gigi output 1;

C = roda gigi input 2;

D = roda gigi output 2;

E = roda gigi idler/penghubung roda gigi C dan D .



Gambar 2.15 Perhitungan 5 roda gigi

2.8.3 Perhitungan Putaran Output rpm

Selain menghitung perbandingan gigi ada juga perhitungan output rpm dan torsi.

Jika putaran roda gigi yang berpasangan dinyatakan dengan n_1 pada poros penggerak dan n_2 pada poros yang digerakan, diameter jarak bagi d_1 dan d_2 , dan jumlah gigi z_1 dan z_2 , maka perbandingan putaran adalah:

$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{i} \quad (2.9)$$

$$\frac{z_1}{z_2} = i \quad (2.10)$$

Harga i , yaitu perbandingan roda gigi atau perbandingan transmisi (Sularso, 2008).

Menurut Ayub Palittin (2018) rumus perhitungan putaran output adalah:

$$PG = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.11)$$

$$n_2 = \frac{n_1}{PG} \quad (2.12)$$

dengan:

PG = perbandingan gigi;

n_1 = putaran atau Rpm pada gigi input;

n_2 = putaran atau Rpm pada gigi output.

2.8.4 Perhitungan Torsi

Menurut Miptahudin, U (2019) yang merujuk dari Sugeng Mulyono, torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja, jadi torsi merupakan suatu energi. Torsi dapat diperoleh dari hasil kali antara gaya dengan jarak:

$$T = sF \quad (2.13)$$

dengan:

T = torsi (Nm);

F = gaya sentrifugal (N);

s = jarak (m).

Paul A. Tipler (1998) berpendapat bahwa torsi (τ) adalah hasil kali sebuah gaya (\mathbf{F}) dengan lengannya (\mathbf{r}).

$$\tau = \mathbf{r} \times \mathbf{F} \quad (2.14)$$

dengan:

τ = torsi (Nm);

\mathbf{F} = gaya (N);

\mathbf{r} = lengan (m).

Torsi juga dapat diartikan sebagai ukuran kuantitatif dari kecenderungan sebuah gaya dalam mengubah gerak rotasi dari suatu benda. Torsi total yang bekerja pada suatu benda tegar dapat ditentukan dari percepatan sudut dan dihubungkan dengan persamaan:

$$\tau = I \alpha \quad (2.15)$$

dengan:

τ = torsi (Nm);

I = momen inersia (Kg/m²);

α = percepatan sudut (rad/s).

untuk perhitungan torsi pada rasio *gear* dengan rumus:

$$\text{Tourque Gear } B = \text{Tourque Gear } A \cdot \text{Perbandingan Gigi} \quad (2.16)$$

dengan:

$\text{TourqueGear}B = \text{drivegear}(\text{shaftinput})$;

$\text{TourqueGear}A = \text{drivegear}(\text{shaftoutput})$.

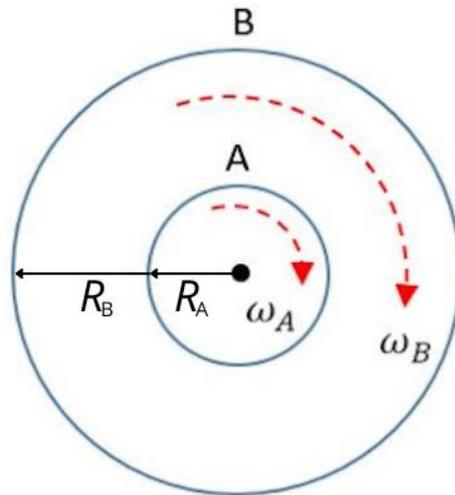
2.9 Hubungan Roda-Roda

Hubungan roda yang bergerak melingkar dapat dianalisis kelajuan linear dan kelajuan sudut dari roda-roda tersebut (Sa'diyah, dkk. 2022), hubungan roda-roda tersebut terbagi menjadi 3, yaitu:

2.9.1 Hubungan roda-roda seporos

Hubungan roda-roda ini memiliki dua roda atau lebih yang saling terhubung oleh satu sumbu rotasi yang sama, sehingga arah gerak dari hubungan roda-roda seporos ini juga sama, yaitu ke kanan atau ke kiri. Hubungan roda seporos pada umumnya

memiliki jari-jari yang berbeda antara roda satu dengan roda yang lainnya. Hubungan roda seporos ini diilustrasikan pada **Gambar 2.16** di bawah ini.



Gambar 2.16 Hubungan roda-roda seporos

Hubungan roda seporos ini cocok digunakan untuk mentransmisikan kecepatan dari satu komponen ke komponen yang lain tanpa mempengaruhi kelajuan sudutnya, seperti hubungan antara *gear* dan ban pada motor. Berdasarkan **Gambar 2.16**, hubungan roda seporos memiliki persamaan di bawah ini.

$$\omega_A = \omega_B \quad (2.17)$$

$$\frac{v_A}{R_A} = \frac{v_B}{R_B} \quad (2.18)$$

dengan:

ω_A = kelajuan sudut roda A (rpm);

ω_B = kelajuan sudut roda B (rpm);

v_A = kelajuan linear roda A (m/s);

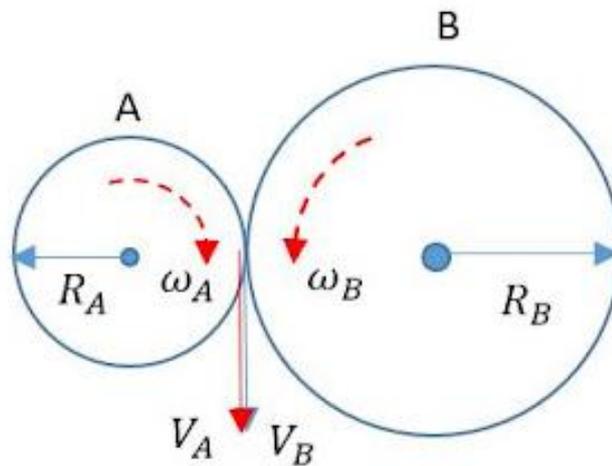
v_B = kelajuan linear roda B (m/s);

R_A = jari-jari roda A (m);

R_B = jari-jari roda B (m).

2.9.2 Hubungan roda-roda saling bersinggungan

Hubungan roda-roda ini berupa hubungan dua roda yang sisi terluarnya saling bersinggungan satu dengan yang lainnya. Arah yang dihasilkan oleh masing-masing roda akan bergerak saling berlawanan. Ilustrasi dari hubungan roda-roda ini ditunjukkan pada **Gambar 2.17** di bawah ini.



Gambar 2.17 Hubungan roda-roda saling bersinggungan

Hubungan roda saling bersinggungan ini cocok untuk mentransmisikan kecepatan dari satu komponen ke komponen lain tanpa mempengaruhi kelajuan linearnya, seperti hubungan antara *gear* pada bagian dalam jam analog. Berdasarkan **Gambar 2.17**, hubungan roda-roda saling bersinggungan berlaku hubungan besaran kelajuan linear berikut ini.

$$v_A = v_B \quad (2.19)$$

$$R_A \omega_A = R_B \omega_B \quad (2.20)$$

dengan:

ω_A = kelajuan sudut roda A (rpm);

ω_B = kelajuan sudut roda B (rpm);

v_A = kelajuan linear roda A (m/s);

v_B = kelajuan linear roda B (m/s);

R_A = jari-jari roda A (m);

R_B = jari-jari roda B (m).

Apabila roda-roda saling bersinggungan ini memiliki gigi, maka jari-jari roda yang lebih kecil akan memiliki jumlah gigi yang lebih sedikit dibandingkan dengan jari-jari roda yang lebih besar. Sehingga jari-jari roda pada persamaan 2.20 dapat digantikan dengan banyak jumlah gigi. Dengan demikian dapat ditulis menjadi persamaan 2.21 di bawah ini.

$$n_A \omega_A = n_B \omega_B \quad (2.21)$$

dengan:

ω_A = kelajuan sudut roda A (rpm);

ω_B = kelajuan sudut roda B (rpm);

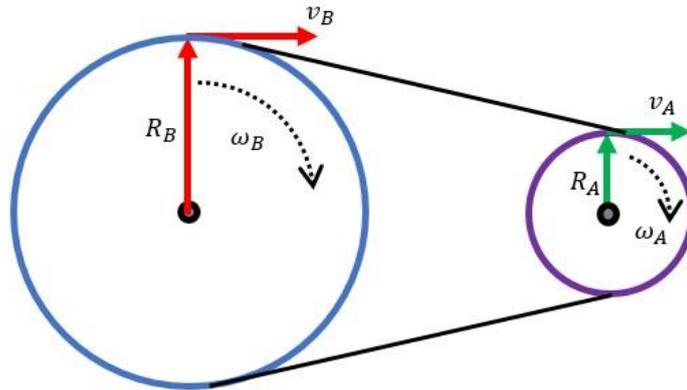
n_A = jumlah gigi pada roda A;

n_B = jumlah gigi pada roda B.

2.9.3 Hubungan roda-roda yang dihubungkan dengan tali, sabuk atau rantai

Hubungan roda-roda ini merupakan roda-roda yang sisi luarnya dihubungkan dengan tali, sabuk, atau rantai sehingga roda-roda tidak bersinggungan secara langsung dan memiliki arah putar yang searah seperti hubungan roda gigi seporos.

Ilustrasi dari hubungan roda-roda yang dihubungkan menggunakan tali, sabuk atau rantai dapat dilihat pada **Gambar 2.18** di bawah ini.



Gambar 2.18 Hubungan roda-roda yang dihubungkan dengan tali, sabuk atau rantai

Hubungan roda yang dihubungkan dengan tali, sabuk atau rantai ini cocok untuk mentransmisikan kecepatan dari satu komponen ke komponen lain tanpa mempengaruhi kelajuan linearnya, seperti hubungan antara mesin pada motor dengan *gear* yang dipasang pada roda belakang motor. Berdasarkan **Gambar 2.18**, hubungan roda-roda yang dihubungkan dengan tali, sabuk, atau rantai saling bersinggungan berlaku hubungan besaran kelajuan linear berikut ini.

$$v_A = v_B$$

$$R_A \omega_A = R_B \omega_B \quad (2.22)$$

dengan:

ω_A = kelajuan sudut roda A (rpm);

ω_B = kelajuan sudut roda B (rpm);

v_A = kelajuan linear roda A (m/s);

v_B = kelajuan linear roda B (m/s);

R_A = jari-jari roda A (m);

R_B = jari-jari roda B (m).

2.10 Kecepatan Angin di Lampung

Berdasarkan dari data Badan Pusat Statistik (BPS) yang mengutip data Publikasi Statistik Lingkungan Hidup pada masing-masing stasiun pengamatan BMKG setiap provinsi Indonesia mengenai kecepatan angin rata-rata dan kelembaban rata-rata di setiap provinsi di Indonesia pada tahun 2011 sampai tahun 2015. Didapatkan bahwa kecepatan rata-rata angin seluruh provinsi di Indonesia pada tahun 2011 adalah 4,09 m/s dengan nilai kecepatan angin pada provinsi Lampung sebesar 4 m/s. Sementara pada tahun 2012, kecepatan rata-rata angin seluruh provinsi di Indonesia adalah sebesar 4,03 m/s dengan nilai pada provinsi Lampung sebesar 4,2 m/s. Pada tahun 2013, kecepatan rata-rata angin seluruh provinsi di Indonesia adalah sebesar 4,63 m/s dengan nilai pada provinsi Lampung sebesar 1,5 m/s. Pada tahun 2014, kecepatan rata-rata angin seluruh provinsi di Indonesia adalah sebesar 3,98 m/s dengan nilai pada provinsi Lampung sebesar 3,5 m/s. Sedangkan pada tahun 2015, kecepatan rata-rata angin seluruh provinsi di Indonesia adalah sebesar 2,42 m/s dengan nilai pada provinsi Lampung sebesar 1,95 m/s. Data lengkap mengenai kecepatan rata-rata angin seluruh provinsi di Indonesia pada tahun 2011 sampai tahun 2015 ditunjukkan pada **Tabel 1** yang terdapat pada **Lampiran 1**.

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) yang mengutip dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) stasiun meteorologi Raden Intan II Bandar Lampung, bahwa kecepatan rata-rata angin yang tertinggi di Lampung pada tahun 2019 mampu mencapai 5,10 knots atau setara dengan 2,62 m/s yang terjadi pada bulan September. Pada tahun 2020, kecepatan rata-rata angin tertinggi mampu mencapai 2,19 knots atau setara dengan 1,12 m/s yang terjadi pada bulan Februari. Sementara pada tahun 2021, kecepatan rata-rata angin yang tertinggi

mampu mencapai 3,40 knots atau setara dengan 1,74 m/s yang terjadi pada bulan Agustus. Data lebih lengkap mengenai kecepatan rata-rata angin setiap bulan selama tahun 2019 sampai tahun 2021 ditunjukkan pada **Tabel 2.1** di bawah ini.

Tabel 2.1 Kecepatan rata-rata angin tahun 2019 sampai tahun 2021

Bulan	Rata-rata Kecepatan Angin (Knot)		
	2019	2020	2021
Januari	3.60	1.76	2.70
Februari	3.10	2.19	3.40
Maret	2.90	1.66	2.90
April	2.60	1.50	2.80
Mei	3.10	1.65	2.80
Juni	3.50	1.72	2.70
Juli	3.60	1.59	3.20
Agustus	4.10	1.99	3.40
September	5.10	1.72	3.00
Oktober	4.50	1.49	3.00
November	4.50	1.48	2.40
Desember	3.40	1.09	2.60

Sumber: Stasiun Meteorologi Raden Intan II, Bandar Lampung

Source Url: <https://lampung.bps.go.id/indicator/151/231/1/rata-rata-kecepatan-angin.html>

Berdasarkan data online harian dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) stasiun pemantau Raden Intan II Lampung yang ditunjukkan pada **Tabel 2** yang terdapat di **Lampiran 2**, kecepatan angin harian maksimum yang terjadi pada tahun 2022 di Kabupaten Lampung Selatan mampu mencapai 11 m/s, sedangkan kecepatan angin rata-rata harian pada tahun 2022 adalah sebesar 1,2 m/s.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan September 2022 sampai dengan Januari 2023.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Gerinda tangan, digunakan sebagai alat pemotong benda-benda berbahan logam keras.
2. Meteran (pita ukur), digunakan untuk mengukur panjang batang besi berulir, dan mengukur dimensi turbin ventilator.
3. Mesin bor, digunakan untuk membuat lubang pada benda kerja.
4. Mesin bubut, digunakan untuk membuat *gear*.
5. Multimeter, digunakan sebagai alat pengukur besaran listrik (tegangan dan arus).
6. Obeng, digunakan untuk mengunci baut agar dapat menghubungkan dua plat atau lebih.
7. Tang, digunakan sebagai alat pemotong dan pengupas kabel.

8. Anemometer, digunakan untuk mengukur kecepatan angin.
9. Sensor *tachometer*, digunakan untuk mengukur kecepatan putaran turbin dan generator.

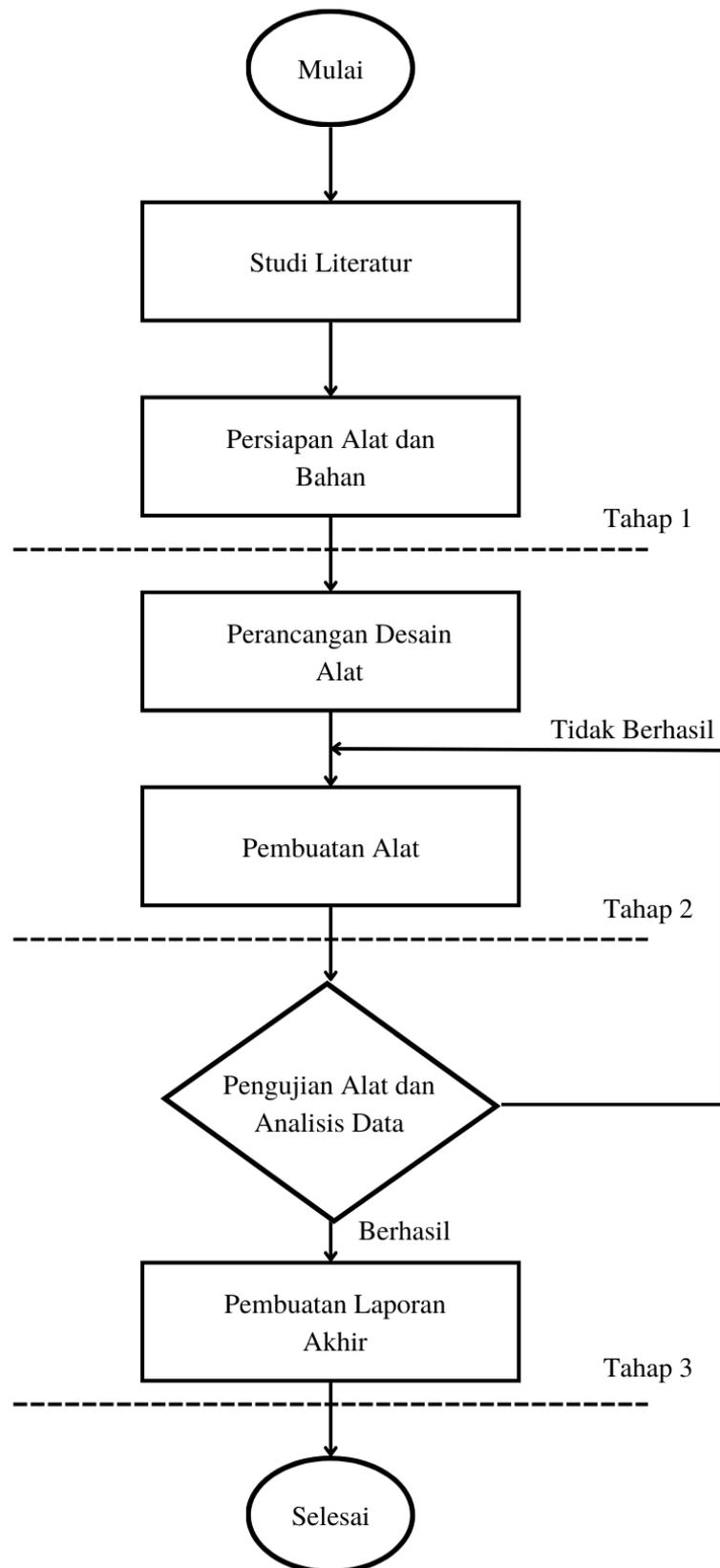
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Batang besi berulir digunakan sebagai pengganti poros turbin ventilator.
2. *Pillow Block Bearing* digunakan untuk menjaga poros berputar dengan stabil.
3. *Cyclone turbine ventilator* digunakan sebagai bagian utama yang dapat menghasilkan energi gerak berupa rotasi dari angin.
4. Generator DC digunakan untuk mengubah energi gerak yang dihasilkan dari turbin ventilator menjadi energi listrik DC.
5. *Gear* digunakan untuk mentransmisikan energi gerak yang dihasilkan oleh turbin ventilator ke generator DC.
6. Baut dan mur digunakan untuk mempertahankan posisi peralatan pada dudukan plat besi atau yang lainnya.
7. *Solar charge controller* digunakan sebagai mengatur arus listrik yang dihasilkan oleh generator DC agar dapat disimpan pada aki. Alat ini juga dapat mengatur energi yang tertampung pada aki ketika *overcharging*.
8. Aki (Accu) digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh generator DC.

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengolah sumber energi angin menggunakan turbin angin tipe *cyclone* menjadi energi listrik, mengetahui karakteristik *gear* yang efisien agar dapat digunakan untuk mentransmisikan daya putar turbin angin *cyclone* ke

generator, dan memanfaatkan daya yang dihasilkan oleh generator untuk pengecasan aki. Penelitian ini mengukur kecepatan angin dan kecepatan putaran turbin ventilator untuk mengetahui hubungan antara kedua kecepatan tersebut. Kemudian pada penelitian ini dilakukan pengukuran kecepatan putaran turbin dan juga *gear driven* untuk mengetahui kombinasi variasi *gear* yang dapat menghasilkan daya dan berefisien tinggi. Penelitian ini juga mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan dari konversi energi gerak menjadi listrik yang dilakukan oleh generator untuk mengetahui daya yang dihasilkan oleh generator dari setiap variasi *gear*. Terdapat dua variabel dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini terdiri atas kecepatan angin, jumlah gigi dan diameter pada *gear driven*. Sedangkan variabel terikat dalam penelitian ini terdiri atas kecepatan turbin ventilator (ω_{Turbin}), kecepatan generator ($\omega_{Generator}$), tegangan ($V_{Generator}$), dan arus ($I_{Generator}$). Kecepatan angin (v_{Angin}) pada penelitian ini didapatkan berdasarkan hasil pengukuran di lapangan menggunakan alat ukur anemometer. Kemudian variasi jumlah gigi pada *gear driven* yang digunakan adalah 10, 15 dan 20 gigi dengan catatan jumlah gigi pada *gear drive* adalah tetap yaitu 80 gigi. Adapun prosedur pada penelitian ini yang terdiri dari beberapa tahapan, yaitu persiapan penelitian, perancangan dan pembuatan desain alat, pengujian alat, pengambilan data. Prosedur penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.1** di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3.1 Tahap 1

Pada tahap ini dilakukan persiapan penelitian yang terdiri atas studi literatur, persiapan alat dan bahan yang akan digunakan. Studi literatur dilakukan dengan mencari informasi terkait dengan penelitian dari berbagai sumber seperti jurnal, skripsi, ataupun informasi dari *website*. Selanjutnya dilakukan persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk penelitian. Persiapan alat dan bahan dimulai dari mengumpulkan alat dan bahan seperti tang, multimeter, mesin bor, mesin gerinda tangan, obeng, meteran (pita ukur), generator. Kemudian mencari tempat bubut yang mampu membuat *gear*.

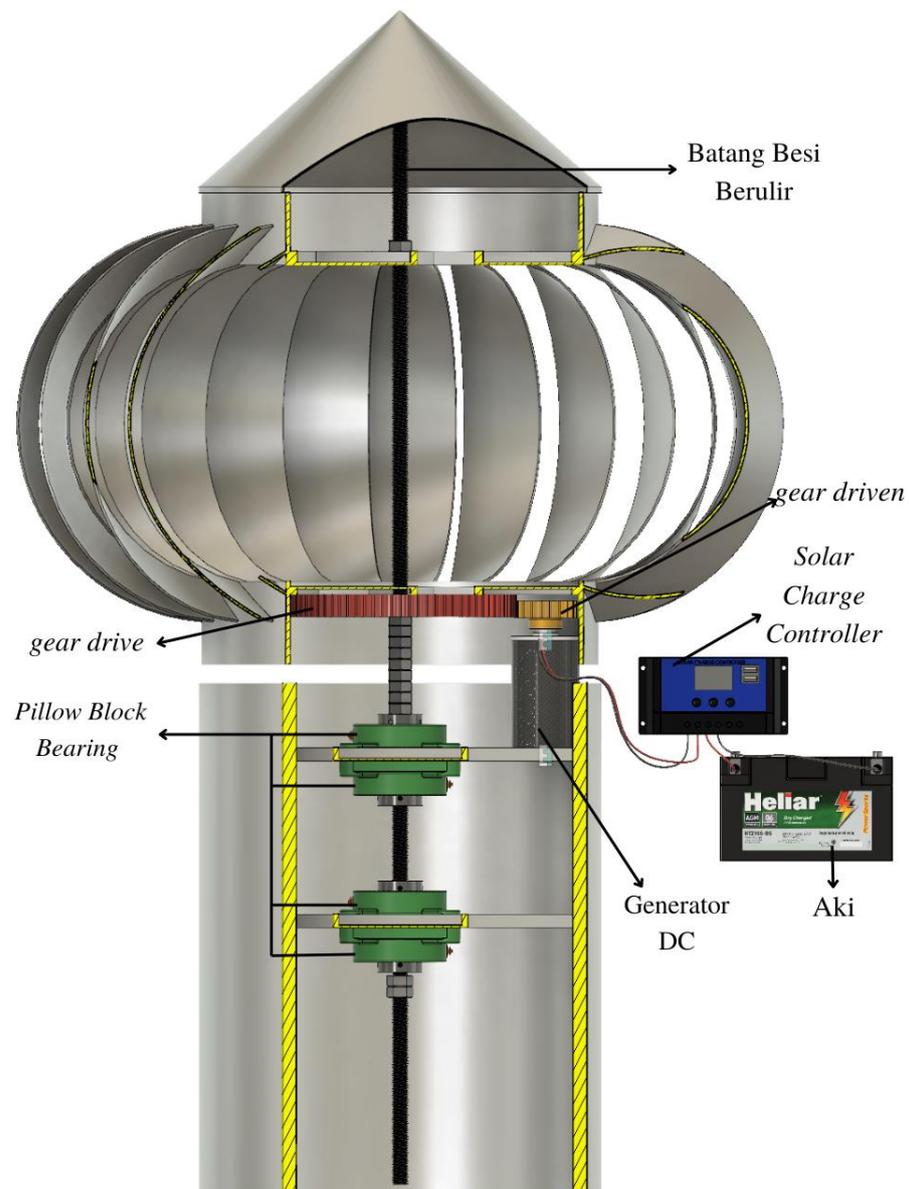
3.3.2 Tahap 2

Pada tahap ini terdiri atas perancangan desain alat, dan juga pembuatan alat. Perancangan desain alat dilakukan menggunakan 2 *software*, yaitu *Autodesk Fusion 360*, dan juga *Camnetics GearTreq 2021*. *Software Autodesk Fusion 360* digunakan untuk mendesain keseluruhan alat yang akan dibuat, sedangkan *software Camnetics GearTreq 2021* digunakan khusus untuk mendesain *gear* yang akan dibuat pada penelitian ini. Sebelum melakukan pembuatan desain, terlebih dahulu dilakukan pengukuran dimensi turbin *cyclone* yang akan digunakan dalam penelitian ini. Pengukuran dimensi turbin *cyclone* dilakukan dengan mengukur seluruh bagian dari turbin ventilator. Hasil pengukuran dimensi turbin *cyclone* dapat dilihat pada **Tabel 3.1** di bawah ini.

Tabel 3.1 Dimensi Turbin

No	Parameter	Ukuran (cm)
1	Diameter Turbin	66 cm
2	Tinggi Turbin	45 cm
3	Jumlah Bilah/Sudu	24

Sedangkan untuk desain seluruh rancangan alat dan juga skema instalasi kabel pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.2** dan **Gambar 3.3** di bawah ini.

**Gambar 3.2** Rancangan desain alat penelitian keseluruhan



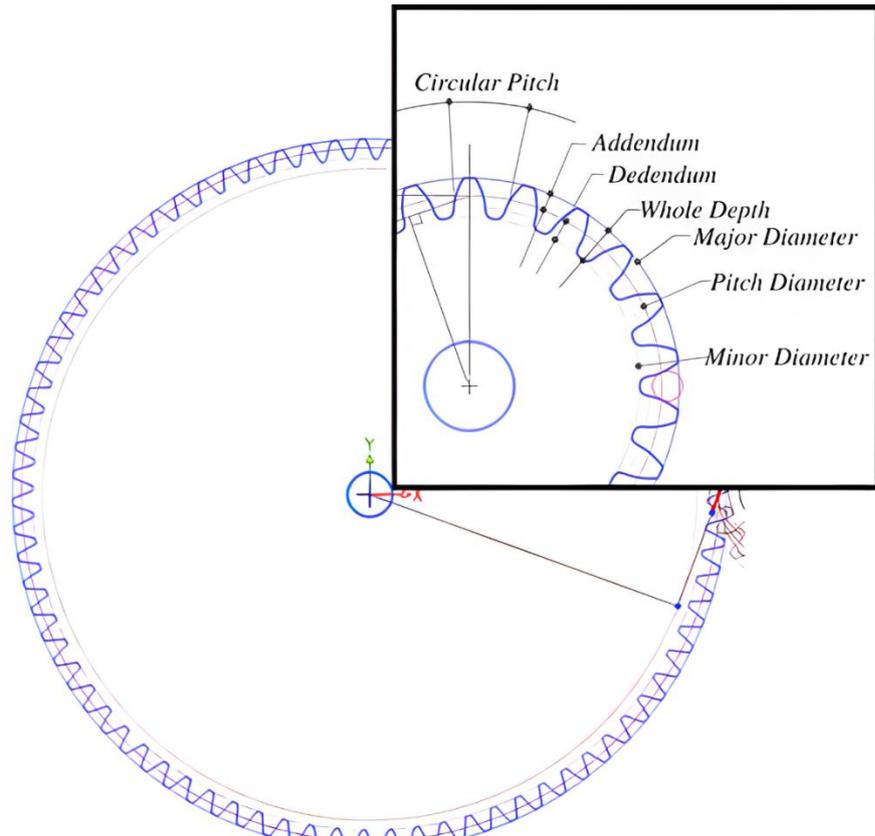
Gambar 3.3 Skema instalasi kabel pada penelitian

a. *Pillow block bearing*

Komponen ini diletakkan pada penampang yang berada di badan turbin. Komponen berfungsi untuk menjaga putaran batang besi berulir sebagai poros turbin agar tetap stabil ketika berputar.

b. *Gear drive*

Komponen ini dipasang dan dikunci pada penampang yang berada di bagian bawah kepala turbin. Sehingga kecepatan yang dialami oleh *gear drive* akan sama dengan kecepatan turbin. Adapun jumlah gigi pada *gear drive* yang digunakan dalam penelitian ini adalah berjumlah 80 buah. Lebih detailnya dapat dilihat pada **Gambar 3.4** dan **Tabel 3.2** di bawah ini.



Gambar 3.4 Rancangan gear drive penelitian

Tabel 3.2 Spesifikasi Gear Drive

No	Parameter	Nilai
1	<i>Circular Pitch</i>	7,98mm
2	<i>Number of Teeth (z)</i>	80
3	<i>Pitch Diameter</i>	203,20mm
4	<i>Major Diameter</i>	208,280mm
5	<i>Minor Diameter</i>	196,85mm
6	<i>Addendum</i>	2,54mm
7	<i>Dedendum</i>	3,17mm
8	<i>Whole depth</i>	5,71mm
9	<i>Thickness</i>	20mm

c. Batang besi berulir

Komponen ini berfungsi sebagai poros/*shaft* turbin. Komponen ini dipasang pada bagian kepala turbin dan dikunci menggunakan beberapa baut pada bagian atas dan bawahnya.

d. Generator DC

Komponen ini memiliki peran penting dalam mengkonversi energi gerak berupa putaran turbin yang dihasilkan oleh angin menjadi energi listrik DC. Komponen ini memiliki spesifikasi yang dapat dilihat pada **Tabel 3.3** di bawah ini.

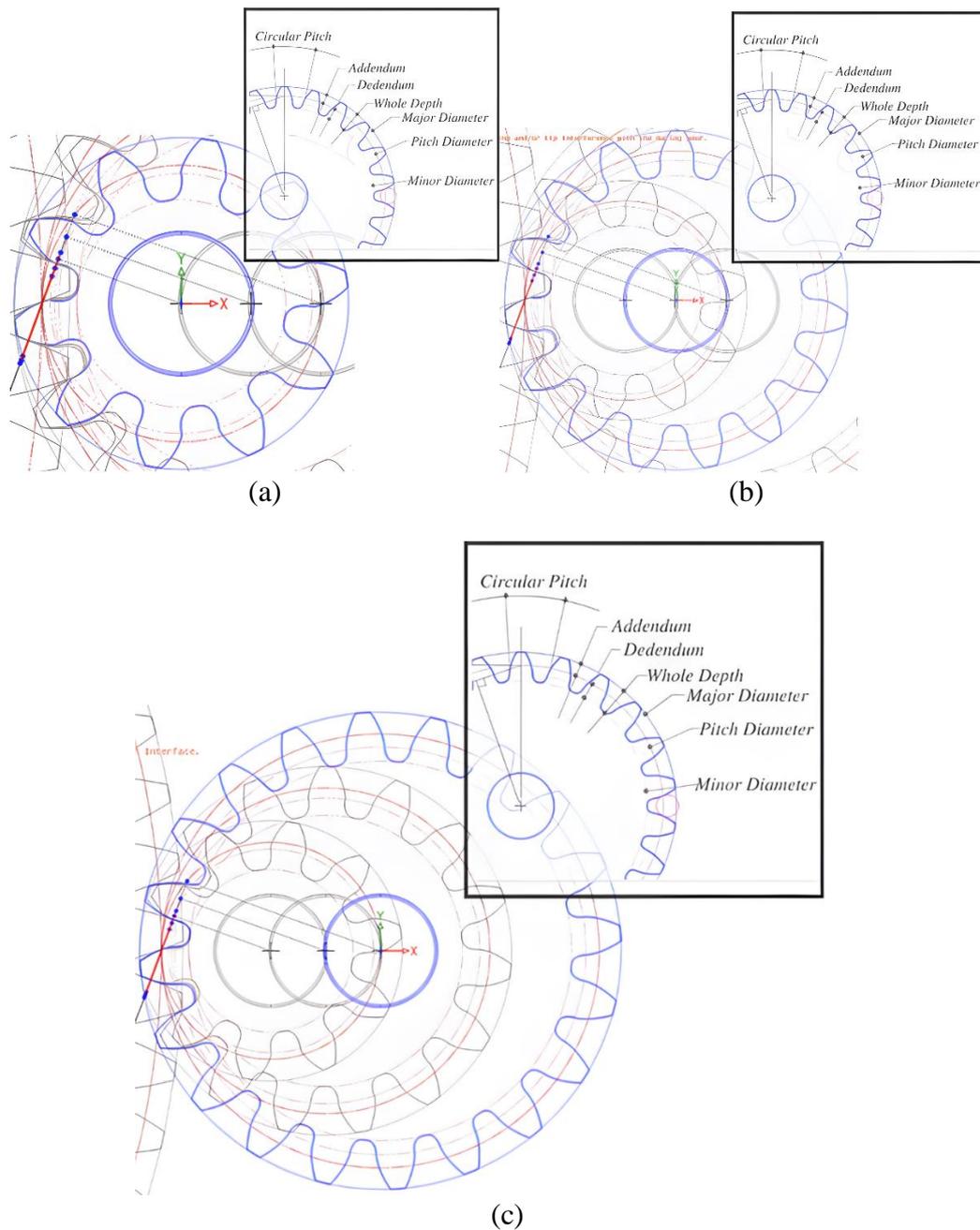
Tabel 3.3 Spesifikasi Generator DC

No	Parameter	Nilai
1	Panjang Generator	11 cm
2	Diameter Generator	7 cm
3	Panjang <i>Shaft</i>	3 cm
4	Diameter <i>Shaft</i>	0.7 cm
5	Kecepatan Maksimum	1500 rpm
6	Tegangan yang dihasilkan	100 V
7	Arus	0.58 A

e. *Gear driven*

Komponen ini merupakan komponen yang berputar akibat adanya putaran *gear drive* yang dihasilkan oleh putaran turbin. Komponen ini bersifat diam/mengunci pada bagian *shaft*/poros generator, sehingga bila komponen ini berputar maka *shaft* pada generator juga akan ikut berputar dan akan

menghasilkan energi listrik. Komponen ini juga yang menjadi variabel penting, karena jumlah gigi pada *gear* ini dapat mempengaruhi perubahan kecepatan yang dihasilkan turbin ventilator dan generator. Adapun rasio jumlah gigi pada *gear driven* yang digunakan dalam penelitian ini adalah berjumlah 10; 15; dan 20 buah gigi. Lebih detailnya dapat dilihat pada **Gambar 3.5** dan **Tabel 3.4**, di bawah ini.



Gambar 3.5 Rancangan *gear driven* (a) 10 gigi (b) 15 gigi (c) 20 gigi

Tabel 3.4 Spesifikasi *Gear Driven*

No	Parameter	<i>Gear Driven</i> 10 Gigi	<i>Gear Driven</i> 15 Gigi	<i>Gear Driven</i> 20 Gigi
1	<i>Circular Pitch</i>	7,98mm	7,98mm	7,98mm
2	<i>Pitch Diameter</i>	25,40mm	38,10mm	50,80mm
3	<i>Major Diameter</i>	30,48mm	43,18mm	55,88mm
4	<i>Minor Diameter</i>	19,05mm	31,75mm	44,45mm
5	<i>Addendum</i>	2,54mm	2,54mm	2,54mm
6	<i>Dedendum</i>	3,17mm	3,17mm	3,17mm
7	<i>Whole depth</i>	5,71mm	5,71mm	5,71mm
8	<i>Thickness</i>	25mm	25mm	25mm

f. *Solar Charge Controller*

Komponen ini berfungsi sebagai *Battery Management System* (BMS) atau berfungsi untuk mengatur tegangan yang masuk dari suatu sumber daya listrik (dalam penelitian ini sumber daya listrik dihasilkan oleh generator DC yang digerakkan oleh turbin angin dengan bantuan energi angin) untuk pengecasan baterai (dalam penelitian ini menggunakan aki).

g. Aki

Komponen ini berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh genertor DC. Aki yang digunakan dalam penelitian ini merupakan aki kering yang mampu menyimpan tegangan maksimum sampai dengan 12 V.

3.3.3 Tahap 3

Pada tahap 3 dilakukan pengambilan dan analisis dari data yang didapatkan, serta pembuatan laporan akhir. Pengujian dan pengambilan data dilakukan di Pantai

Tanjung Tua, Kecamatan Bakauheni, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Lokasi ini berdekatan langsung dengan Selat Sunda, sehingga akan sangat menguntungkan bila kita memanfaatkan angin yang berada di lokasi tersebut. Pengambilan data dilakukan selama 3 jam, dengan waktu penggunaan masing-masing *gear driven* dilakukan selama 1 jam. Adapun langkah-langkah yang dilakukan selama pengambilan data penelitian adalah sebagai berikut.

- a. Memeriksa kembali seluruh rancangan alat penelitian setelah dilakukan pengujian guna mengantisipasi kesalahan sistem.
- b. Menyiapkan lembar pengambilan data untuk kecepatan angin (v_{angin}), kecepatan turbin (ω_{Turbin}), kecepatan generator pada saat menggunakan masing-masing rasio jumlah gigi *gear driven* ($\omega_{Generator}$), tegangan ($V_{Generator}$) dan arus listrik ($I_{Generator}$) yang dihasilkan oleh generator DC dan juga aki.
- c. menghubungkan kabel aki pada *channel* 3 dan 4 *solar charge controller*.
- d. Memasang *gear driven* pada *shaft*/poros generator DC.
- e. Memasang kabel generator pada lampu DC.
- f. Mencatat besarnya kecepatan angin (v_{angin}) menggunakan alat anemometer, kecepatan turbin (ω_{Turbin}), kecepatan generator ($\omega_{Generator}$) pada saat menggunakan masing-masing rasio jumlah gigi *gear driven* menggunakan tachometer, tegangan listrik ($V_{Generator}$) dan arus listrik ($I_{Generator}$) yang dihasilkan oleh generator DC menggunakan multimeter.
- g. Melepas kabel generator pada lampu DC, lalu memasang kabel generator DC pada *channel* 1 dan 2 *solar charge controller* untuk dilakukan pengecasan aki.
- h. Mencatat besarnya tegangan aki (V_{Aki}) pada waktu yang sudah ditentukan. Lalu mengulangi langkah d dengan mengganti rasio jumlah gigi *gear driven*.

- i. Melakukan perhitungan daya listrik yang dihasilkan oleh generator menggunakan persamaan:

$$P_{Generator} = V_{Generator} I_{Generator} \quad (3.1)$$

dengan:

$P_{Generator}$ = daya listrik (W);

$V_{Generator}$ = tegangan generator (V);

$I_{Generator}$ = arus generator (A).

- j. Melakukan perhitungan daya yang dihasilkan oleh angin menggunakan persamaan:

$$P_{Angin} = \frac{1}{2} \rho A v_{angin}^3 \quad (3.2)$$

dengan:

P_{Angin} = daya angin (watt);

ρ = massa jenis/densitas udara (ρ rata-rata: $1,2 \text{ kg/m}^3$);

A = luas area penangkapan angin (m^2).

v_{angin} = kecepatan angin (m/s).

- k. Melakukan perhitungan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin ventilator menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{P_{Generator}}{P_{Angin}} \cdot 100\% \quad (3.3)$$

3.4 Rancangan Data Hasil Penelitian

Penelitian ini diperoleh data karakteristik kecepatan berupa nilai kecepatan angin, kecepatan turbin, dan kecepatan generator. Penelitian ini juga diperoleh data karakteristik elektrik berupa nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator,

serta tegangan aki pada saat pengecasan. Seluruh data dianalisis berdasarkan penggunaan masing-masing rasio jumlah gigi *gear driven*. Rancangan data hasil penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.5** sampai **Tabel 3.6** di bawah ini.

Tabel 3.5 Pengukuran Karakteristik Kecepatan dan Elektrik Generator

No	Waktu	Rasio Jumlah Gigi <i>Gear Driven</i>	Kecepatan			Generator	
			Angin (m/s)	Turbin (rpm)	Generator (rpm)	Tegangan (V)	Arus (A)
1							
2							
...							
...							
...							
36							

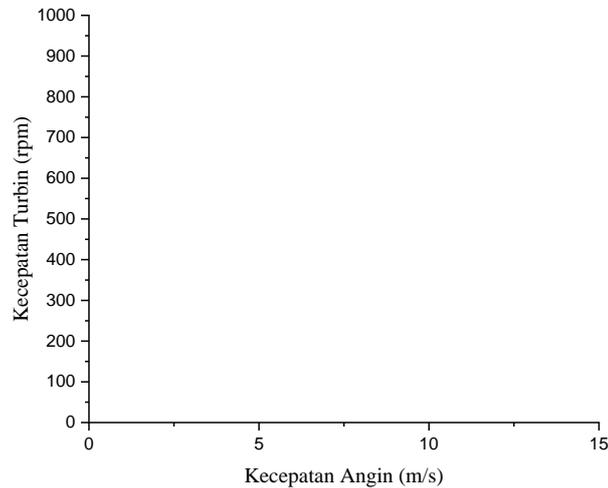
Tabel 3.6 Pengukuran Karakteristik Nilai Tegangan Aki selama Waktu Pengecasan

No	Rasio Jumlah Gigi <i>Gear Driven</i>	Waktu	Tegangan Aki (V)
1			
2			
...			
...			
9			

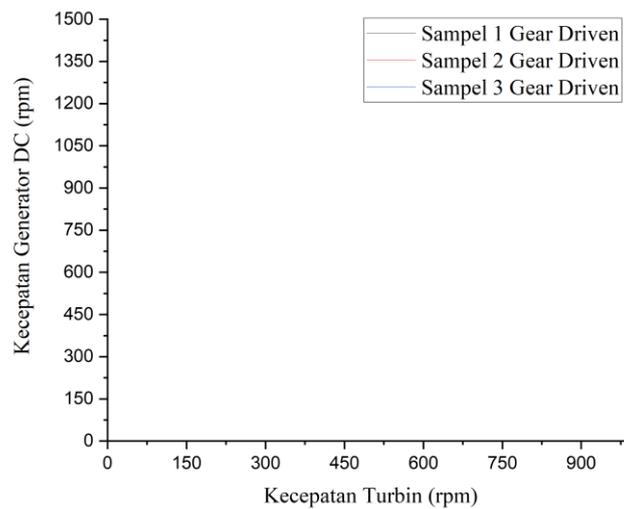
3.5 Rancangan Analisis Data Penelitian

Berdasarkan data penelitian yang didapatkan, dilakukan analisis data pengaruh kecepatan angin terhadap putaran turbin ventilator, kemudian analisis pengaruh jumlah gigi pada *gear driven* terhadap perubahan kecepatan putar generator DC, dilakukan juga analisis karakteristik elektrik nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh perubahan kecepatan generator DC, serta analisis karakteristik nilai tegangan aki pada saat dilakukan pengecasan. Dilakukan juga analisis daya yang

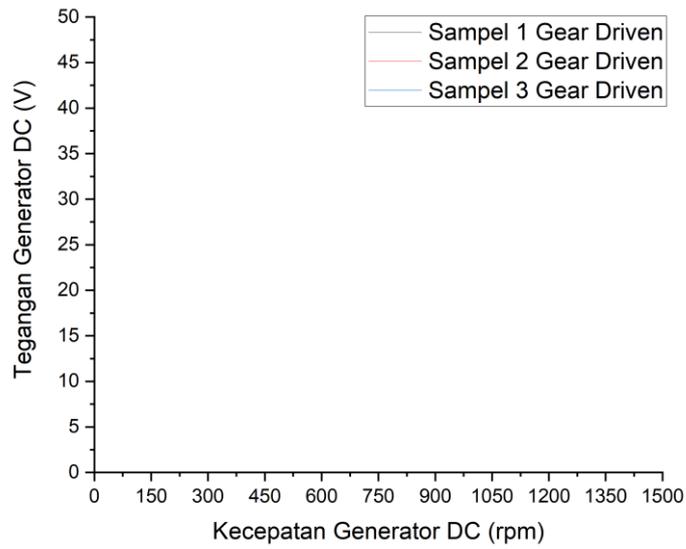
dihasilkan oleh angin, dan yang dihasilkan oleh generator serta efisiensi yang dihasilkan oleh turbin ventilator. Selanjutnya seluruh analisis data yang didapatkan diplot ke dalam gambar grafik **Gambar 3.6** sampai **Gambar 3.10** di bawah ini.



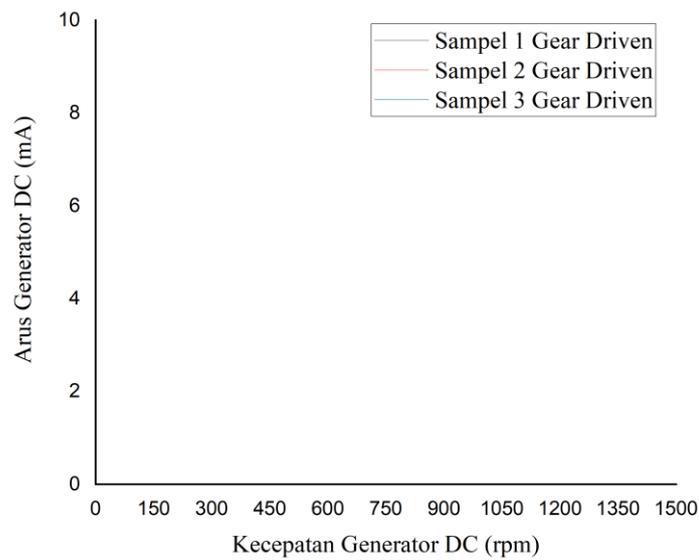
Gambar 3.6 Grafik hubungan kecepatan angin dengan kecepatan turbin



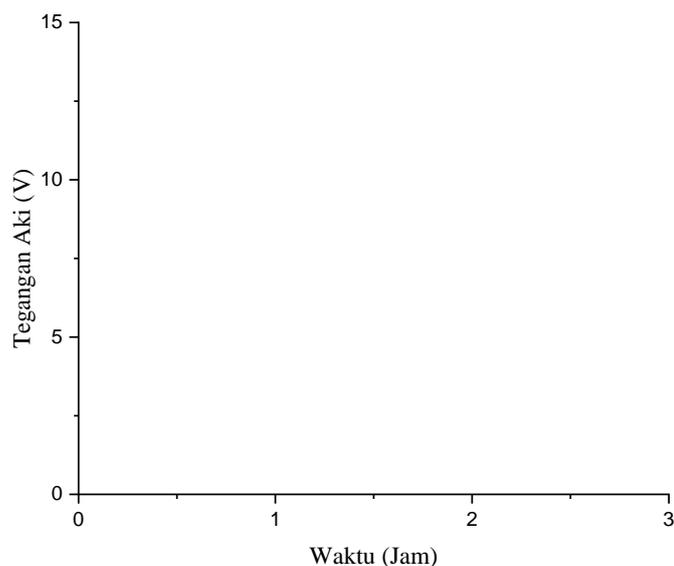
Gambar 3.7 Grafik hubungan kecepatan turbin terhadap kecepatan generator pada saat menggunakan masing-masing rasio jumlah gigi *gear driven*



Gambar 3.8 Grafik hubungan kecepatan generator terhadap tegangan yang dihasilkan pada saat menggunakan masing-masing rasio jumlah gigi *gear driven*



Gambar 3.9 Grafik hubungan kecepatan generator dengan arus yang dihasilkan pada saat menggunakan masing-masing rasio jumlah gigi *gear driven*



Gambar 3.10 Grafik hubungan waktu pengecasan dengan tegangan aki

3.6 Metode Analisis

Dalam menganalisis pengaruh kecepatan angin terhadap kecepatan turbin ventilator cara yang dilakukan adalah dengan membandingkan data nilai kecepatan angin yang diukur menggunakan alat ukur anemometer dengan data nilai kecepatan putaran turbin ventilator yang diukur menggunakan alat ukur tachometer. Selanjutnya untuk menganalisis pengaruh jumlah gigi pada *gear driven* terhadap perubahan kecepatan pada generator dapat dilakukan dengan membandingkan kecepatan pada turbin ventilator dengan kecepatan generator pada saat menggunakan masing-masing rasio jumlah gigi *gear driven*. Kemudian untuk menganalisis karakteristik elektrik nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh perubahan kecepatan generator dapat dilakukan dengan cara mengukur tegangan, dan arus listrik generator menggunakan multimeter setelah terhubung dengan beban berupa lampu LED. Kemudian untuk menganalisis karakteristik elektrik nilai tegangan yang dihasilkan oleh generator terhadap waktu pengecasan aki adalah

dengan cara mengukur besarnya tegangan pada aki setiap pengukuran yang dilakukan secara berkala. Untuk menganalisis besarnya daya yang dihasilkan oleh generator dilakukan dengan menghitung menggunakan persamaan 3.1.

Kemudian untuk menganalisis besarnya daya yang dihasilkan oleh angin dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan 3.2. Satu baling-baling/*blade* turbin memiliki luas sebesar $0,04 \text{ m}^2$, sementara total baling-baling yang ada pada turbin adalah 24 buah, sehingga total luas baling-baling/*blade* turbin adalah sebesar $0,59 \text{ m}^2$, dan massa jenis angin adalah $1,20 \text{ kg/m}^3$. Dengan demikian perhitungan daya angin dapat disederhanakan menjadi persamaan 3.4 di bawah ini.

$$\text{Daya Angin (W)} = 0,59(\text{kg/m}) \cdot v^3(\text{m/s}^3) \quad (3.4)$$

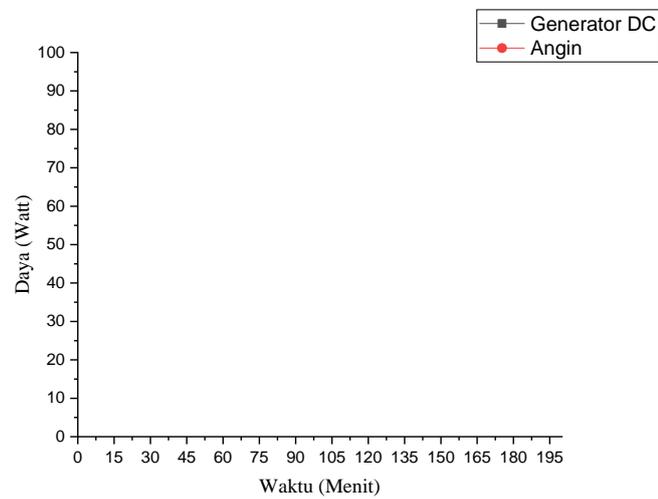
Selanjutnya untuk menganalisis besarnya efisiensi yang dihasilkan oleh turbin ventilator dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan 3.3.

Hasil analisis perhitungan daya angin, daya listrik yang dihasilkan oleh generator DC dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin ventilator kemudian di masukkan ke dalam **Tabel 3.11** serta diplot ke dalam gambar grafik **Gambar 3.11** dan **Gambar 3.12**.

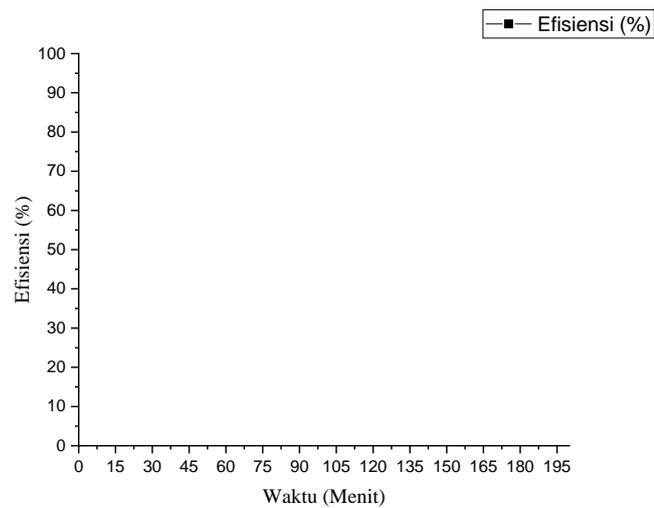
Oleh karena itu metode analisis yang tepat digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Data yang didapatkan dari hasil pengamatan dan perhitungan selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik.

Tabel 3.7 Hasil Perhitungan Daya Turbin, Daya Listrik yang Dihasilkan oleh Generator DC dan Efisiensi yang Dihasilkan oleh Turbin Ventilator

No	Waktu	Daya Generator DC (W)	Daya Angin (W)	Efisiensi (%)
1				
2				
...				
...				
12				



Gambar 3.11 Grafik hubungan daya angin dan generator terhadap waktu



Gambar 3.12 Grafik hubungan kecepatan angin terhadap efisiensi turbin

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian pemanfaatan turbin angin tipe *cyclone* untuk pengecasan aki dengan menggunakan prinsip transmisi roda tipe *spur gear* dapat disimpulkan bahwa:

1. Kecepatan turbin meningkat secara signifikan seiring dengan peningkatan kecepatan angin, didapatkan nilai r^2 terbaik dari ketiga analisis regresi linear masing-masing rasio *gear driven* sebesar 0,92142, dan didapatkan kecepatan turbin tertinggi sebesar 408,9 rpm yang terjadi pada saat menggunakan *gear driven* dengan rasio gigi 20.
2. Kecepatan generator meningkat secara signifikan seiring dengan peningkatan kecepatan turbin, didapatkan nilai r^2 terbaik dari ketiga analisis regresi linear masing-masing rasio *gear* sebesar 0,9985 yang terjadi pada saat menggunakan *gear driven* dengan rasio gigi 20, dan didapatkan kecepatan generator tertinggi sebesar 2127,8 rpm yang terjadi pada saat menggunakan *gear driven* dengan rasio gigi 10.
3. Tegangan aki meningkat cukup signifikan seiring dengan peningkatan kecepatan generator, didapatkan nilai r^2 terbaik dari analisis regresi linear sebesar 0,89499 yang terjadi pada saat menggunakan *gear driven* dengan rasio

gigi 15, dan tegangan maksimum generator didapatkan sebesar 9,8 V yang terjadi pada saat menggunakan *gear driven* dengan rasio gigi 10.

4. Arus generator mengalami peningkatan yang drastis pada beberapa titik, didapatkan nilai r^2 terbaik dari ketiga analisis regresi polynomial masing-masing rasio *gear driven* sebesar 0,964434 yang terjadi pada saat menggunakan *gear driven* dengan rasio gigi 20, dan didapatkan arus maksimum generator sebesar 0,150 yang terjadi pada saat menggunakan *gear driven* dengan rasio gigi 10.
5. Tegangan aki mengalami peningkatan tegangan total sebesar 5 V selama dilakukan pengisian menggunakan generator melalui modul *solar charge controller* selama 3 jam.
6. Efisiensi turbin dalam mengkonversi energi angin menjadi listrik mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya kecepatan angin. Daya yang dihasilkan oleh angin terlalu besar seiring dengan bertambahnya kecepatan angin, sementara daya yang dihasilkan oleh generator tidak dapat mengimbangi daya yang dihasilkan angin seiring dengan bertambahnya kecepatan angin. Dalam penelitian ini, efisiensi maksimal berhasil dicapai oleh turbin angin adalah sebesar 1,843% saat menggunakan *gear driven* dengan rasio gigi 10.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Mengganti atau memodifikasi turbin, sistem transmisi, atau generator lain untuk membandingkan efisiensi yang dapat dihasilkan.

2. Perbandingan rasio jumlah gigi yang digunakan tidak terlalu besar untuk meminimalisir suara gesekan yang dihasilkan oleh gigi *gear*.
3. Membuat turbin angin menggunakan sistem transmisi yang dapat dikendalikan secara otomatis menyesuaikan dengan kecepatan angin pada kondisi tertentu menggunakan kontroller atau pengendali jenis lainnya.
4. Memasang sistem turbin angin tipe *cyclone* yang sudah dibuat pada bangunan seperti rumah atau gedung untuk menerapkan fungsi utama dari turbin *cyclone* yaitu sebagai ventilator.

DAFTAR PUSTAKA

- Alit, I. B., Nurchayati, N., dan Pamuji, S. H. (2016). Turbin angin poros vertikal tipe Savonius bertingkat dengan variasi posisi sudut. *Dinamika Teknik Mesin*, 6(2).
- Adinata, D. A. (2019). *Pembuatan Roda Gigi Dan Puli Sebagai Pemindah Daya Dan Putaran Pada Prototipe Turbin Angin Savonius Sebagai Pembangkit Listrik Energi Terbaharui* [Skripsi]. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Anastasya, M. D., Setiawan, A., dan Aminudin, A. (2020). Simulasi Generator Sinkron Magnet Permanen 36 Slot 12 Pole menggunakan Perangkat Lunak MagNet Infolytica. *Jurnal Prosiding Seminar Nasional Fisika 6.0*, 197–204.
- Budiprayitno, S., Prasetyo, A., Ismarningtyas, Y., & Rahmatika Yunitasari, D. (2020). Vertical Axis Wind Turbine Portable Sebagai Solusi Peningkatkan Rasio Elektrifikasi Untuk Daerah-Daerah Terpencil. *Jurnal AMORI*, 1, 23–28.
- Budiyanto, F., dan Wibowo, H. (2014). Generator Turbin Angin Putaran Rendah. *Engineering: Jurnal Bidang Teknik*, 5(2), 23–31.
- Culp, Archie W., (1991). *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*. Jakarta: Erlangga.
- Daryanto. (2001). *Teknik Servis Mobil*. Jakarta. PT. Rineke cipta.
- Erich Hau, (2005). *Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Application, Economics, 2nd Edition*, terjemahan Horst von Renuard, Springer, Germany.
- Epa, A., Margianto, dan Sujatmiko. (2017). Analisa Pengaruh Kecepatan Putar yang dihasilkan Turbincyclone Terhadap Daya Generator sebagai Pembangkit Listrik Skala Rendah. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(01).
- Halliday, David., dan Resnick, Robert. (1992). *Fisika Edisi:3 Jilid 1*. Erlangga, Jakarta.
- Haurissa, J., dan Santoso, S. E. (2017). Studi Analisa Turbin Ventilator Menjadi Pembangkit Listrik. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 76–86.

- Jamaludin. (2019). Analisa Pemanfaatan Turbin Ventilator Sebagai Sumber Listrik Skala Rumah Tangga. *Simposium Nasional Multidisiplin (SinaMu)*, 1.
- Kurniadi, F. (2016). *Pembuatan Turbin Ventilator* [Karya Ilmiah]. Politeknik Negeri Padang.
- Kementrian ESDM. (2019). *Outlook Energi Indonesia*. National Energy Council, Sekretariat General. Jakarta.
- Marnoto., T, (2010), *Peningkatan Efisiensi Kincir Angin Poros Vertikal Melalui Sistem Buka Tutup Sirip Pada 3 Sudu*, Jurusan Teknik Kimia, Teknologi Industri, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”., Yogyakarta.
- Miptahudin, U. (2019). *Hubungan Gear Ratio Terhadap Momen Dan Putaran Pada Transmisi Mobil Kijang* [Skripsi]. Sekolah Tinggi Keguruan dan Ilmu Pendidikan (STKIP) Sebelas April Sumedang.
- Nurtjahjomulyo, A. (2010). Rancang Bangun Generator Turbin Angin Tipe Aksial Kapasitas 200 W. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 4(2).
- Palittin, Ayub. (2018). *Analisa Sistem Transmisi Manual Pada Mobil FordRanger 3000cc* [Karya Ilmiah]. Progam Studi Teknik Mesin Politeknik Negeri Samarinda.
- Priyambodo, A. D., dan Agung, A. I. (2019). Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Generator Dc Di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. *Jurnal Teknik Elektro*, 08, 285–292.
- Pudjanarsa, Astu dan Djati Nursuhud. (2006). *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta. ANDI.
- Putranto, A. (2011). *Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal untuk Penerangan Rumah Tangga* [Karya Ilmiah]. Universitas Diponegoro.
- Sa'diyah, Aminatus., dkk. (2022). *Fisika Dasar Pada Industri*. PT. Global Eksekutif Teknologi. Padang.
- Saputra, M. (2016). Kajian Literatur Sudu Turbin Angin untuk Skala Kecepatan Angin Rendah. *Jurnal Mekanova*, 2(1), 74–83.
- Sugiono, Didik. (2014). *Analisa Performa Turbin AirPelton Dengan Sudu Antara 14, 16 dan 18 untuk Menyalakan Lampu* [Skripsi]. Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya.
- Sukandi, A., Sahrin, F., Fadli, dan Ulfiana, A. (2018). Optimalisasi Putaran Generator Pada Turbin Angin Horizontal Menggunakan Transmisi Bertingkat. *Seminar Nasional Teknik Mesin*, 47–55.

- Sularso. dan Suga, K. (2008). *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta. Pradnya Paramita.
- Sunarlik, W. (2011). Prinsip Kerja Generator Sinkron. *Jurnal November*.
- Supardi, A., Budiman, A., dan Khairudin, R. (2016). Pengaruh Kecepatan Putar dan Beban Terhadap Keluaran Generator Induksi 1 Fase Kecepatan Rendah. *Jurnal Teknik Elektro*. 16(01).
- Suryadi, A., Asmoro, P. T., dan Raihan, R. (2019). Pemanfaatan Turbin Ventilator sebagai Pembangkit Listrik Alternatif. *In Prosiding Seminar Nasional Teknoka* (Vol. 4).
- Tipler, P.A., 1998. Fisika untuk Sains dan Teknik-Jilid I (terjemahan). Jakarta. Erlangga.
- Tumembow, M. N., dan Siwi, H. (2021). Studi Pemanfaatan Turbin Ventilator untuk Energi Alternatif. *Jurnal Masina Nipake Jurusan Teknik Mesin*, 1(1), 9–23.
- Wibawa, Unggul. (2017). Pendekatan Praktis Pembangkit Energi Baru & Terbarukan. Malang. UB-Press.