

TESIS

**DESAIN TURBIN ULIR (*ARCHIMEDES SCREW TURBINE*)
PADA SUNGAI *HEAD* RENDAH
(SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO
UNTUK SUPLAI PENGISIAN BATERAI KENDARAAN LISTRIK)**

Disusun dan diajukan oleh:

**MUHAMMAD AMIN
P082191003**



**PROGRAM MAGISTER TEKNIK PERENCANAAN PRASARANA
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**DESAIN TURBIN ULIR (*ARCHIMEDES SCREW TURBINE*)
PADA SUNGAI *HEAD* RENDAH
(SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO
UNTUK SUPLAI PENGISIAN BATERAI KENDARAAN LISTRIK)**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Perencanaan Prasarana

Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD AMIN
P082191003

Kepada

PROGRAM MAGISTER TEKNIK PERENCANAAN PRASARANA
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**DESAIN TURBIN ULIR (ARCHIMEDES SCREW TURBINE)
PADA SUNGAI HEAD RENDAH
(SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO
UNTUK SUPLAI PENGISIAN BATERAI KENDARAAN LISTRIK)**

Disusun dan diajukan oleh:

MUHAMMAD AMIN

Nomor Pokok P082191003

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Program **Studi Magister Teknik Perencanaan Prasarana**
Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin
pada tanggal **04 Agustus 2023**
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Prof. Baharuddin Hamzah, ST., M.Arch., Ph.D

NIP: 19690308 199512 1 001

Dr. Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, MT

NIP: 196703 199204 2 001

Ketua Program Studi

Dekan Sekolah Pascasarjana

Dr. Ir. Idawarni J. Asmal, MT

NIP: 19650701 199403 2 001



Prof. dr. Budu, Ph.D., Sp.M(K), M.Med.Ed

NIP: 19661231 199503 1 009

PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Amin
NIM : P082191003
Program Studi : Teknik Perencanaan Prasarana

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis ini benar-benar merupakan hasil karya saya melalui bimbingan Prof. Baharuddin Hamzah, ST.,M.Arch.,Ph.D dan Dr. Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, MT dan bukan merupakan pengambilalihan pemikiran atau tulisan orang lain. Bahwa bagian-bagian pada penulisan tesis yang saya kutip dari karya orang lain, telah dituliskan secara jelas berdasarkan sumbernya dengan berpedoman pada kaidah dan etika penulisan tesis.

Jika dikemudian hari terbukti atau dibuktikan baik sebahagian atau keseluruhan tesis ini merupakan karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi terhadap perbuatan tersebut.

Makassar, 08 Agustus 2023

Yang Menyatakan



Muhammad Amin

UCAPAN TERIMA KASIH

Bismillahirrahmaanirrahim

Dengan ucapan Alhamdulillah, segala puji dan syukur kita panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan hasil penelitian tesis ini yang berjudul “**Desain Turbin Ulir (Archimedes Screw Turbine) pada Sungai Head Rendah (Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Untuk Suplai Pengisian Baterai Kendaraan Listrik)**” sebagai persyaratan untuk mendapatkan gelar Magister Teknik pada Jurusan Teknik Perencanaan Prasarana Fakultas Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin.

Tesis ini dapat terselesaikan berkat peran serta dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Baharuddin Hamzah, ST., M.Arch., Ph.D. selaku pembimbing pertama dan Ibu Dr. Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, MT. selaku pembimbing kedua, yang telah meluangkan waktu dalam membimbing dan mengarahkan kami selama proses penyusunan tesis ini hingga selesai.
2. Ibu Dr. Ir. Idawarni J. Asmal, MT. selaku Kepala Program Studi Teknik Perencanaan Prasarana, sekaligus penguji kami, atas arahan dan nasehatnya, sebagai orang tua kami di kampus dan senantiasa memberikan masukan kepada kami.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin., ST., MT. selaku penguji kami sekaligus sebagai dosen kami sewaktu menempuh sarjana Teknik Mesin di Fakultas Teknik Unhas, senior dan kakak kami, yang senantiasa memberikan arahan, nasehat dan bimbingan sampai saat ini.
4. Bapak Dr. Yusran., ST., MT. selaku penguji kami, yang senantiasa memberikan masukan, arahan dan nasehat selama menyusun tesis ini hingga selesai.
5. Bapak dan Ibu dosen Pascasarjana terkhusus Program Studi Teknik Perencanaan dan Prasarana yang telah memberikan bimbingan dan ilmunya kepada kami.
6. Untuk Yati, Aulia, Ukka, Miftah dan Fadil teman seangkatan dan seperjuangan, yang selama ini saling berbagi dan saling mendukung setiap perjalanan dari awal hingga akhir masa studi, semoga kita senantiasa diberikan keberkahan dari perjuangan yang telah kita lakukan.
7. Kepada semua sahabat yang memberikan banyak dukungan dan semangat selama masa penyusunan tesis ini yang tentunya penulis tidak dapat sebutkan satu persatu.

Dan yang paling utama dan orang yang paling kami sayangi, kedua orang tua kami, Istri dan anak kami (Niswa dan Khalizah) serta saudara-saudara kami atas kasih sayang dan bantuan yang tak akan pernah terlupakan.

Sejauh ini penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan tesis ini, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, mengharapkan saran dan kritik yang membangun.

Makassar, Agustus 2023



Penulis

ABSTRAK

MUHAMMAD AMIN SABE, *Desain Turbin Ulir (Archimedes Screw Turbine) pada Sungai Head Rendah (Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Untuk Suplai Pengisian Kendaraan Listrik)* (dibimbing oleh **Baharuddin Hamzah** dan **Rita Tahir Lopa**).

Turbin ulir merupakan salah satu turbin yang dapat beroperasi di bawah *head* rendah dengan kondisi debit yang variabel serta memiliki potensi untuk mempertahankan efisiensi efektif ketika *head* kurang dari 1 m, efisiensi operasional dapat mencapai 70%, ramah lingkungan. Tujuan penelitian adalah menganalisis parameter yang menentukan dimensi desain dan kinerja output turbin ulir, menganalisis parameter yang mempengaruhi kerja output turbin ulir terhadap suplai pengisian baterai kendaraan listrik dan menentukan lokasi titik sungai yang sesuai dengan *head* (h), kecepatan aliran air (v) dan debit total (Q_t) dari hasil desain. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah kuantitatif eksperimen dengan menganalisis desain turbin ulir menggunakan *formula* berdasarkan hasil kajian literatur, dengan menggunakan perangkat lunak Matlab versi R2021a untuk menganalisis desain turbin ulir lebih lanjut. Berdasarkan hasil analisis disimpulkan dimensi desain turbin ulir dengan *head* (h) = 0,84 m, menghasilkan daya output (P_{ASG}) sebesar 467,47 Watt untuk 1 unit turbin ulir, debit total (Q_t) = 51,19 m³/s, torsi total (T_{total}) = 9,09 Nm, putaran poros turbin (n) = 51,19 rad/s dan kecepatan aliran air axial pada turbin ulir (v_{axial}) = 0,65 m/s. Rata-rata kapasitas minimum input baterai kendaraan listrik sebesar 2.200 watt, maka untuk dapat mensuplai baterai kendaraan listrik membutuhkan 5 unit turbin ulir yang digabung paralel sehingga dapat menghasilkan daya output sebesar 2.337 watt. Batasan masalah penelitian ini adalah daya output yang dihasilkan dianggap konstan dengan mengabaikan daya yang terbuang pada generator.

Keywords: *Pembangkit piko hidro, Energi terbarukan, Daya output, Head air sungai, Baterai, Kendaraan listrik.*


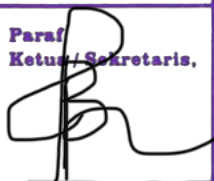
 GUGUS PENJAMINAN MUTU (GPM) SEKOLAH PASCASARJANA UNHAS	
Abstrak ini telah diperiksa.	Paraf Ketua/Sekretaris.
Tanggal : _____	

ABSTRACT

MUHAMMAD AMIN SABE, *Design of Archimedes Screw Turbine for Low-Head River (As Pico-Hydro Power Generator for Electric Vehicle Charging)* (supervised by **Baharuddin Hamzah** and **Rita Tahir Lopa**).

The screw turbine is one of the turbines that can operate under low head conditions with variable flow rates and has the potential to maintain effective efficiency when the head is less than 1 meter, achieving an operational efficiency of up to 70%, and environmentally friendly. The research objective is to analyze the parameters that determine the dimensions and performance of the screw turbine, analyze the parameters that affect the turbine's output in supplying electric vehicle battery charging, and determine the suitable river locations based on head (h), water flow velocity (v), and total flow rate (Q_t) from the design results. The research method used in this study is quantitative experimentation, analyzing the screw turbine design using formulas based on literature studies, and further analyzing the design using Matlab software version R2021a. Based on the analysis results, it is concluded that the screw turbine design with a head (h) of 0.84 m generates an output power (P_{ASG}) of 467.47 Watts for one unit of the screw turbine, with a total flow rate (Q_t) of 51.19 m³/s, total torque (T_{total}) of 9.09 Nm, turbine shaft rotation (n) of 51.19 rad/s, and axial water flow velocity in the screw turbine (v_{axial}) of 0.65 m/s. The average minimum capacity of the electric vehicle battery input is 2,200 watts, so to supply the electric vehicle battery, five parallel-connected screw turbines are required, resulting in a total output power of 2,337 watts. The limitation of this research is that the generated output power is considered constant, disregarding losses in the generator.

Keywords: *Pico-hydro generation, Renewable energy, Output power, Head, Battery, Electric vehicles.*

 GUGUS PENJAMINAN MUTU (GPM) SEKOLAH PASCASARJANA UNHAS	
Abstrak ini telah diperiksa. Tanggal : _____	Paraf Ketua / Sekretaris. 

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Kegunaan Penelitian	4
1.5.1. Kegunaan Teoritis	4
1.5.2. Kegunaan Praktis.....	4
1.6. Ruang Lingkup Penelitian	4
1.6.1. Ruang Lingkup Materi.....	4
1.6.2. Ruang Lingkup Wilayah	4
1.7. Sistematika Penulisan	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1. Pengertian PLTPH.....	7
2.2. Turbin Air	7
2.3. Jenis-jenis turbin ulir (<i>Archimedes Screw Turbine</i>).....	10
2.4. Kendaraan Listrik.....	12
2.4.1. <i>Battery Electric Vehicle</i> (BEV)	12

2.4.2.	<i>Plug-in Hybrid Electrical Vehicle (PHEV)</i>	12
2.4.3.	Teknologi Kendaraan Otomatis	12
2.4.4.	Teknologi Sensor	13
2.5.	Parameter yang menentukan dimensi desain turbin ulir	16
2.6.	Dimensi desain turbin ulir	21
2.7.	Parameter yang mempengaruhi kerja output dari turbin ulir	24
2.8.	Parameter yang mempengaruhi kerja output turbin ulir terhadap suplai pengisian baterai kendaraan listrik	25
2.9.	Penelitian Terdahulu.....	25
2.10	Sintesis Penelitian	35
2.11.	Kerangka Pikir Penelitian	36

BAB III METODE PENELITIAN

3.1.	Jenis Penelitian.....	37
3.2.	Lokasi Penelitian.....	38
3.3.	Rancangan Desain Penelitian	39
3.3.1.	Desain turbin ulir (<i>Archimedes Screw Turbine</i>)	39
3.3.2	Letak <i>gear box</i> , generator dan <i>bearing</i> pada turbin ulir	40
3.4.	Siklus desain turbin ulir untuk suplai kendaraan listrik	41
3.5.	Variabel Penelitian.....	42
3.6	Analisis Data.....	44
3.7.	Definisi Operasional	47
3.8.	Bagan Alir Penelitian	49

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.	Analisis parameter dimensi desain dan kinerja output turbin ulir	50
4.1.1.	Parameter awal untuk analisis desain.....	50
4.1.2.	Analisis hubungan antara <i>head</i> (h) dan	

	daya output (P_{ASG}) untuk sudut kemiringan turbin ulir (β)	52
4.1.3.	Analisis hubungan antara panjang ulir turbin (L) dengan daya output (P_{ASG})	53
4.1.4.	Analisis hubungan antara <i>pitch</i> (Λ) dengan Daya output (P_{ASG})	54
4.1.5.	Analisis debit total (Q_t) dan <i>head</i> (h) terhadap daya output (P_{ASG})	55
4.1.6.	Analisis putaran (n) dan torsi total (T_{total}) terhadap daya output (P_{ASG})	56
4.1.7.	Analisis panjang ulir turbin (L) dan <i>pitch</i> (Λ) terhadap <i>head</i> (h)	57
4.1.8.	Analisis panjang ulir turbin (L) dan <i>pitch</i> (Λ) terhadap daya output (P_{ASG})	58
4.1.9.	Analisis debit total (Q_t) dan diameter poros turbin (D_o) terhadap <i>head</i> (h)	60
4.1.10.	Analisis kecepatan aliran air (v) dan <i>head</i> (h) terhadap daya output (P_{ASG})	61
4.1.11.	Analisis kecepatan aliran air (v) dan debit total (Q_t) terhadap daya output (P_{ASG})	63
4.2.	Daya output turbin ulir terhadap suplai pengisian baterai kendaraan listrik	64
4.3.	Penentuan lokasi titik sungai yang sesuai dengan <i>head</i> (h), kecepatan aliran air (v) dan debit total (Q_t) dari hasil desain penelitian	69
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1.	Kesimpulan	70
5.2.	Saran	72
 DAFTAR PUSTAKA		73

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Kondisi pengeporasian pembangkit listrik tenaga air.....	9
Tabel 2.	Penentuan parameter awal desain turbin ulir.....	22
Tabel 3.	Parameter yang dianalisis dalam desain turbin ulir.....	22
Tabel 4.	Daftar penelitian terdahulu yang relevan.....	28
Tabel 5.	Penentuan parameter awal untuk analisis desain.....	50
Tabel 6.	Parameter yang menentukan dimensi desain turbin ulir.....	64
Tabel 7.	Parameter yang mempengaruhi kinerja output dari turbin ulir.	65
Tabel 8.	Spesifikasi baterai kendaraan dan motor listrik.....	66
Tabel 9.	Simulasi analisis desain turbin ulir.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Tipe turbin ulir.....	10
Gambar 2.	Desain turbin ulir (<i>Archimedes Screw Turbine</i>)	11
Gambar 3	Detail ulir pada <i>Archimedes Screw Turbine</i>	11
Gambar 4.	Model sederhana gaya F_1 dan F_2 dalam turbin ulir	18
Gambar 5.	Level variabel air	20
Gambar 6.	Dimensi desain turbin ulir (<i>Archimedes Screw Turbine</i>)	21
Gambar 7.	Kerangka pikir penelitian.....	36
Gambar 8.	Desain turbin ulir (<i>Archimedes Screw Turbine</i>).....	39
Gambar 9.	Letak <i>gear box</i> , generator dan <i>bearing</i> pada turbin ulir	40
Gambar 10.	Siklus desain turbin ulir untuk suplai kendaraan listrik	41
Gambar 11.	<i>Flowchart</i> analisis data.....	45
Gambar 12.	Tahapan analisis parameter turbin ulir berdasarkan tujuan penelitian.....	46
Gambar 13.	Bagan alir penelitian (<i>Flowchart</i>)	49
Gambar 14.	Input data analisis pada Matlab versi R2021a	51
Gambar 15.	Hasil grafik perbandingan parameter pada Matlab	51
Gambar 16.	Grafik analisis hubungan antara <i>head</i> (h) dengan daya output (P_{ASG}).....	52
Gambar 17.	Grafik analisis hubungan antara panjang ulir turbin (L) dengan daya output (P_{ASG})	53
Gambar 18.	Grafik analisis hubungan antara <i>pitch</i> (Λ) dengan daya output (P_{ASG})	54
Gambar 19.	Grafik analisis debit total (Q_t) dan <i>head</i> (h) terhadap daya output (P_{ASG})	55
Gambar 20.	Grafik analisis putaran (n) dan torsi total (T_{total}) Terhadap daya output (P_{ASG})	56
Gambar 21.	Grafik analisis panjang ulir (L) dan <i>pitch</i> (Λ) terhadap <i>head</i> (h).....	57
Gambar 22.	Grafik analisis panjang ulir (L) dan <i>pitch</i> (Λ) Terhadap daya output (P_{ASG})	59
Gambar 23.	Grafik debit total (Q_t) dan diameter poros turbin (D_o) terhadap <i>head</i> (h).....	60

Gambar 24.	Grafik kecepatan aliran air axial (v_{axial}) dan <i>head</i> (h) terhadap daya output (P_{ASG})	61
Gambar 25.	Grafik kecepatan aliran air axial (v_{axial}) dan debit total (Q_t) Terhadap daya output (P_{ASG})	63
Gambar 26.	Dimensi turbin ulir dalam menentukan <i>head</i> (h) = 0,80 m	66
Gambar 27.	Hasil analisis desain turbin ulir pada kemiringan (β) = 31° dan <i>head</i> (h) = 0,80 m	67
Gambar 28.	Titik koordinat Sungai Tallo.....	69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Data spesifikasi kendaraan listrik	75
Lampiran 2.	Tabel validasi melalui persamaan rumus (Exel) Hasil analisis desain turbin ulir.....	81
Lampiran 3.	Simulasi variabel bebas (independen) untuk Mendapatkan desain turbin ulir.....	82
Lampiran 4.	Aturan-aturan Energi Baru dan Terbarukan	85
Lampiran 5.	Pengambilan cetak/print out hasil analisis Matlab Versi 2021a	87
Lampiran 6.	Peta Topografi Kawasan Sungai Tallo	89
Lampiran 7.	Dokumentasi survei penentuan titik lokasi Sungai Tallo	90

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Notasi

Abjad

D_i	=	Diameter silinder poros turbin	(m)
D_o	=	Diameter turbin ulir	(m)
d_o	=	Jarak vertikal dari muka air ke dasar ulir	(m)
F_1	=	Gaya per satuan lebar pada permukaan	(N)
F_2	=	Gaya per satuan lebar pada permukaan	(N)
g	=	gravitasi (konstanta: 9.81 m/s ²)	(m/s ²)
h	=	<i>head</i> (Perbedaan tinggi antara titik masuk air dengan titik keluar air pada turbin ulir)	(m)
K	=	Kemiringan ulir	(-)
L	=	Panjang ulir pada poros turbin	(m)
L_B	=	Panjang poros turbin ulir	(m)
N	=	Jumlah lilitan pada turbin ulir	(-)
n	=	Kecepatan putaran turbin	(rad/s)
P_{ASG}	=	Daya output turbin ulir	(W)
P_{avail}	=	Daya yang tersedia dalam aliran pada turbin ulir	(W)
P_{out}	=	Daya keluaran/daya poros pada turbin ulir	(W)
Q	=	Laju aliran volume dengan asumsi tidak ada kehilangan kebocoran	(m ³ /s)
Q_l	=	Laju aliran volume pada kehilangan kebocoran	(m ³ /s)
Q_o	=	Laju aliran volume dimana air melimpah	(m ³ /s)
Q_t	=	Laju aliran volume total air pada turbin ulir/Jumlah air yang dihasilkan oleh turbin ulir dalam satuan waktu (debit total)	(m ³ /s)
R_i	=	Jari-jari turbin bagian dalam	(m)
R_o	=	Jari-jari turbin bagian Luar	(m)
T	=	Torsi	(Nm)
T_{total}	=	Torsi total	(Nm)
V	=	Volume air dalam satu siklus putaran turbin	(m ³)

V_T	=	Volume air dalam satu putaran turbin	(m ³)
v	=	Kecepatan aliran air pada turbin ulir	(m/s)
V_{radial}	=	Kecepatan aliran air sepanjang lilitan ulir (kecepatan radial) pada turbin ulir	(m/s)
V_{axial}	=	Kecepatan aliran air axial pada turbin ulir	(m/s)
Z_{max}	=	Kedalaman air maksimum	(m)
Z_{min}	=	kedalaman minimum air	(m)
Z_{wl}	=	Ketinggian permukaan air untuk faktor pengisian yang ditentukan f	(m)

Simbol

\square	=	Sudut kemiringan turbin	(°)
α	=	Sudut kemiringan ulir bagian luar	(°)
θ	=	Sudut kemiringan ulir bagian dalam	(°)
Δd	=	Perbedaan ketinggian antara dua sudu turbin yang berdekatan	(m)
Λ	=	<i>Pitch</i> (Jarak antara kedua sudu/daun ulir)	(m)
ρ	=	densitas air (konstanta: 1.000 kg/m ³)	(kg/m ³)
η	=	Efisiensi dari turbin ulir	(-)
ρ	=	Rasio radius	(-)
v	=	Rasio volume	(-)
λ	=	Rasio <i>pitch</i>	(-)
λv	=	Rasio volume turbin per satu putaran	(-)
(-)	=	Parameter tanpa dimensi	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia, meliputi sumber energi surya, sumber energi air dan mikrohidro, sumber energi angin, sumber energi panas bumi, sumber energi gelombang laut, dan sumber energi biomassa. Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, konsumsi energi saat ini juga memiliki potensi untuk efisiensi dan konservasi energi (Yusfan et al., 2023). Tertuang dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional pada Pasal 9 huruf f adalah tercapainya bauran energi primer yang optimal pada tahun 2025 peran energi baru dan energi terbarukan paling sedikit 23% dan pada tahun 2050 paling sedikit 31% sepanjang keekonomiannya terpenuhi.

Penyediaan energi di Indonesia diatur dengan Undang-undang Nomor 30 tahun 2007 tentang Energi, disusun dengan berdasarkan pada prinsip berkeadilan, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan guna mendukung terciptanya kemandirian energi dan ketahanan energi nasional. Implikasi dari kebijakan ini adalah perlunya diversifikasi energi untuk memenuhi kebutuhan energi dalam negeri, salah satunya dengan mengembangkan Energi Baru Terbarukan (EBT). Adapun turunan dari UU ini adalah Peraturan Pemerintah Nomor 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) (Erdiwansyah et al., 2022), disektor ketenagalistrikan terdapat pula Peraturan Presiden (Perpres) mengenai pemanfaatan energi terbarukan, yaitu Perpres Nomor 14 Tahun 2017 tentang Percepatan Infrastruktur Ketenagalistrikan. Serta Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik, dengan perspektif energi sebagai modal pembangunan, energi terbarukan memiliki peranan penting dalam pendorong sistem ekonomi hijau, berkelanjutan, dan rendah karbon. Pembangunan dengan kesadaran jangka panjang ini telah menjadi tren pembangunan di seluruh dunia, menyikapi semakin naiknya populasi, kebutuhan manusia, dan kegiatan manusia yang menyebabkan kerusakan lingkungan.

Potensi energi terbarukan yang cukup banyak untuk dimanfaatkan salah satunya energi air, potensi ini belum bisa dimanfaatkan secara optimal karena

keterbatasan teknologi turbin dalam memanfaatkan energinya, untuk *head* dan debit yang sedang hingga tinggi saat ini masih mengandalkan turbin Pelton, Francis dan Kaplan, sedangkan untuk *head* rendah belum dimanfaatkan dan dikembangkan secara maksimal, padahal di Indonesia mempunyai potensi yang sangat besar.

Tenaga air dengan skala mikro dan pikohidro dianggap sebagai solusi yang memungkinkan karena memiliki biaya investasi dan operasional yang lebih rendah daripada turbin angin dan tenaga surya, selain itu Indonesia memiliki potensi untuk menghasilkan energi baru dan energi terbarukan dengan mikro dan pikohidro hingga 19.385 MW, sedangkan kapasitas terpasang sebesar 197,4 MW pemanfaatannya baru sekitar 1% (Saefulhak et al., 2017). Selanjutnya dari data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, kontribusi Pembangkit Listrik Tenaga Air (*Hydropower*) dalam penyediaan Listrik hanya 6% dari kapasitas pembangkit listrik Indonesia dan pembangkit listrik tenaga air merupakan salah satu jenis penyedia energi di Indonesia. Tahun 2018 menempati urutan ke-4 (empat) di antara jenis sumber energi setelah minyak, batubara dan gas (Wijayanti et al., 2020).

Turbin ulir merupakan salah satu turbin yang dapat beroperasi di bawah *head* rendah (<5 m) dengan kondisi debit yang variable serta memiliki potensi untuk mempertahankan efisiensi tinggi bahkan ketika *head* mendekati nol (Williamson et al., 2014). Efisiensi operasional rata-rata 69%, dengan efisiensi maksimum lebih dari 75% (Lubitz et al., 2014). Juga ramah lingkungan khususnya pada habitat sungai dimana tes laboratorium menemukan ikan dengan berat kurang dari 1 kg tidak terluka oleh ujung sudu dengan kecepatan aliran kurang dari 4,5 m/s, pada kecepatan aliran yang lebih besar dapat ditambahkan karet diujung sudu untuk semakin mengurangi cedera ikan (Kiebel et al., 2009).

Turbin ulir dapat mengkonversi energi potensial dalam aliran air menjadi energi mekanik (Lubitz et al., 2014). Adapun proses perubahan energi pada turbin ulir hingga menjadi energi listrik yaitu volume air yang mengalir dari atas ke bawah menghasilkan tekanan statis menumbuk sudu-sudu turbin mengakibatkan sudu berputar dan memutar poros, selanjutnya daya dari poros ditransmisikan ke generator menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator nantinya didistribusikan setelah melalui *inverter*.

Potensi pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) khususnya tenaga air dengan skala mikro dan pikohidro dapat dimanfaatkan pada aliran sungai yang

mempunyai *head* rendah dimana tersebar diseluruh wilayah Indonesia. Penelitian ini juga bertujuan untuk menghasilkan kajian ilmiah tentang pembangkit listrik skala pikohidro pada turbin ulir (*Archimedes Screw Turbine*).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, adapun rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini yaitu:

- 1) Parameter apa yang menentukan dimensi desain dan kinerja output turbin ulir?
- 2) Parameter apa yang mempengaruhi kinerja output turbin ulir terhadap suplai pengisian baterai kendaraan listrik?
- 3) Merekomendasikan lokasi titik sungai yang sesuai dengan *head* (h), kecepatan aliran air (v) dan debit total (Q_t) dari hasil desain penelitian?

1.3. Tujuan Penelitian

- 1) Menganalisis parameter yang menentukan dimensi desain dan kinerja output turbin ulir.
- 2) Menganalisis parameter yang mempengaruhi kinerja output turbin ulir terhadap suplai pengisian baterai kendaraan listrik.
- 3) Menentukan lokasi titik sungai yang sesuai dengan *head* (h), kecepatan aliran air (v) dan debit total (Q_t) dari hasil desain penelitian.

1.4. Batasan Masalah

- 1) Parameter desain penelitian ini menggunakan rumus (*formula*) berdasarkan hasil kajian literatur, penelitian memfokuskan untuk menganalisis dimensi turbin ulir dengan daya output (P_{ASG}) yang dihasilkan untuk mensuplai baterai kendaraan listrik, dengan daya input baterai minimal 2.200 watt, dalam hal ini penelitian belum membandingkan analisis aktual/numerik dengan teoritis.
- 2) Metode yang digunakan untuk menganalisis penelitian ini adalah kuantitatif eksperimen dimana analisis dimensi menggunakan perangkat lunak Matlab versi R2021a.
- 3) Daya output turbin ulir (P_{ASG}) yang dihasilkan poros turbin ulir dianggap konstan dengan mengabaikan daya yang terbuang.

- 4) Pada penelitian ini, nilai output generator dianggap konstan dengan menyesuaikan putaran (n) dan torsi total (T_{total}) turbin ulir dari hasil analisis dengan asumsi daya los/kerugian pada generator tidak ada.
- 5) Lokasi penelitian akan direkomendasikan (ditentukan) setelah mendapatkan hasil analisis penelitian, dimana menyesuaikan antara hasil analisis *head* (h) dan debit total (Q_t) aliran sungai dengan kondisi lapangan.

1.5. Kegunaan Penelitian

1.5.1. Kegunaan Teoritis

Penelitian ini diharapkan menjadi salah satu kajian ilmu di bidang perencanaan dan pengembangan prasarana dalam Energi Baru Terbarukan yang ramah pada lingkungan serta diharapkan dapat menjadi referensi khususnya pembangkit listrik skala pikohidro pada turbin ulir (Archimedes Screw Turbine).

1.5.2. Kegunaan Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi mengenai pembangkit listrik skala pikohidro pada turbin ulir (Archimedes Screw Turbine) yang dapat dikembangkan para peneliti juga para pihak pemangku kebijakan Energi Baru Terbarukan sehingga dapat dikembangkan dengan maksimal dimana pemanfaatan baru 1% dari 19.385 MW dari potensi yang ada di wilayah Indonesia.

1.6. Ruang Lingkup Penelitian

1.6.1. Ruang Lingkup Materi

Ruang lingkup materi dalam penelitian ini mengenai desain optimal kinerja turbin ulir (Archimedes Screw Turbine) untuk sungai *head* rendah sebagai pembangkit listrik tenaga pikohidro, dimana menganalisa dimensi desain turbin ulir yang ideal serta parameter yang mempengaruhi kerja output dari turbin ulir dan menganalisa hubungan prestasi kerja output turbin ulir dengan suplai pengisian baterai kendaraan listrik.

1.6.2 Ruang Lingkup Wilayah

Ruang lingkup wilayah penelitian ini adalah aliran sungai Maros khususnya anak sungai Bulumarapa yang mengalir sepanjang wilayah Kabupaten Maros, mempunyai potensi besar untuk pengembangan dan pemanfaatan arus sungai menjadi energi listrik yang terbarukan.

1.7. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika pembahasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang Pendahuluan yang menguraikan tentang Latar Belakang Penelitian, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Batasan Masalah, Kegunaan Penelitian, Ruang Lingkup Penelitian dan Sistematika Penulisan.

BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang Kajian Pustaka tentang landasan teori, standar, peraturan yang berhubungan dengan penelitian ini, dengan susunan sebagai berikut: Pengertian PLTPH, turbin air, jenis-jenis turbin ulir, kendaraan listrik, parameter yang menentukan dimensi desain turbin ulir, dimensi desain turbin ulir, parameter yang mempengaruhi kerja output dari turbin ulir, parameter yang mempengaruhi kerja output turbin ulir terhadap suplai pengisian baterai kendaraan listrik, penelitian terdahulu, sintesis penelitian dan kerangka pikir penelitian.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metode penelitian akan membahas mengenai metode atau analisis yang akan digunakan dalam menjawab rumusan masalah penelitian. Hal yang dimuat dalam bab Metode Penelitian adalah: Jenis penelitian, rancangan desain penelitian, siklus desain turbin ulir untuk suplai kendaraan listrik, variabel penelitian, analisis data, definisi operasional dan bagan alir penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai hasil penelitian yang telah didapatkan, muatan dalam Bab Hasil dan Pembahasan adalah: sudut optimum turbin ulir, analisis debit total (Q_t) dan *head* (h) terhadap daya output (P_{ASG}) pada desain turbin ulir, analisis putaran (n) dan torsi total (T_{total}) pada turbin ulir terhadap daya output turbin ulir (P_{ASG}) pada desain turbin ulir, analisis panjang ulir turbin (L) dan *pitch* (Λ) pada turbin ulir terhadap *head* (h) pada desain turbin ulir, analisis panjang ulir turbin (L) dan *pitch* (Λ) pada turbin ulir terhadap daya output (P_{ASG}) pada desain turbin ulir, analisis debit total (Q_t) dan diameter poros turbin (D_o) pada turbin ulir terhadap *head* (h) pada desain turbin ulir, analisis kecepatan aliran air (v) dan *head* (h) terhadap daya output (P_{ASG}) pada desain turbin ulir, analisis kecepatan aliran air (v) dan debit total (Q_t) terhadap daya output (P_{ASG}) pada desain turbin ulir dan daya output turbin ulir terhadap suplai pengisian baterai kendaraan listrik.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan hasil penelitian yang telah didapatkan dan dianalisis lalu memberikan saran hasil penelitian

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Pengetian PLTPH

Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan energi air sebagai penggerakannya, misalnya saluran sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunnya air (*head*) dan jumlah debit air maupun tekanan airnya. PLTPH merupakan pembangkit listrik tenaga air skala pikohidro yang memiliki batasan daya sebesar < 5 kW (Koaksi Indonesia, 2019). Prinsip kerja dari pembangkit ini, yaitu memanfaatkan ketinggian jatuh air dan debit air pada sungai atau air terjun. Pada air yang dialirkan akan memutar turbin sehingga menghasilkan energi mekanik sehingga turbin berputar dan memutar generator (Saputra et al., 2019).

Berdasarkan daya listrik yang dihasilkan, pembangkit listrik tenaga air dibedakan menjadi (Koaksi Indonesia, 2019):

1. Pikohidro yang menghasilkan daya listrik < 5 kW
2. Mikrohidro yang menghasilkan daya listrik 5 kW – 100 kW
3. Minihidro yang menghasilkan daya listrik 100 kW – 1 MW
4. PLTA yang menghasilkan daya listrik > 1 MW

2.2. Turbin Air

Turbin air digunakan untuk merubah energi air menjadi energi putar, turbin yang dihubungkan dengan beberapa *pulley* digunakan untuk memutar generator. Terdapat 3 faktor penting dalam pemilihan jenis turbin, yaitu debit air, ketinggian jatuh air serta kecepatan putaran generator. Turbin air diklasifikasikan dengan beberapa cara, hal yang utama dalam klasifikasi turbin, yaitu berdasarkan cara turbin merubah energi potensial menjadi energi mekanik, turbin air diklasifikasikan menjadi:

1) Turbin reaksi

Turbin reaksi memanfaatkan energi potensial menjadi energi mekanik. Sudut pada turbin reaksi memiliki profil khusus sehingga menyebabkan penurunan selama melalui sudut. Perbedaan tekanan memberikan gaya pada sudut sehingga menyebabkan *runner* dapat berputar. Turbin yang termasuk dalam turbin reaksi adalah, turbin Francis, turbin Kaplan, dan turbin Propeller.



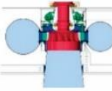

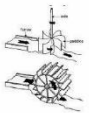
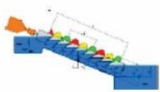
2) Turbin impuls

Turbin impuls merupakan turbin yang memanfaatkan energi potensial yang diubah menjadi energi kinetik dengan *nozzle*. Air yang dikeluarkan dari *nozzle* memiliki tekanan yang sangat tinggi untuk membentur sudut turbin. Air yang membentur sudut turbin, kecepatan air berubah sehingga terjadi perubahan momentum dan menyebabkan turbin berputar. Turbin yang termasuk dalam turbin impuls, antara lain turbin Pelton, turbin Turgo, dan turbin *Michell-bankin* (turbin *cross flow* atau *assberger*).

3) Turbin ulir (Archimedes Screw Turbine)

Turbin ulir atau *Archimedes Screw Turbine* merupakan turbin yang sudah ada pada zaman kuno yang dimanfaatkan sebagai pompa air untuk pengairan. Seiring dengan krisis energi dan terbatasnya potensi energi air dengan *head* yang tinggi, maka pada tahun 2007 seorang insinyur memodifikasi pompa *Archimedes Screw* yang dibalik dan membiarkan air mengendalikan pompa dan pada ujung pompa dipasang generator, maka dapat menghasilkan listrik selama generator tersebut tidak terendam air atau terkena air. Turbin ulir ini dapat digunakan pada *head* rendah, memiliki prinsip kerja dimana tekanan air yang melalui sudu-sudu turbin mengalami penurunan tekanan sejalan dengan penurunan kecepatan air akibat adanya hambatan dari sudu-sudu turbin maka tekanan air akan memutar turbin dan secara bersamaan memutar generator (Saputra et al., 2019).

Tabel 1. Kondisi pengoperasian pembangkit listrik tenaga air

Jenis	Turbin	head (m)	Debit aliran (m ³ /s)	Catatan
Implus	Pelton 	>50	<50	Semburan air bertekanan tinggi diarahkan pada sudu dan hampir semua energi aliran diubah menjadi energi mekanik
	Turgo 	>50	<10	Sebuah modifikasi Pelton yang semburan air yang besar diarahkan pada sudut 20 derajat ke sudu-sudu
Reaksi	Fransiskus 	>40	>0,2	Efisiensi bisa mencapai 90% bahkan sampai 95%
	Kaplan 	<50	>0,5	Aliran air yang mendorong melewati baling-baling menghasilkan tekanan besar, sudut baling-baling dapat bervariasi untuk mengoptimalkan ekstraksi energi
Kuasi-Statis Tekanan	Kincir air 	<10	<5	Efisiensi efektif 50% - 70%
	Turbin ulir 	<10	>0,2	Efisiensi efektif 60% - 80% dan tetap tinggi meskipun head yang tersedia mendekati nol

2.3. Jenis-jenis Turbin Ulir (*Archimedes Screw Turbine*)

Sudu-sudu turbin merupakan bagian penting dalam suatu sistem konversi energi air sebagai komponen yang berinteraksi langsung dengan air. Turbin air tipe *screw* dibagi dalam dua jenis yaitu tipe *steel trough* dan tipe *closed compact instalation*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Turbin ulir tipe *steel trough* adalah tipe turbin yang pada bagian sudu-sudunya terbuka, sehingga air yang mengalir ke sudu turbin hanya selebar *bucket*. Sedangkan untuk turbin ulir tipe *closed compact instalation* merupakan jenis turbin yang memiliki instalasi keseluruhannya tertutup. Pada turbin tipe ini memungkinkan air yang mengalir menuju sudu turbin hampir bisa memenuhi bagian yang menutupi instalasi turbin (Saefudin et al., 2017).

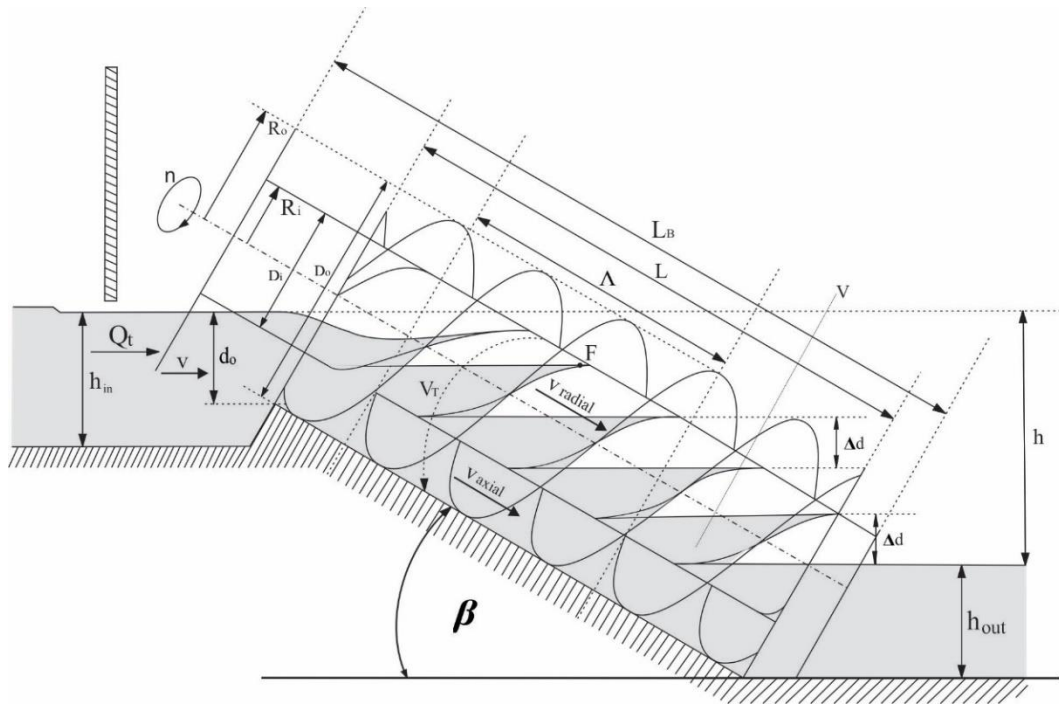


Gambar 1. Tipe Turbin Ulir (a) Tipe *steel trough* dan (b) Tipe *closed Compact Instalation*

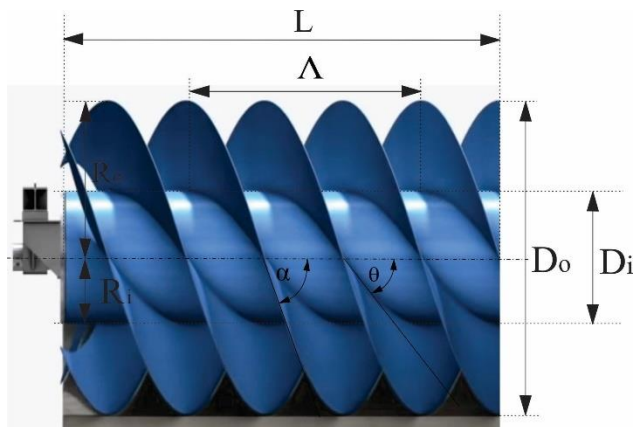
Beberapa keunggulan turbin ulir dibandingkan dengan jenis turbin air lainnya yaitu:

- a. Baik dikembangkan pada daerah yang memiliki sumber air dengan debit yang cukup besar (sungai) namun hanya memiliki *head* yang rendah.
- b. Tidak memerlukan sistem kontrol yang sangat rumit seperti turbin lainnya.
- c. Tidak merusak ekologi sungai dalam hal ini dampak terhadap makhluk hidup air, contohnya (ikan).
- e. Memiliki efisiensi relatif tinggi.

(Kiebel et al., 2009).



Gambar 2. Desain turbin ulir (*Archimedes Screw Turbine*)



Gambar 3. Detail ulir pada *Archimedes Screw Turbine*

2.4. Kendaraan Listrik

2.4.1. *Battery Electric Vehicle (BEV)*

Mengandalkan energi yang tersimpan dalam kemasan baterai, mobil listrik jenis BEV dapat menjangkau jarak tempuh 100 sampai 250 km dalam sekali pengisian daya penuh, untuk kelas yang lebih tinggi, jarak tempuh bisa lebih jauh mencapai 300 sampai 500 km (Grunditz, E.A., et al dalam Aziz et al., 2020).

Rentang jarak tempuh dapat dipengaruhi oleh kondisi jalan, iklim, dan jenis baterai, karena hanya mengandalkan daya yang tersimpan di baterai, mobil listrik jenis BEV tidak mengeluarkan emisi seperti karbon dioksida (CO₂) dan emisi polutan lainnya, seperti logam berat, yaitu zat timbal (Pb). Baterai pada dasarnya adalah media penyimpanan yang terdiri dari dua elektroda pada elektrolit. Elektrolit ini menyediakan media untuk pertukaran ion yang menghasilkan listrik, inovasi terbaru dalam baterai listrik adalah Li-ion dimana telah mendorong untuk menjadi pemimpin pasar untuk digunakan di sebagian besar elektronik genggam, portabel serta kendaraan listrik. Hal ini terjadi karena baterai Li-ion dapat digunakan berkali-kali (life-cycle) dan mempunyai efisiensi yang tinggi (Y. Miao et al dalam Aziz et al., 2020).

2.4.2. *Plug-in Hybrid Electrical Vehicle (PHEV)*

Berbeda dengan BEV yang hanya mengandalkan energi dari penyimpanan baterai, kendaraan listrik berjenis *Plug-in Hybrid Electrical Vehicle* (PHEV) memiliki fleksibilitas yang lebih dalam hal sumber bahan bakar. Tentu PHEV memiliki sumber energi listrik yang di simpan pada baterai namun selain itu PHEV juga bisa dijalankan dengan menggunakan sumber energi dari pembakaran bahan bakar minyak, ini menjadi salah satu keunggulan kendaraan listrik jenis PHEV.

Studi diperkirakan bahwa PHEV yang dijalankan sejauh 40 mil hanya dengan menggunakan sumber energy listrik maka akan sebanding dengan 45% pemakaian mesin dengan menggunakan sumber energi dari minyak bumi (T. Markel et al dalam Aziz et al., 2020). Berdasarkan dari penggabungan mesinnya, PHEV dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu: Hibrid Seri, Hibrid Paralel dan Hibrid Gabungan (kombinasi seri dan paralel).

2.4.3. Teknologi Kendaraan Otomatis

Teknologi kendaraan otomatis, mobil dapat mengemudi dengan bantuan sedikit atau tanpa kendali manusia, mobil diintegrasikan dengan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang di dalamnya telah terprogram dan

tertanam sistem cerdas. *Autonomous vehicle* atau kendaraan otomatis menggabungkan berbagai macam sensor serta menganalisis data sensor tersebut yang kemudian dapat mendeteksi dan membedakan objek yang berada di lingkungan sekitar kendaraan, dari hasil analisa data tersebut mobil dapat membedakan objek seperti manusia/pejalan kaki ataupun benda lain yang berada di sekitarnya untuk menghindari kecelakaan yang tidak diinginkan.

Metode pengaturan kendali *autonomous vehicle* menggunakan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak yang memanfaatkan algoritma sistem kecerdasan buatan berupa *machine learning* dan *deep learning*, sehingga sistem dapat belajar dan mempelajari berbagai objek dan perilaku kendaraan di berbagai kondisi (Nuryanto, E., et al dalam Aziz et al., 2020).

Mengingat banyak perangkat lunak yang sulit untuk digunakan serta sedikit yang dapat belajar, ada beberapa perangkat lunak yang telah dianggap bisa untuk memenuhi kebutuhan sistem mobil otomatis, seperti JESS (*Java Expert System Shell*) yang dikembangkan oleh *Ernest Friendmant-Hill*. Semua sistem tersebut dibangun dengan menggunakan salah satu atau gabungan dari bahasa pemrograman Java, C, C++, LISP, dan lainnya.

Sistem lain yang sudah banyak digunakan adalah ADAS (*Advanced Driver Assistant System*). ADAS memungkinkan mobil bergerak semi otomatis. Dikatakan semi-otomatis karena gerakan mobil masih selalu dalam pantauan pengemudi/operator meskipun sudah berjalan sendiri sesuai algoritma yang diberikan, sementara sistem akan memberikan arahan dan peringatan kepada pengemudi/operator bila ada informasi yang penting atau meminta persetujuan dari pengemudi (Nuryanto, E., et al dalam Aziz et al., 2020).

2.4.4. Teknologi Sensor

Pembahasan teknologi sensor hanya difokuskan pada beberapa sensor lingkungan sekitar kendaraan (Radar, Lidar, Ultrasonik dan Kamera) yang dimanfaatkan sebagai alat bantu dalam mendeteksi obyek atau benda yang ada di sekitar mobil dengan jarak tertentu untuk penerapan kendaraan otomatis (*autonomous vehicle*).

a. Radar

Radio Detection and Ranging (Radar) merupakan teknologi deteksi objek dan jarak memanfaatkan pantulan gelombang radio, panjang

gelombang yang dipancarkan oleh radar sangat bervariasi. Dalam sistem radar umum digunakan frekuensi 24 GHz atau 77 GHz. Setiap panjang gelombang atau frekuensi memiliki keunggulannya masing-masing. Frekuensi 77 GHz mempunyai keunggulan dengan akurasi jarak yang tinggi dan pengukuran kecepatan yang lebih presisi. Sedangkan keuntungan menggunakan frekuensi 24 GHz adalah kebutuhan antena yang lebih kecil sehingga meminimalisir terjadinya interferensi baik ke luar maupun ke dalam sistem.

Perbedaan mendasar dalam pengaplikasian teknologi radar yang digunakan sebagai deteksi dengan jarak pendek, menengah atau jauh. Untuk jarak pendek pemanfaatan radar dapat digunakan sebagai sistem pembantu parkir, deteksi jalur/lorong, deteksi *blind spot*, kontrol jarak otomatis, alat pandu pengereman dan lain sebagainya. Untuk jarak menengah atau jauh radar bisa dimanfaatkan untuk mengidentifikasi situasi bahaya dan mencegah tabrakan.

b. Lidar

Lidar (*Light Detection and Ranging*) dapat mendeteksi objek sekitar dengan memanfaatkan pantulan cahaya. Teknologi lidar dapat dimanfaatkan untuk mengukur properti cahaya yang tersebar dan menemukan jarak atau informasi lain dari target yang jauh. Sumber cahaya yang digunakan adalah radiasi cahaya yang dihasilkan oleh laser. Laser akan mengirimkan (TX) berkas sinar ke objek yang nantinya dipantulkan dan diterima oleh penerima (RX) yang peka terhadap cahaya laser. Cahaya laser yang dikirimkan berada di dimensi cahaya tampak ataupun cahaya tak tampak berupa pancaran dan penerima inframerah.

c. Ultrasonik

Prinsip kerja perangkat ultrasonik hampir sama dengan teknologi Radar dan Lidar. Ada perbedaan frekuensi yang digunakan, di mana teknologi ultrasonik menggunakan pancaran dan penerima suara ultra dengan rentang frekuensi di atas rentang suara yang dapat didengar oleh manusia atau > 20 kHz. Perangkat ultrasonik akan memancarkan sinyal yang digunakan untuk mengukur jarak terhadap objek di depannya.

d. Kamera

Teknologi kamera yang ditanamkan dalam mobil listrik adalah kamera berjenis kamera 360 derajat untuk menangkap gambaran lengkap kondisi sekitar mobil. Kamera bisa disebut sebagai mata tambahan pengemudi untuk melihat situasi di sekitar mobil. Hasil yang didapat oleh kamera dapat langsung ditayangkan di monitor pengemudi, atau dengan bantuan sistem pengolahan citra digital dapat secara otomatis mendeteksi objek sekitar dan memberi masukan pada sistem kontrol yang selanjutnya dieksekusi oleh unit aktuator. Untuk pengembangan teknologi yang lebih tinggi, penerapan sensor kamera ini dapat membantu dalam merealisasikan sistem kendaraan otomatis (*Autonomous Vehicle*).

2.5. Parameter yang menentukan dimensi desain turbin ulir

1. Sudut kemiringan turbin (Rorres, 2000):

$$\phi \leq \alpha \quad (1)$$

$$\phi \leq \theta \quad (2)$$

$$K = \tan \phi \quad (3)$$

ϕ = Sudut kemiringan turbin ($^{\circ}$)

α = Sudut kemiringan ulir bagian luar ($^{\circ}$)

θ = Sudut kemiringan ulir bagian dalam ($^{\circ}$)

K = Kemiringan ulir (Parameter tanpa dimensi)

2. *Pitch* (Jarak antara kedua sudu/daun ulir) (Rorres, 2000):

$$\Lambda = 2.4R_o \text{ if } \phi < 30^{\circ} \quad (4)$$

$$\Lambda = 2.0R_o \text{ if } \phi = 30^{\circ} \quad (5)$$

$$\Lambda = 1.6R_o \text{ if } \phi > 30^{\circ} \quad (6)$$

Λ = *Pitch* (m)

R_o = Jari-jari turbin bagian luar (m)

3. Rasio Volume

Untuk menentukan rasio volume digunakan persamaan berikut (Rorres, 2000):

$$v = \frac{V_T}{\pi R_o^2 A} \quad (7)$$

$$V_T = 1.68 R_o^2 \quad (8)$$

v = Rasio volume (Parameter tanpa dimensi)

V_T = Volume air dalam satu putaran turbin (m^3)

4. Rasio Radius

Untuk menentukan rasio radius digunakan persamaan berikut (Rorres, 2000):

$$\rho = \frac{R_i}{R_o} \quad (0 \leq \rho \leq 1) \quad (9)$$

R_i = Jari-jari Turbin bagian dalam (m)

5. Rasio *Pitch*

Untuk menentukan rasio *Pitch* digunakan persamaan berikut (Rorres, 2000):

$$\lambda = \frac{KA}{2\pi R_o} \quad (10)$$

6. Kecepatan Putaran Turbin

Untuk menentukan kecepatan putaran turbin digunakan persamaan berikut (Nuernbergk & Rorres, 2013):

$$n \leq \frac{50}{(2R_o)^{2/3}} \quad (11)$$

7. Rasio volume turbin per satu putaran

Untuk menentukan rasio volume turbin per satu putaran digunakan persamaan berikut (Nuernbergk & Rorres, 2013):

$$\lambda v = \frac{V_T \tan \theta}{2\pi^2 R_o^3} \quad (12)$$

8. Kecepatan aliran air pada turbin ulir, dapat digunakan dengan persamaan berikut:

$$V = \frac{Q_t}{\frac{\pi}{4} D_o^2} \quad (13)$$

Q_t = Laju aliran volume total air/debit total (m³/s)

D_o = Diameter turbin ulir (m)

9. Kecepatan aliran air sepanjang lilitan ulir (kecepatan radial), dapat digunakan dengan persamaan berikut:

$$V_{\text{radial}} = \frac{\pi D_o n \cos\beta}{60} \quad (14)$$

10. Kecepatan aliran axial pada turbin ulir, dapat digunakan dengan persamaan berikut (Nuernbergk & Rorres, 2013):

$$V_{\text{axial}} = \Lambda \frac{n}{60} \quad (15)$$

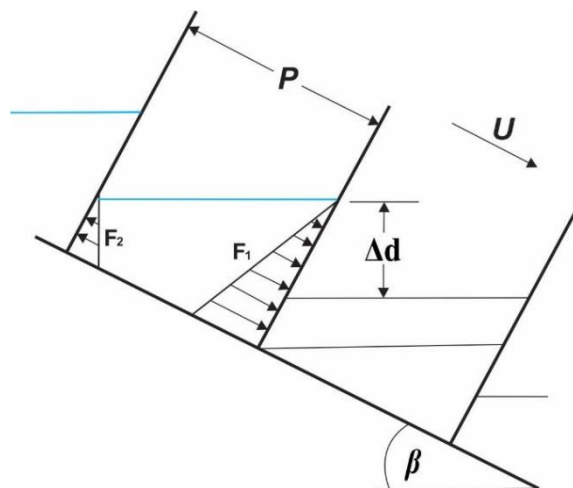
11. Untuk menghitung perbedaan ketinggian antara dua sudu turbin yang berdekatan dapat digunakan dengan persamaan berikut (Lubitz et al., 2014):

$$\Delta d = \Lambda \sin(\square) \quad (16)$$

12. Gaya per satuan lebar pada permukaan 1 dan 2 akibat tekanan hidrostatik dapat digunakan dengan persamaan berikut (Lubitz et al., 2014):

$$F_1 = \frac{\rho g}{2 \cos \square} (d_o + \Delta d)^2 \quad (17)$$

$$F_2 = \frac{\rho g}{2 \cos \square} d_2^2 \quad (18)$$



Gambar 4. Model sederhana gaya F_1 dan F_2 dalam turbin ulir

13. Laju aliran volume dengan asumsi tidak ada kehilangan kebocoran, dapat digunakan dengan persamaan berikut (Lubitz et al., 2014):

$$Q = \frac{NVn}{2\pi} \quad (19)$$

Untuk mendapatkan volume air dalam satu siklus putaran turbin (V), menurut Nuernbergk dan Rorres (2013) dapat digunakan dalam persamaan berikut ini

$$V = V_T \pi R_o \Lambda \quad (20)$$

Nilai V_T dijelaskan oleh Rorres (2000) dan dapat dilihat pada persamaan (8).

14. Laju aliran volume pada kehilangan kebocoran dapat digunakan dengan persamaan berikut (Lubitz et al., 2014):

$$Q_l = 2.5 G_w D_o^{1.5} \quad (21)$$

Untuk mendapatkan G_w dijelaskan oleh Nuernbergk & Rorres (2013) ditentukan sebagai berikut

$$G_w = 0.0045 \sqrt{D_o} \quad (22)$$

15. Laju aliran volume dimana air melimpah dapat digunakan dengan persamaan berikut (Lubitz et al., 2014):

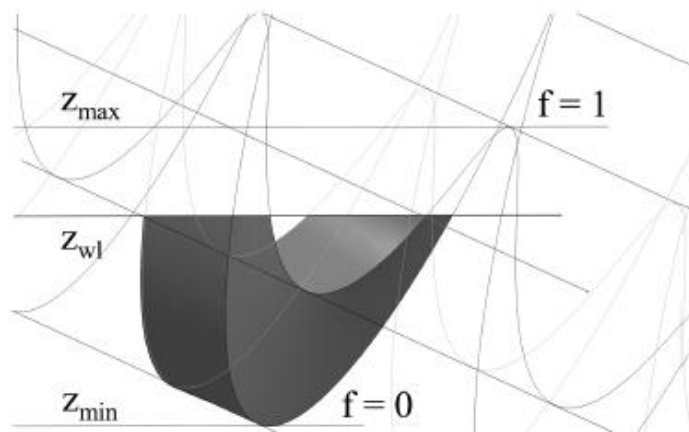
$$Q_o = \frac{4}{15} \mu \sqrt{2g} \left(\frac{1}{\tan \beta} + \tan \beta \right) (z_{wl} - z_{max})^{5/2} \quad (23)$$

Dalam persamaan ini untuk $\mu =$ nilai konstanta 0.537, Lubitz et al., (2014) lebih lanjut menjelaskan bahwa kedalaman air pada penampang turbin (*bucket*) ditentukan oleh faktor pengisian f (nilai $f = 1$, dapat dilihat pada gambar 3), dimana ke dalam tingkat permukaan air relatif terhadap sumbu z . Kedalaman air maksimum z_{max} terjadi ketika *bucket* (penampang air pada turbin) benar-benar penuh, yaitu ketika permukaan air bertepatan dengan titik $\theta = 2\pi$, $r = R_i$ pada permukaan aliran air menuju kebawah ujung turbin,

sedangkan kedalaman minimum air z_{\min} didefinisikan sebagai titik dimana permukaan air berada pada $\theta = \pi$, $r = R_o$ pada permukaan aliran menuju kebawah ujung turbin, sehingga dapat dituliskan dengan persamaan berikut (Lubitz et al., 2014):

$$z_{\min} = -R_o \cos \theta - \frac{\Lambda}{2} \sin \theta \quad (24)$$

$$z_{\max} = R_i \cos \theta - \Lambda \sin \theta \quad (25)$$



Gambar 5. Level variabel air

Ketinggian permukaan air untuk faktor pengisian yang ditentukan f adalah

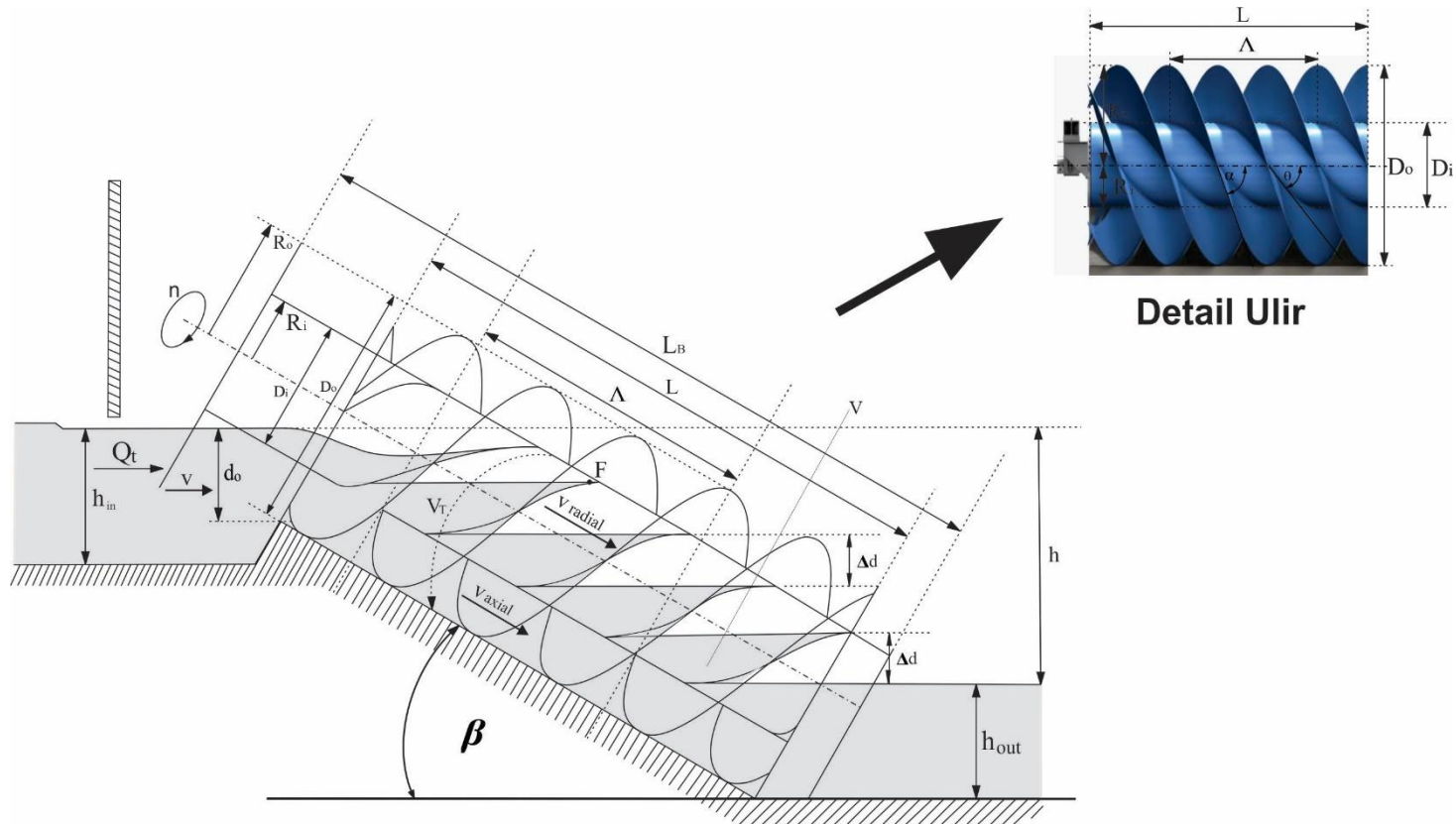
$$z_{wl} = z_{\min} + f(z_{\max} - z_{\min}) \quad (26)$$

16. Laju aliran volume total air pada turbin ulir/jumlah air yang dihasilkan oleh turbin ulir dalam satuan waktu, dapat digunakan dengan persamaan berikut (Lubitz et al., 2014):

$$Q_t = Q + Q_l + Q_o \quad (27)$$

Saat menghitung efisiensi (η) dan daya (P), Q_t adalah menggantikan Q dalam persamaan (32), (34) dan (35).

2.6. Dimensi Desain Turbin Ulir



Gambar 6. Dimensi desain turbin ulir (*Archimedes Screw Turbine*)

Berikut tabel parameter awal dan tabel parameter yang akan dianalisis dalam desain turbin ulir:

Tabel 2. Penentuan parameter awal desain turbin ulir

Parameter	Satuan	Keterangan
D_o	m	Diameter ulir
D_i	m	Diameter silinder poros turbin
R_o	m	Jari-jari turbin bagian luar
R_i	m	Jari-jari turbin bagian dalam
N	-	Jumlah lilitan pada turbin ulir
L_B	m	Panjang poros turbin ulir
L	m	Panjang ulir pada poros turbin
Λ	m	<i>Pitch</i>
\square	°	Sudut kemiringan turbin
α	°	Sudut kemiringan ulir bagian luar
θ	°	Sudut kemiringan ulir bagian dalam

Tabel 3. Parameter yang akan dianalisis dalam desain turbin ulir

Parameter	Satuan	Keterangan
F_1	(N)	Gaya per satuan lebar pada permukaan
F_2	(N)	Gaya per satuan lebar pada permukaan
h	(m)	Perbedaan tinggi antara titik masuk air dengan titik keluar air pada turbin ulir
n	(rad/s)	Kecepatan putaran turbin
Q_t	(m ³ /s)	Laju aliran volume total air pada turbin ulir
T	(Nm)	Torsi
T_{total}	(Nm)	Total torsi
V	(m ³)	Volume air dalam satu siklus putaran turbin
V_T	(m ³)	Volume air dalam satu putaran turbin
v_{radial}	(m/s)	Kecepatan aliran air sepanjang lilitan ulir (kecepatan radial) pada turbin ulir
v_{axial}	(m/s)	Kecepatan aliran air axial
Z_{max}	(m)	Kedalaman air maksimum

z_{min}	(m)	kedalaman minimum air
z_{wl}	(m)	Ketinggian permukaan air untuk faktor pengisian yang ditentukan f
Δd	(m)	Perbedaan ketinggian antara dua sudu turbin
ρ	(-)	Rasio radius
υ	(-)	Rasio volume
λ	(-)	Rasio <i>pitch</i>
$\lambda \upsilon$	(-)	Rasio volume turbin per satu putaran

Parameter output turbin ulir

P_{ASG}	(W)	Daya turbin ulir
P_{avail}	(W)	Panjang ulir pada poros turbin
P_{out}	(W)	Daya keluaran/daya poros pada turbin ulir
η	(-)	Efisiensi dari turbin ulir

2.7. Parameter yang mempengaruhi kerja output dari turbin ulir:

1. Daya keluaran/daya poros pada turbin ulir, dapat digunakan dengan persamaan berikut (Lubitz et al., 2014):

$$P_{out} = T_{total} n \quad (28)$$

Torsi total yang dihasilkan turbin ulir dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$T_{total} = T \frac{LN}{\Lambda} \quad (29)$$

Dari rumus diatas, nilai torsi (T) dapat diformulasikan seperti berikut:

$$T = \int_{r=R_i}^{r=R_o} \int_{\theta=0}^{\theta=2\pi} dT \quad (30)$$

Selanjutnya persamaan torsi (T) dapat disederhanakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$T = 2\pi R_o - 2\pi R_i \quad (31)$$

2. Daya yang tersedia dalam aliran pada turbin ulir, dapat digunakan dengan persamaan berikut (Lubitz et al., 2014) :

$$P_{avail} = \rho ghQ \quad (32)$$

ρ = Densitas air (1.000 kg/m³)

g = gravitasi konstanta (9.81 m/s²)

head (h) – perbedaan tinggi antara titik masuk air dengan titik keluar air, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$h = L_B \sin \square \quad (33)$$

3. Efisiensi dari turbin ulir dihitung berdasarkan persamaan berikut (Lubitz et al., 2014) :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{avail}} \quad (34)$$

4. Daya output turbin ulir dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (Dellinger et al., 2018) :

$$P_{ASG} = \rho ghQ\eta \quad (35)$$

2.8. Parameter yang mempengaruhi kerja output turbin ulir terhadap suplai pengisian baterai kendaraan listrik:

Menganalisis pengaruh parameter yang mempengaruhi kerja output turbin ulir terhadap suplai pengisian baterai kendaraan listrik pada umumnya, validasi hasil penelitian dalam prestasi kerja output menggunakan persamaan daya output yang dihasilkan pada turbin ulir, dapat dilihat pada persamaan (35).

Daya turbin ulir dipengaruhi oleh densitas air (ρ) dengan nilai 1000 kg/m^3 , gravitasi konstanta (g) dengan nilai $9,81 \text{ m/s}^2$, laju aliran volume total (debit total) (Q_t), *head* (perbedaan tinggi antara titik masuk air dengan titik keluar air) (h) dan efisiensi turbin ulir (η).

Dalam menentukan dimensi turbin ulir yang sesuai dengan kapasitas baterai kendaraan listrik, dilakukan analisis hubungan prestasi kerja output antara pengaruh daya keluaran/daya poros (P_{out}), daya dalam aliran (P_{avail}), laju aliran volume total air turbin (debit total) (Q_t), *head* (h) dan efisiensi (η) pada kenaikan daya output turbin ulir (P_{ASG}) untuk selanjutnya disesuaikan kapasitas input baterai kendaraan listrik.

2.9. Penelitian Terdahulu

Chris Rorres dalam *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 126, No. 1, January, 2000 berjudul *The Turn of The Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw* dimana menganalisis perbandingan rasio parameter dan *pitch* yang memaksimalkan volume air dalam satu putaran turbin, dalam menganalisis parameter tersebut menggunakan perangkat lunak Matlab, tujuan penelitian yakni menentukan parameter eksternal: Jari-jari luar turbin ulir (R_o), Panjang ulir turbin (L), Sudut kemiringan turbin ulir (β). Menentukan parameter internal: Jari-jari dalam pada turbin (R_i), Jumlah lilitan pada turbin ulir (N) dan *pitch* yakni jarak antara kedua sudu/daun ulir (Λ), dalam penelitian ini, penulis memfokuskan pada parameter *pitch* (Λ), sehingga penulis menentukan rumus persamaan, dapat dilihat pada persamaan (4), (5) dan (6).

Dirk M. Nuernbergk and Chris Rorres dalam *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 139, No. 2, February 1, 2013 berjudul *Analytical Model for Water Inflow of an Archimedes Screw Used in Hydropower Generation* menurut penulis belum ada teori yang tepat untuk desain turbin ulir yang digunakan dilapangan, terutama untuk kondisi laju aliran volume air, jadi tujuan penelitian ini untuk menganalisa kembali model baru, terutama pada parameter: a. Laju

aliran volume dengan asumsi tidak ada kehilangan kebocoran (Q), b. Laju aliran volume pada kehilangan kebocoran (Q_l), c. Laju aliran volume dimana air melimpah pada penampang turbin (Q_o) dan Laju aliran volume total air/debit total pada turbin ulir (Q_t), peneliti memfokuskan pada laju aliran volume air dengan menganalisis menggunakan persamaan rumus.

Lubitz et al, dalam Journal of Hydraulic Engineering, Desember 2, 2014 berjudul *Performance Model of Archimedes Screw Hydro Turbines with Variable Fill Level* Tujuan dari penelitian ini: membandingkan dua model teoritis berdasarkan analisis tekanan *quasistatic* yang dikembangkan untuk memprediksi kinerja turbin ulir, model pertama menggunakan geometri ideal, sedangkan model kedua menggabungkan sifat geometris dari turbin ulir yang berputar, termasuk kemiringan, *pitch*, dan diameter dalam dan luar. Model kedua juga diformulasikan untuk mensimulasikan kinerja turbin ulir yang beroperasi diberbagai tingkat pengisian dari kosong hingga penuh. Kedua model ini memprediksi bahwa jika semua kerugian gesekan dan efek masuk dan keluar diabaikan, maka turbin ulir dapat mengubah semua energi potensial dalam aliran air menjadi tenaga mekanik, metode analisis menggunakan Eksperimental Laboratorium.

Dellinger et al, dalam Jurnal Elsevier, Renewable Energy 118 (2018) 847-857 available online 2017, berjudul *Computational Fluid dynamics modeling for the design of Archimedes Screw Generator* penelitian ini mengusulkan metode penelitian eksperimental laboratorium dengan metode numerik untuk mempelajari kinerja turbin ulir. Penelitian ini disimulasikan dengan menggunakan *Arbitrary Mesh Interface (AMI)* sebuah alat utilitas dari OpenFOAM v2.1.0 dimana mempelajari struktur aliran turbulen 3D dan kehilangan energi dalam turbin, kemampuan metode ini adalah untuk memungkinkan mempelajari kinerja turbin ulir secara akurat hanya dengan koefisien biasa dalam model numerik. Simulasi ini dicapai untuk berbagai kondisi aliran menggunakan geometri turbin skala laboratorium, dimana menganalisa nilai torsi dan efisiensi yang dimodelkan secara eksperimental.

Jandrek et al, dalam jurnal Elsevier, Journal of Cleaner Production 231 (2019) 756-771, 20 Mei 2019 berjudul *Small scale Archimedes Hydro Power Plant Test Station: Design and experimental investigation* Tujuan penulisan penelitian ini adalah menganalisis hasil yang didapatkan secara eksperimental dengan parameter variasi sudut kemiringan, rasio aliran air serta kecepatan putaran per menit (rpm), dimana dianalisa hubungan keluaran daya turbin, torsi dan efisiensi dengan generator AC dan DC. Analisa perbandingan parameter desain menggunakan perangkat lunak Matlab.

Tabel 4. Daftar penelitian terdahulu yang relevan

No	Nama	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Alat Analisis	Hasil Penelitian	Persamaan dan Perbedaan Penelitian
1.	Chris Rorres	<i>The Turn of The Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw</i>	Mendesain <i>Archimedes Screw</i> (Turbin Ulir) secara modern: 1. Menentukan dan menganalisis parameter eksternal 2. Menentukan dan menganalisis parameter Internal	Analisis perbandingan parameter desain <i>Achimedes Screw</i> menggunakan perangkat lunak program Matlab	Mendesain <i>Archimedes Screw</i> (Turbin Ulir) secara modern: Menentukan parameter eksternal: Jari-jari luar turbin ulir (R_o) Panjang Ulir Turbin (L) Sudut kemiringan turbin (θ), sudut kemiringan ulir (\square) Menentukan parameter Internal: Jari-jari dalam turbin (R_i), Jumlah lilitan pada turbin ulir (N) dan <i>pitch</i> (Λ) (Jarak antara kedua sudu/daun ulir)	- Persamaan penelitian, menganalisis parameter dimensi turbin ulir diantaranya Jari-jari luar turbin ulir, Panjang turbin ulir, sudut kemiringan turbin ulir, jari-jari dalam turbin, <i>Pitch</i> . - Perbedaan penelitian terletak parameter yang dianalisis, penelitian ini memfokuskan untuk menggali lebih dalam parameter internal dimensi, sedangkan pada tesis ini menganalisis parameter yang mempengaruhi daya output turbin ulir.

No	Nama	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Alat Analisis	Hasil Penelitian	Persamaan dan Perbedaan Penelitian
2.	Dirk M. Nuernbergk and Chris Rorres	<i>Analytical Model for Water Inflow of an Archimedes Screw Used in Hydropower Generation</i>	Belum ada teori yang tepat untuk desain turbin ulir yang digunakan dilapangan, terutama untuk kondisi laju aliran volume air, jadi tujuan penelitian ini untuk menganalisa kembali model baru, terutama pada parameter Laju Aliran Volume (Q).	Menganalisis hasil Eksperimental penelitian terdahulu khususnya pada laju aliran volume air dengan menggunakan persamaan rumus.	Menganalisa kembali model baru, terutama pada parameter: a. Laju aliran volume dengan asumsi tidak ada kehilangan kebocoran (Q), b. Laju aliran volume pada kehilangan kebocoran (Q _i), c. Laju aliran volume dimana air melimpah pada penampang turbin (Q _o), d. Laju aliran volume total air pada turbin ulir (Q _t)	- Persamaan penelitian terletak pada parameter yang dianalisis yakni Laju aliran volume dengan asumsi tidak ada kehilangan kebocoran, Laju aliran volume pada kehilangan kebocoran, Laju aliran volume dimana air melimpah pada penampang turbin dan Laju aliran volume total pada turbin ulir. - Perbedaan penelitian terletak pada analisis parameter laju aliran volume, dimana pada penelitian ini lebih memfokuskan menggali lebih dalam laju aliran volume, sedangkan pada tesis ini menganalisis laju aliran volume untuk mendapatkan hasil analisis parameter daya yang tersedia didalam aliran, efesiensi dan daya output turbin ulir.

No	Nama	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Alat Analisis	Hasil Penelitian	Persamaan dan Perbedaan Penelitian
3.	William David Lubitz, Murray Lyons and Scott Simmons	<i>Performance Model of Archimedes Screw Hydro Turbines with Variable Fill Level</i>	Tujuan dari Penelitian ini adalah Membandingkan dua model teoritis berdasarkan analisis tekanan <i>quasi-static</i> yang dikembangkan untuk memprediksi kinerja turbin ulir.	Eksperimental Laboratorium dengan menggunakan persamaan rumus dan perangkat lunak program Matlab.	<p>Model pertama menggunakan geometri ideal, sedangkan model kedua menggabungkan sifat geometris dari turbin ulir yang berputar, kemiringan turbin ulir, <i>pitch</i>, dan diameter dalam dan luar.</p> <p>Model kedua juga diformulasikan untuk mensimulasikan kinerja turbin ulir yang beroperasi di berbagai tingkat pengisian dari kosong hingga penuh.</p> <p>Kedua model ini memprediksi bahwa jika semua kerugian gesekan dan efek masuk dan keluar diabaikan, maka turbin ulir dapat mengubah semua energi potensial dalam aliran air menjadi tenaga mekanik.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Persamaan penelitian terletak pada parameter yang dianalisis seperti sifat geometris dari turbin ulir yang berputar, kemiringan turbin ulir, <i>pitch</i>, dan diameter dalam dan luar. - Perbedaan penelitian ini terletak pada tujuan penelitian dimana pada penelitian ini memfokuskan pada kerugian gesekan dan efisiensi kerja turbin ulir, sedangkan pada tesis ini memfokuskan menganalisis daya output turbin ulir dengan asumsi daya tersebut konstan dengan mengabaikan daya los/terbuang.

No	Nama	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Alat Analisis	Hasil Penelitian	Persamaan dan Perbedaan Penelitian
4.	Guilhem Dellinger, Pierre-André Garambois, Nicolas Dellinger, Matthieu Dufresne, Abdelali Terfous, Jose Vazquez, Abdellah Ghenaïm	<i>Computational Fluid dynamics modeling for the design of Archimedes Screw Generator</i>	<p>1. Tujuan penelitian ini mengusulkan metode penelitian eksperimental dengan metode numerik baru untuk mempelajari kinerja turbin ulir.</p> <p>2. Menganalisa nilai torsi dan efisiensi yang dimodelkan secara eksperimental.</p>	<p>1. Eksperimental Laboratorium</p> <p>2. Penelitian ini disimulasikan dengan menggunakan <i>Arbitrary Mesh Interface</i> (AMI) sebuah alat Utilitas dari OpenFOAM v2.1.0</p>	<p>Penelitian ini mengusulkan metode penelitian eksperimental dengan metode numerik baru untuk mempelajari kinerja turbin ulir. Untuk mempelajari struktur aliran turbulen 3D dan kehilangan energi dalam turbin, kemampuan metode ini adalah untuk memungkinkan mempelajari kinerja turbin ulir secara akurat hanya dengan koefisien biasa dalam model numerik. Simulasi ini dicapai untuk berbagai kondisi aliran menggunakan geometri turbin skala laboratorium, dimana menganalisa nilai torsi dan efisiensi yang dimodelkan secara eksperimental dengan menggunakan <i>Arbitrary Mesh Interface</i> (AMI) sebuah alat Utilitas dari OpenFOAM v2.1.0.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Persamaan penelitian ini terletak pada parameter yang dianalisis yakni sama-sama menganalisa nilai torsi dan efisiensi pada kinerja turbin ulir. - Perbedaan penelitian ini terletak pada cara mendapatkan nilai torsi dan efisiensi, dimana untuk penelitian ini menggunakan cara simulasi dengan menggunakan <i>Arbitrary Mesh Interface</i> (AMI) sebuah alat Utilitas dari OpenFOAM v2.1.0. dengan eksperimental laboratorium, sedangkan dalam tesis ini menggunakan metode kuantitatif eksperimen dengan menggunakan rumus dari literatur dan selanjutnya menggunakan perangkat lunak program Matlab versi R2021a.

No	Nama	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Alat Analisis	Hasil Penelitian	Persamaan dan Perbedaan Penelitian
5.	Hrvoje Dedić-Jandrek, Sandro Nižetić	<i>Small scale Archimedes hydro power plant test station: Design and experimental investigation</i>	Tujuan Penulisan ini adalah menganalisis hasil yang didapatkan secara eksperimental laboratorium desain pembangkit listrik dengan menggunakan <i>Archimedes Screw Turbine</i> (AST) skala kecil.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eksperimental Laboratorium 2. Analisis perbandingan parameter desain <i>Achimedes Screw Turbine</i> (AST) menggunakan Program Komputer Matlab. 	Tujuan Penulisan ini adalah menganalisis hasil yang didapatkan secara eksperimental desain pembangkit listrik dengan menggunakan <i>Archimedes Screw Turbine</i> (AST) skala kecil. dengan parameter variasi sudut kemiringan, rasio aliran air serta kecepatan putaran per menit (rpm), dimana dianalisa ini memfokuskan hubungan keluaran daya turbin, torsi dan efisiensi dengan generator AC dan DC.	<ul style="list-style-type: none"> - Persamaan penelitian ini sama-sama menganalisa parameter daya output turbin, torsi dan efisiensi. - Perbedaan penelitian, pada penelitian ini memfokuskan pada perhitungan analisa daya yang keluar pada generator, dimana metode penelitian eksperimental laboratorium, dengan menganalisis daya output pada keluaran AST skala kecil, sedangkan pada tesis ini menganalisa desain dimensi turbin ulir untuk mendapatkan daya output turbin sesuai kapasitas daya output yang diinginkan dengan mengabaikan kerugian pada generator, maksudnya lebih memfokuskan daya output turbin untuk selanjutnya dimanfaatkan untuk mensuplai baterai kendaraan listrik, persamaan rumus yang digunakan dalam menganalisis daya output berbeda.

No	Nama	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Alat Analisis	Hasil Penelitian	Persamaan dan Perbedaan Penelitian
6.	Guilhem Dellinger, Abdelali Terfous, Pierre-Andre Garambois & Abdellah Ghenaim	<i>Experimental investigation and performance analysis of Archimedes screw generator</i>	Tujuan dari penelitian ini adalah 1. Menganalisis kinerja turbin ulir dengan kondisi aliran air. 2. Menganalisis nilai torsi dan efisiensi eksperimen skala laboratorium.	Eksperimental Laboratorium	Hasil dari penelitian ini adalah menghubungkan kinerja turbin ulir dengan kondisi aliran air. Model ini memperhitungkan kebocoran, kehilangan gesekan, dan tingkat pengisian variabel. Analisis menunjukkan bahwa satu nilai koefisien gesek cocok untuk memodelkan kinerja ulir dalam berbagai kondisi aliran.	<ul style="list-style-type: none"> - Persamaan penelitian ini sama-sama menganalisa parameter daya output turbin, torsi dan efisiensi. - Perbedaan penelitian, dalam penelitian ini memfokuskan menganalisis kehilangan gesekan dan kebocoran aliran air pada penampang turbin ulir, metode analisis eksperimental dengan menggunakan turbin ulir skala kecil di laboratorium, sedangkan pada penelitian tesis ini, mendesain dimensi turbin ulir dengan menganalisis parameter yang menentukan dimensi desain turbin ulir, parameter yang mempengaruhi kerja output turbin ulir dan parameter yang mempengaruhi kerja output turbin ulir terhadap pengisian baterai kendaraan listrik.

No	Nama	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Alat Analisis	Hasil Penelitian	Persamaan dan Perbedaan Penelitian
7.	Andrew Kozyn, Kathleen Songin, Bahram Gharabaghi and William David Lubitz	<i>Case Study: Predicting Archimedes Screw Generator Power Output Using Artificial Neural Networks</i>	Tujuan Studi ini adalah untuk mengembangkan model <i>Artificial Neural Networks</i> (ANN) nondimensional untuk memprediksi daya output poros ASG (<i>Archimedes Screw Generator</i>).	Alat utilitas model <i>Artificial Neural Networks</i> (ANN)	<p>Hasil Studi/penelitian ini adalah untuk mengembangkan <i>software</i> model <i>Artificial Neural Networks</i> (ANN) nondimensional untuk memprediksi daya output poros ASG (<i>Archimedes Screw Generator</i>)/turbin ulir menggunakan set data multiskala yang luas.</p> <p>Model ANN ini dilatih menggunakan 583 pengamatan eksperimental dari skala laboratorium dan skala lapangan pada ASG pada berbagai laju aliran volume dan kecepatan operasi.</p> <p>Model ANN juga dapat digunakan untuk memprediksi daya output ASG dengan kesalahan rata-rata 6%.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Persamaan penelitian ini sama-sama menganalisa peramater daya output turbin. - Perbedaan penelitian, dalam penelitian ini memfokuskan pada daya output poros ASG (turbin ulir) yang sudah ada pada Laboratorium, dengan menggunakan perangkat lunak <i>Artificial Neural Networks</i> (ANN) sedangkan pada tesis ini, peneliti merancang dimensi turbin sesuai dengan dimensi dan daya output yang dihasilkan untuk selanjutnya daya output dimanfaatkan untuk mensuplai baterai kendaraan listrik, dalam menganalisis dimensi menggunakan perangkat lunak Matlab versi 2021a.

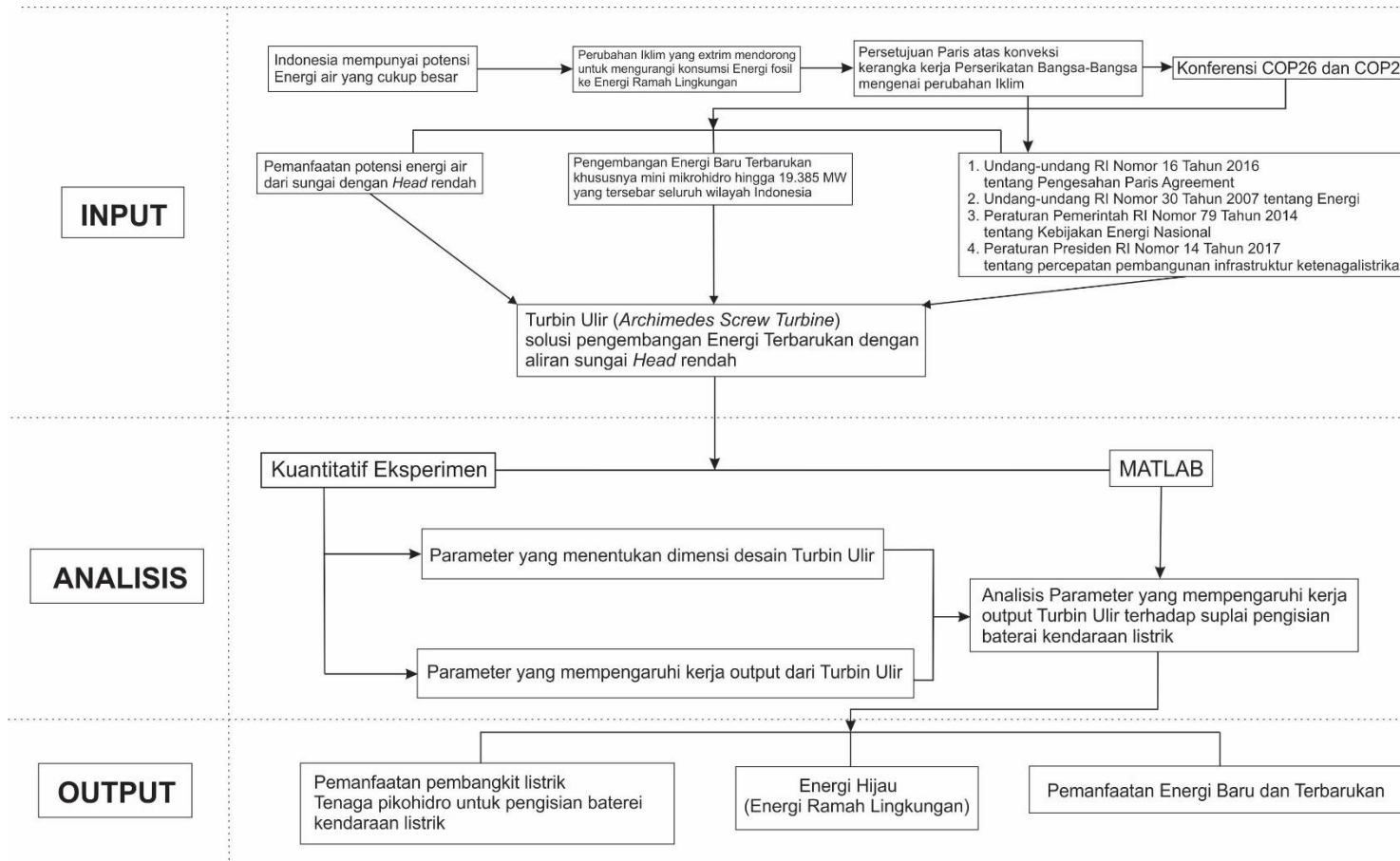
2.10. Sintesis Penelitian

Berdasarkan penelitian terdahulu yang relevan, sebagian penelitian terdahulu mendesain turbin ulir namun memfokuskan dan menggali lebih dalam parameter dimensi tertentu namun peneliti terdahulu tidak melanjutkan untuk menganalisis daya output turbin ulir tersebut, sebagian lagi penelitian terdahulu menganalisis daya output turbin ulir namun peneliti menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk mendapatkan analisis daya output tanpa mendesain turbin ulir tersebut.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang relevan, penelitian ini mendesain dimensi turbin ulir dengan menganalisis parameter-parameter dimensi turbin ulir dengan rumus (*formula*) dari literatur yang relevan dengan menggunakan metode kuantitatif eksperimental, analisis dimensi output turbin ulir menggunakan perangkat lunak Matlab versi R2021a, selanjutnya peneliti melanjutkan pemanfaatan daya output dengan menganalisis parameter yang mempengaruhi kerja output turbin ulir terhadap suplai pengisian baterai kendaraan listrik.

Penelitian ini diharapkan menjadi acuan pengembangan penggunaan turbin ulir sebagai pembangkit listrik dengan skala pikohidro, yang dapat dimanfaatkan sebagai energi mandiri, terbarukan dan ramah lingkungan sesuai tujuan utama dari konferensi iklim global (konferensi COP26 dan COP27) dan pemerintah Indonesia tentang pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik.

2.11. Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 7. Kerangka pikir penelitian