

PERANCANGAN TURBIN AIR ARCHIMEDES SCREW DAN GEARBOX UNTUK PEMBANGKITAN ENERGI LISTRIK

Dimas Jalalludin Akbar, Stenly Tangkuman, Benny L. Maluegha

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado

ABSTRAK

Kinerja dari sebuah turbin mikrohidro dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti proses perancangan dan lingkungan. Archimedes screw dipilih karena keunggulannya dalam mengubah energi kinetik aliran menjadi energi mekanis pada aliran yang kecil. penelitian ini bertujuan merancang Archimedes screw, gearbox serta menghitung besar daya yang dapat dibangkitkan. Dengan menggunakan metode perancangan yang meliputi desain turbin, simulasi aliran, dan simulasi tegangan. Selain itu gearbox juga dirancang untuk mengoptimalkan putaran yang dihasilkan.

Hasil desain menunjukkan bahwa turbin dengan diameter 0.45 m dapat beroperasi dengan kecepatan rata-rata 4 m/s menghasilkan kecepatan putaran turbin 169 rpm, dan daya yang dihasilkan sebesar 5076 watt. Dengan menggunakan nilai efisiensi generator yaitu sebesar 95% maka daya output yang bangkitkan oleh generator adalah 4822 watt.

Kata Kunci : Archimedes screw, Gearbox, Daya.

ABSTRACT

The performance of a microhydro turbine is influenced by several factors such as the design process and the environment. The Archimedes screw is chosen for its excellence in converting the kinetic energy of the flow into mechanical energy in low-flow conditions. This research aims to design the Archimedes screw, gearbox, and calculate the generated power. The design methodology includes turbine design, flow simulation, and stress simulation. Additionally, the gearbox is designed to optimize the resulting rotation.

The design results indicate that a turbine with a diameter of 0.45 m can operate at an average speed of 4 m/s, resulting in a turbine rotation speed of 169 rpm and a power output of 5076 watts. By using a generator efficiency value of 95%, the power output generated by the generator is 4822 watts.

Keywords: Archimedes screw, Gearbox, Power

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki populasi yang terus berkembang dengan tingkat urbanisasi yang tinggi. Pertumbuhan penduduk ini secara langsung berdampak pada peningkatan kebutuhan listrik karena semakin banyak orang yang membutuhkan akses listrik untuk kebutuhan sehari-hari. Konsumsi listrik per kapita Indonesia pada 2022 mencapai 1.173 kWh, (ESDM, 2023). Level konsumsi tersebut naik sekitar 4% dibanding 2021 yang sebesar 1.123 kWh per kapita. Namun hal ini tidak diimbangi dengan peningkatan pasokan listrik, kapasitas daya yang terpasang masih rendah sedangkan kebutuhan masyarakat masih terus bertambah.

Masyarakat Indonesia sangat bergantung pada pasokan listrik PLN menyebabkan seringnya terjadi pemadaman listrik di PLN. Maka dari itu untuk memenuhi permintaan listrik yang terus meningkat, maka diperlukan pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan sumber daya alam dari Energi Baru Terbarukan (EBT) salah satunya dengan menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).

PLTMH memiliki keuntungan utama yaitu karena sifatnya terbarukan dan bisa dimanfaatkan secara luas karena cukup banyak daerah-daerah di Indonesia yang berpotensi untuk dimanfaatkan airnya sebagai tenaga penggerak bagi turbin agar dapat menghasilkan energi. Indonesia memiliki begitu banyak potensi air yang belum dimanfaatkan secara optimal, yaitu sekitar 75,67 GW, namun baru sekitar 4,2 GW yang termanfaatkan dan diantaranya potensi untuk mini/mikrohidro sekitar 450 MW yang termanfaatkan sekitar 230 MW (Nasution, 2022). PLTMH merupakan pembangkit yang ramah lingkungan dimana proses pemanfaatannya melalui sumber daya alam yaitu dengan memanfaatkan aliran sungai. Turbin Archimedes adalah jenis turbin yang seringkali digunakan pada aliran sungai, terkhususnya pada head yang rendah.

1.2 Rumusan Masalah

- 1 Bagaimana proses perancangan Archimedes screw?
- 2 Bagaimana proses perancangan gearbox?
- 3 Berapa daya yang dibangkitkan Archimedes screw?

1.3 Batasan Masalah

- 1 Tidak memperhitungkan faktor bencana alam.
- 2 Kondisi cuaca dan curah hujan tidak diperhitungkan.
- 3 Perancangan housing yang dirancang hanya menggunakan satu model.
- 4 Perhitungan *gearbox* hanya meliputi perhitungan dimensi roda gigi.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Membuat desain Archimedes *screw*.
2. Membuat desain roda gigi untuk *gearbox*.
3. Menghitung besar daya yang dibangkitkan PLTMH.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat mengetahui bagaimana proses merancang turbin air Archimedes *screw* dan *gearbox*.
2. Dapat memanfaatkan sumber energi alam yang tersedia terutama sumber daya air.
3. Menambah pengetahuan terhadap PLTMH jenis turbin air.

II LANDASAN TEORI

2.1 PLTMH

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah sistem pembangkit listrik bersekala kecil yang menggunakan air sebagai tenaga penggerak dengan cara memanfaatkan ketinggian (*head*) dan jumlah debit air.

2.2 Archimedes Screw

Archimedes *screw* merupakan salah satu turbin tertua yang digunakan. Pada zaman kuno Archimedes *screw* digunakan untuk mengangkat air untuk irigasi dan drainase. Lalu pada tahun 2007 pompa Archimedes *screw* dimodifikasi dengan membalik membiarkan air mengalir mengendalikan pompa.

2.3 Bantalan

Tujuan dibuatnya bantalan adalah agar dapat menumpu beban, namun juga tetap memberikan keluasaan gerak relatif antara dua elemen dalam sebuah mesin. Bantalan yang digunakan adalah bantalan yang dapat menopang sebuah poros yang berputar dan dapat menahan beban aksial. Pemilihan bantalan melalui katalog pabrikan meliputi pertimbangan-pertimbangan kapasitas beban dan geometri bantalan tersebut.

2.4 Gearbox

Gearbox merupakan alat yang berfungsi sebagai pengubah daya dari mesin yang berputar

dengan menggunakan perbandingan atau rasio yang dapat digunakan untuk memperlambat dan memperkuat kecepatan yang dihasilkan dinamo atau motor.

2.5 Simulasi

Simulasi adalah metode pelatihan yang memperagakan sesuatu dalam bentuk tiruan yang mirip dengan keadaan sesungguhnya. Dalam bidang keteknikan, simulasi sering digunakan dalam hal perhitungan alternatif sebagai ganti dari sistem eksperimen. Dalam penelitian ini digunakan *software Solidworks 2023* dengan fitur *flow simulation* atau CFD (*Computational Fluid Dynamic*) dan melakukan pengecekan tegangan von Mises.

2.6 Daya Hidrolis

Daya yang dihasilkan poros suatu turbin merupakan transformasi energi air yang terdapat pada aliran. Persamaan yang menyatakan daya turbin dari air yang bergerak dan hasil aliran massa yaitu jumlah energi yang melewati sebuah penampang per satuan waktu.

III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan dari mulai bulan Agustus 2023 sampai dengan bulan Desember 2023. Perancangan Archimedes *screw* dan *gearbox* dilakukan di Laboratorium Perancangan dan Konstruksi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi Manado.

3.2 Alat dan Bahan

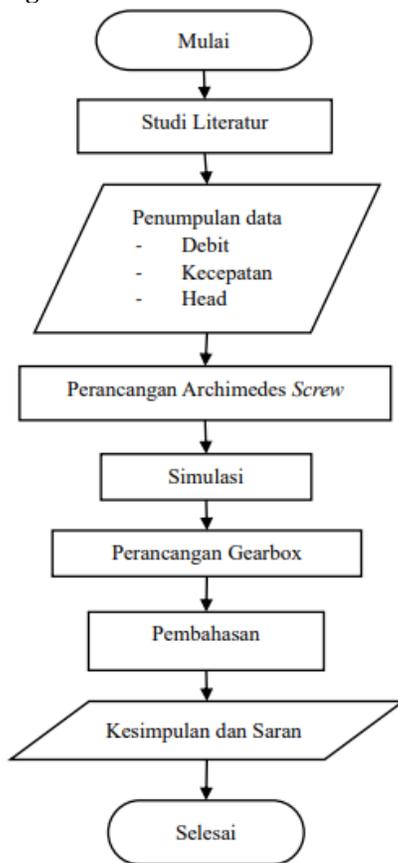
3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan untuk menunjang penelitian yaitu bola ping-pong, benang nilon, *meter roll* dan *stopwatch* sebagai alat bantu pengumpulan data penelitian. Perangkat komputer yang telah terpasang *software Solidworks* dan *Microsoft Office. Solidworks*.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah literatur-literatur mengenai konsep Archimedes *screw* dan *gearbox*. Serta contoh perhitungan yang digunakan untuk merancang dimensi dari Archimedes *screw* dan *gearbox* yang akan dirancang.

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir

Prosedur penelitian dilakukan seperti pada Gambar 3.1. Pada gambar tersebut, terlihat bahwa penelitian ini dilakukan dalam tujuh tahapan. Tahapan pertama adalah melakukan studi literatur untuk mencari ide dan referensi terkait penelitian yang akan dibuat. Tahapan kedua adalah pengumpulan data awal penelitian yang meliputi tinggi jatuh air, debit dan kecepatan aliran. Tahapan ketiga melakukan perancangan Archimedes screw dalam 3 variasi. Tahapan keempat yaitu mensimulasikan desain 3D Archimedes screw yang telah dibuat menggunakan parameter-parameter yang tersedia. Tahapan kelima melakukan perancangan gearbox akselerasi, rasio yang digunakan adalah 1:2. Tahapan keenam adalah melakukan pembuatan laporan terkait dengan perancangan yang sudah dibuat. Dan pada tahapan ketujuh yaitu memberikan kesimpulan dan saran dari penelitian yang sudah dilakukan.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Perancangan

Input awal yang akan digunakan dalam melakukan perhitungan dimensi Archimedes screw

adalah data debit (Q), kecepatan aliran (v), dan tinggi jatuh air (h). Data tersebut diperoleh dari observasi yang dilakukan penulis di PDAM Wanua Wenang Manado lebih tepatnya pada kantor cabang PDAM WTP Lotta, Kecamatan Pineleng pada tanggal 04 Oktober 2023. Berikut ini adalah data input awal yang digunakan dalam melakukan perancangan Archimedes screw.

Data Rancangan		
Kecepatan rata-rata	Debit air rata-rata	Head
2.13 m/s	0.69 m ³ /s	1

Gambar 4. 1 Data perancangan

4.2 Perancangan Archimedes screw

4.2.1 Perancangan Dimensi Screw

Dimensi screw dihitung berdasarkan daya turbin dan debit air yang telah direncanakan. Daya yang dihasilkan turbin bergantung dengan energi yang masuk ke turbin.

$$P = \rho \times Q \times h \times g$$

$$P = 998 \frac{kg}{m^3} \times 0.69 \frac{m^3}{s} \times 1 \times 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$P = 6748W = 6.7 kW$$

d/D	22°		26°			30°	
	1.0D	1.2D	0.8D	1.0D	1.2D	0.8D	1.0D
0.4	0.35	0.378	0.285	0.317	0.323	0.262	0.271
0.5	0.34	0.38	0.281	0.317	0.343	0.319	0.287
0.6	0.315	0.351	-	0.3	0.327	-	0.273

Gambar 4.2 Nilai konstanta ulir (Fikri & Suryadimal, 2022)

Speed	Turbine Revolution Per-minute (rpm)
Lambat	20-23
Sedang	25-26
Cepat	29-31

Gambar 4.3 Konstanta kecepatan putaran turbin (Fikri & Suryadimal, 2022)

Pada Tabel 2.1 dapat diketahui nilai konstanta dari diameter screw konstanta ulir dan putaran turbin yang dipilih adalah pada kategori fast yaitu n= 30 rpm.

$$D = \sqrt[3]{\frac{0.69 \frac{m^3}{s}}{0.246 \times 30 \text{ rpm}}} = 0,45 \text{ m}$$

Diameter poros turbin dihitung dengan melakukan perbandingan antara diameter poros terhadap poros sudu yang telah ditentukan.

$$d = 0,45 \times 0,3 = 0.135 \text{ m}$$

Panjang turbin dihitung berdasarkan tinggi jatuh air

(head) 1 m dan kemiringan poros turbin terhadap bidang datar yang dipilih adalah 30°.

$$\sin \alpha = \frac{H}{L} = \sin 30 = \frac{1m}{L}$$

$$L = \frac{1m}{\sin 30} = 2 \text{ m}$$

Pitch turbin dirancang dengan mengambil sebuah ketetapan dari Rores yaitu sudut turbin ≤ 30° dengan jarak pitch S= 1D.

$$S = 1 \times 0.45 = 0.45$$

Jumlah ulir dihitung dengan membagi panjang turbin dengan pitch turbin S= 0.45.

$$Z = \frac{2 \text{ m}}{0.45 \text{ m}} = 4.4 = 5 \text{ ulir}$$

Sudut ulir (α), menghitung kemiringan sudu-sudu turbin.

$$X = \frac{1}{5} \times 0.45 = 0.09$$

$$\Delta h = X \times \sin 30 = 0.045$$

$$\alpha = \frac{0.45}{0.045} = 10^\circ$$

Efisiensi turbin screw yang optimum dapat diperoleh dengan mempertimbangkan dimensi turbin dan bahan-bahan yang digunakan dalam proses manufaktur.

$$\eta_t = \frac{(2.10 + 1)}{(2.10 + 2)} \times \left(1 - \frac{0.01125 \cdot 0.45^2}{0.69} \right)$$

$$\eta_t = 0.94 \times 100\% = 94\%$$

Dari hasil perhitungan dimensi turbin screw di atas, dapat diketahui daya turbin dengan memasukkan nilai dari efisiensi turbin.

$$P = 998 \frac{kg}{m^3} \times 0.69 \frac{m^3}{s} \times 1 \text{ m} \times 9.8 \frac{m}{s^2} \times 94\% = 6.3 \text{ kW}$$

No.	Data rancangan	Ket
1.	Daya hidrolis	6.7 kW
2.	Daya rancangan turbin	6.3 kW
3.	Diameter screw	0.45 m
4.	Diameter poros	0.135 m
5.	Panjang turbin	2 m
6.	Sudut kemiringan turbin	30°
7.	Pitch turbin	0.45 m
8.	Sudut ulir	10°
9.	Jumlah ulir	5 ulir
10.	Material screw	AA1060-H12
11.	Effisiensi rancangan turbin	94%

Gambar 4. 4 Hasil perancangan screw variasi pertama

No.	Data rancangan	Ket
1.	Daya hidrolis	6.7 kW
2.	Daya rancangan turbin	5.8 kW
3.	Diameter screw	0.41 m
4.	Diameter poros	0.12 m
5.	Panjang turbin	2 m
6.	Sudut kemiringan turbin	22°
7.	Pitch turbin	0.41 m
8.	Sudut ulir	10°
9.	Jumlah ulir	5 ulir
10.	Material screw	AA1060-H12
11.	Effisiensi rancangan turbin	87%

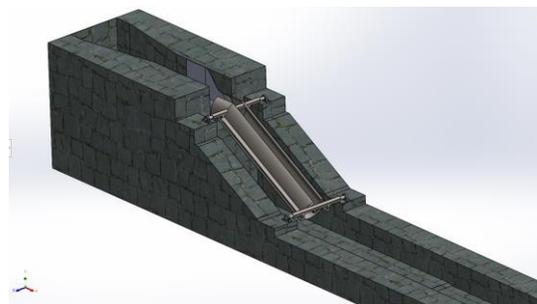
Gambar 4. 5 Hasil perancangan screw variasi kedua

No.	Data rancangan	Ket
1.	Daya hidrolis	6.7 kW
2.	Daya rancangan turbin	6 kW
3.	Diameter screw	0.43 m
4.	Diameter poros	0.13 m
5.	Panjang turbin	2 m
6.	Sudut kemiringan turbin	26°
7.	Pitch turbin	0.516 m
8.	Sudut ulir	4°
9.	Jumlah ulir	4 ulir
10.	Material screw	AA1060-H12
11.	Effisiensi rancangan turbin	89%

Gambar 4. 6 Hasil perancangan screw variasi ketiga

4.2.2 Penentuan Dimensi Housing

Berdasarkan dari perhitungan screw yang telah dilakukan di atas dan dengan melihat kondisi yang ada di lapangan maka pada perancangan housing pada Archimedes screw akan dibuat menyesuaikan pada kondisi di lapangan.



Gambar 4. 7 Housing Archimedes screw

4.2.3 Pemilihan bantalan Archimedes Screw

Poros penghubung memiliki diameter 40 mm, maka dari itu bantalan yang akan digunakan sebagai penompang poros turbin bantalan bertipe UCP 208.

4.3 Simulasi Aliran

1.3.1 Parameter Input Flow Simulation

Sebelum memulai simulasi aliran pada flow

simulation *Solidworks* dibutuhkan beberapa parameter input.

Parameter input	Ket
Kecepatan air	2.13 m/s
Kecepatan rotasi mula-mula	9.42 rad/s
Tekanan lingkungan	101325 Pa
Jenis fluida	Air
Gravitasi	9.8 m/s ²
Suhu lingkungan	25°C

Gambar 4. 8 Parameter input

1.3.2 Hasil Simulasi

Pada tahapan ini akan dilakukan simulasi dengan menggunakan software *Solidworks*. Ada beberapa goals yang ditentukan yaitu, mencari kecepatan air, gaya dan torsi. Berikut adalah hasil output simulasi.

	Jumlah sudu	Kecepatan air (m/s)	Gaya (N)	Torsi (Nm)
Variasi 1	5	4	1077	279
Variasi 2	5	4	1018	263
Variasi 3	4	3.4	802	871

Gambar 4. 9 Output simulasi turbin

Dari hasil output simulasi dapat diketahui daya output turbin dan efisiensi yang dihasilkan.

a. Archimedes *screw* variasi 1

$$P_{out} = 287 \times \frac{\pi \times 169}{30} = 5076 \text{ watt}$$

$$\eta_{daya} = \frac{5076}{6700} \times 100\% = 75\%$$

b. Archimedes *screw* variasi 2

$$P_{out} = 212 \times \frac{\pi \times 186}{30} = 4100 \text{ watt}$$

$$\eta_{daya} = \frac{4100}{6700} \times 100\% = 61\%$$

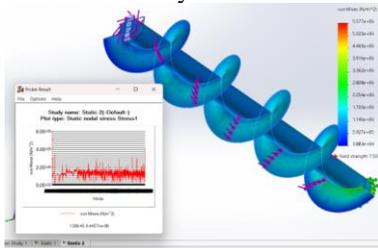
c. Archimedes *screw* variasi 3

$$P_{out} = 173 \times \frac{\pi \times 150}{30} = 3438 \text{ watt}$$

$$\eta_{daya} = \frac{3438}{6700} \times 100\% = 51\%$$

4.4 Simulasi Tegangan

Pada simulasi von Mises Archimedes *screw* menggunakan material AA1060-H12. Input beban yang dimasukkan adalah gaya dan torsi dari hasil simulasi aliran sebelumnya.



Gambar 4. 10 Tegangan von Mises pada turbin

4.5 Perancangan Gearbox

Rasio kecepatan telah ditentukan adalah 1:2, nilai yang sudah diketahui untuk putaran turbin Archimedes *screw* yang telah dilakukan adalah 169 rpm.

No	Roda gigi 1	Ket
1	Modul	5
2	Diameter	120 mm
3	Tebal muka gigi	50 mm
4	Jumlah roda gigi	24 ulir
5	Tinggi kepala	5 mm
6	Tinggi kaki	6.25 mm
7	Kelonggaran kepala	1.25 mm
8	Diameter lingkaran kepala	130 mm
9	Diameter lingkaran kaki	107.5 mm
10	Kedalaman total	11.25 mm
11	Tebal gigi	7.85 mm

Gambar 4. 11 Data rancangan roda gigi 1

No	Roda gigi 2	Ket
1	Modul	5
2	Diameter	60 mm
3	Tebal muka gigi	50 mm
4	Jumlah roda gigi	12 ulir
5	Tinggi kepala	5 mm
6	Tinggi kaki	6.25 mm
7	Kelonggaran kepala	1.25 mm
8	Diameter lingkaran kepala	70 mm
9	Diameter lingkaran kaki	47.2 mm
10	Kedalaman total	11.25 mm
11	Tebal gigi	7.85 mm

Gambar 4. 12 Data rancangan roda gigi 2

4.6 Pembahasan

Perancangan desain dilakukan dengan menggunakan *Solidworks* 2023 lalu dilanjutkan dengan simulasi terkait dengan kondisi yang ada di lapangan. Dapat diketahui bahwa gaya dan torsi terbesar memiliki nilai 1077 N dan torsi sebesar 279 Nm, nilai tersebut merupakan nilai terbesar yang ditunjukkan oleh turbin Archimedes *screw* variasi pertama. Besar daya yang dapat dibangkitkan Archimedes *screw* adalah 5076 watt, dibandingkan dengan daya input yang dimiliki turbin yaitu sebesar 6700 watt, efisiensi daya yang dimiliki Archimedes *screw* adalah sebesar 75%. dan setelah memasukkan nilai efisiensi generator yaitu sebesar 95% maka daya output yang bangkitkan oleh generator adalah 4822 watt.

Dengan menggunakan *gearbox* sebagai akselerasi transmisi antara Archimedes *screw* dan motor dengan menggunakan rasio 1:2 maka didapat diameter roda gigi penggerak adalah 120 mm dan memiliki sebanyak 24 gigi, sedangkan untuk roda gigi yang digerakkan memiliki diameter sebesar 60

mm dan memiliki sebanyak 12 gigi.

Simulasi tegangan (von Mises) dilakukan pada variasi pertama dikarenakan memiliki beban gaya paling besar. Nilai tegangan maksimum yang dialami turbin sebesar 5.5 MPa, akan tetapi tegangan luluh pada material yang digunakan memiliki nilai yang lebih besar. Maka dari itu Archimedes *screw* yang dirancang tidak akan mengalami kegagalan.

V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan terkait dengan perancangan Archimedes *screw* & *gearbox* untuk pembangkitan listrik, maka penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain Archimedes *screw* memiliki diameter 0.45 m, panjang 2 m, sudut kemiringan turbin 30°, dan memiliki 5 ulir. Dengan laju aliran rata-rata yang dihasilkan sebesar 4 m/s, diperoleh besaran gaya yang diterima sudu-sudu turbin sebesar 1277 N dan torsi sebesar 279 Nm.
2. Untuk perancangan *gearbox*, rasio yang digunakan dalam perancangan yaitu 1:2 dengan sudut tekan 20°, untuk roda gigi penggerak (Roda gigi 1) memiliki 24 gigi dan berdiameter 120 mm dan roda gigi yang digerakkan (roda gigi 2) memiliki 12 gigi dan berdiameter 60 mm.
3. Daya input pada rancangan Archimedes *screw* adalah 6700 watt, dari hasil simulasi daya output yang berhasil dibangkitkan 5076 watt. Maka efisiensi daya yang dihasilkan turbin adalah 75%. Dan daya output generator dihasilkan adalah 4822 watt.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan data aliran air sebaiknya dapat dilakukan dalam jangka waktu yang lebih Panjang agar data yang didapat lebih efektif.
2. Perancangan *gearbox* dapat menggunakan rasio akselerasi yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- ESDM, K. (2023). Capaian Kinerja Sektor ESDM Tahun 2022 & Target Tahun 2023.
- Engineeringtoolbox. (2010). Retrieved from Factors of Safety: https://www.engineeringtoolbox.com/factors-safety-fos-d_1624.html, 20 Desember 2023.

- Fikri, Ihsan Aftahul; Suryadimal. (2022). Rancang Bangun Turbin Ulir Archimedes untuk Pembangkit Listrik Head Rendah. Padang.
- Ihsan, M. (2022). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Turbin *Whirlpool* Skala Prototipe.
- James F. Manwell, J. G. (2022). *Wind Energy Explained-Theory, Design and Application*.
- Ma'ali, N. (2017). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Kepung Kabupaten Kediri.
- Mangantar, C. S. (2022). Rancang Bangun Gearbox Untuk Pembangkit Listrik Dengan Turbin Angin Darrieus Tipe-H.
- Mott, R. L. (2004). Elemen-Elemen Mesin Dalam Perancangan Mekanis. Yogyakarta: Andi.
- Naja, A. D. (2021). Analisis Performa Turbin Air Tipe Ulir (Archimedes *Screw*) Dengan Variasi Sudut Kemiringan. Jember.
- Nasution, R. A. (2022). Perancangan dan Pembangunan Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro tipe *Whirlpool*.
- Rorres, C. (2000). *The Turn of thr Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw*.
- Tangkuman, S. (2019). Mekanika Kekuatan Material. Buku Ajar Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi.