

STUDI PERENCANAAN PIKOHIDRO PADA TAILRACE PLTMH
TOMBOLO ENERGI



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

ANNISA

44219027

MUH. AKBAR ISHAK

44219030

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2023

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi dengan judul **Studi Perencanaan Pikohidro pada Tailrace PLTMH Tombolo Energi** oleh Annisa NIM 44219027 dan Muh Akbar Ishak NIM 44219030 dinyatakan layak untuk diseminarkan.

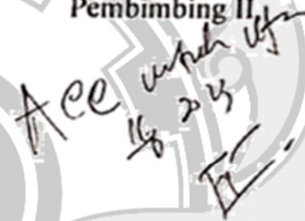
Makassar, 16 Agustus 2023

Pembimbing I,



Ir. Andreas Pangkung, M.T.
NIP. 19620828 198903 1 003

Pembimbing II,



Dr. Ir. Firman, M.T.
NIP 19641231 1991031 028

Mengetahui,
Koordinator Program Studi,



Ir. Chandra Buana, M.T.
NIP. 19650319 199103 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, 5 September 2023, Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima dengan baik skripsi oleh mahasiswa: Annisa NIM 44219027 dan Muh Akbar Ishak NIM 44219030 dengan Judul **Studi Perencanaan Pikohidro pada Tailrace PLTMH Tombolo Energi.**

Makassar, 5 September 2023

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi:

- | | | |
|--|---------------|------------------------|
| 1. Dr. Jumadi Tangko, M.Pd | Ketua | (<i>[Signature]</i>) |
| 2. Ir. Chandra Bhuana, M.T. | Sekretaris | (<i>[Signature]</i>) |
| 3. Prof. Ir. Muhammad Ansar, M.Si. Ph.D. | Anggota | (<i>[Signature]</i>) |
| 4. Ir. Nur Hamza, M.T., Ph.D. | Anggota | (<i>[Signature]</i>) |
| 5. Ir. Andareas Pangkung, M.T. | Pembimbing I | (<i>[Signature]</i>) |
| 6. Dr. Ir. Firman, M.T. | Pembimbing II | (<i>[Signature]</i>) |

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas rahmat dan hidayahnya-Nya, penulisan dan penyusunan proposal skripsi dengan judul “**Studi Perencanaan Piko hidro pada Tailrace PLTMH Tombolo Energi**” dapat diselesaikan dengan baik. Proposal skripsi ini dibuat dan disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Proposal skripsi ini tentunya tidak lepas dari bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kekuatan serta insiparasi kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua, saudara-saudara dan teman-teman penulis yang telah memberikan semangat, doa serta bantuan baik materi maupun fisik.
3. Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Ir. Chandra Buana., M.T. selaku Ketua Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi.
6. Bapak Ir. Herman Nawir, M.T. selaku wali kelas 4B TPE.
7. Bapak Ir. Andreas Pangkung, M.T. dan bapak Dr. Ir. Firman, M. T. selaku pembimbing dan pengarah yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Seluruh Dosen dan Staff Program Studi Teknik Pembangkit Energi yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama melaksanakan perkuliahan dan telah membantu menyediakan fasilitas sarana dalam menyelesaikan proposal skripsi ini.

9. Seluruh rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin Angkatan 2019 yang telah memberikan bantuan, motivasi serta doa selama penulis berada di Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis meminta maaf yang sedalam-dalamnya apabila terdapat kesalahan dalam penyusunan proposal skripsi ini.

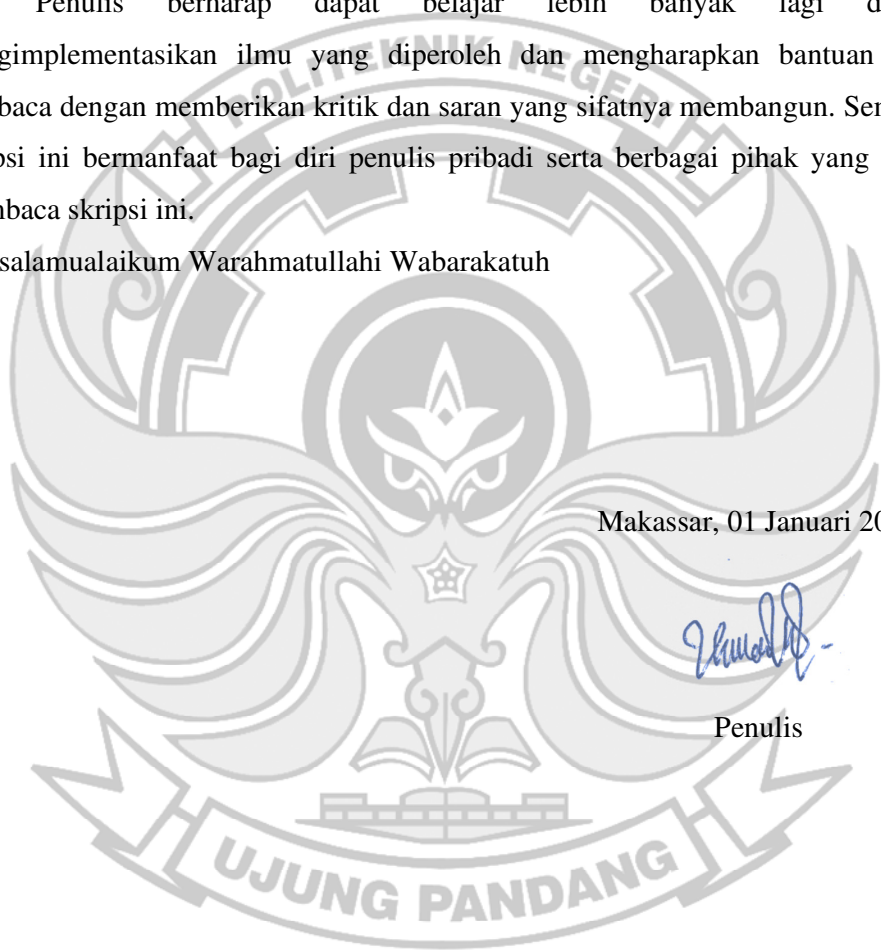
Penulis berharap dapat belajar lebih banyak lagi dalam mengimplementasikan ilmu yang diperoleh dan mengharapkan bantuan dari pembaca dengan memberikan kritik dan saran yang sifatnya membangun. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi diri penulis pribadi serta berbagai pihak yang telah membaca skripsi ini.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, 01 Januari 2023



Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	i
HALAMAN PENERIMAAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR SIMBOL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
SURAT PERNYATAAN.....	xiv
SURAT PERNYATAAN.....	xv
RINGKASAN.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5

2.1	Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH).....	5
2.2	Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTMH) PT. Tombolo Energi	7
2.3	Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)	8
2.4	Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH).....	9
2.5	Kincir Air (<i>Waterwheel</i>).....	10
2.6	Prinsip Kerja Kincir Air	12
2.7	Jenis-Jenis Kincir Air	13
2.7.1	Kincir Air <i>Overshot</i>	13
2.7.2	Kincir Air <i>Breathshot</i>	15
2.7.3	Kincir Air Tub.....	16
2.7.4	Kincir Air <i>Undershot</i>	17
2.8	Penentuan Parameter Desain <i>Waterwheel Undershot</i>	28
2.9	Generator	32
2.9.1	Stator	35
2.9.2	Rotor.....	36
2.10	Debit Air	37
BAB III METODE PENELITIAN.....		39
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	39
3.2	Alat dan Bahan	39
3.3	Prosedur Penelitian.....	40

3.3.1	Metode Pengumpulan Data.....	40
3.3.2	Analisis Data.....	40
3.4	Parameter yang Diukur.....	41
3.5	Flow Chart.....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		43
DAFTAR PUSTAKA.....		59
L A M P I R A N.....		61
Lampiran Foto Kegiatan.....		62
Lampiran BAB IV.....		65



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro	6
Gambar 2.2 Prinsip Kerja Kincir Air	12
Gambar 2.3 Kincir air <i>overshot</i>	13
Gambar 2.4 Kincir air <i>breatshot</i>	15
Gambar 2.5 Kincir air tub	16
Gambar 2.6 Kincir air <i>undershot</i>	18
Gambar 2.7 Mekanisme <i>Pontoon</i>	20
Gambar 2.8 Poros.....	21
Gambar 2.9 Macam-Macam Jenis Pasak	25
Gambar 2.10 Bantalan.....	26
Gambar 2.11 Blade kincir air	27
Gambar 2.12 Jenis Puli	28
Gambar 2.13 Generator.....	33
Gambar 2.14 (a) Generator sinkron 1 fasa. (b) Generator sinkron 3 fasa.....	35
Gambar 2.15 Stator	36
Gambar 2.16 Rotor.....	36
Gambar 3.1 <i>Tailrace</i> PLTMH Tombolo Energi	39
Gambar 4.1 Gambar teknik <i>tailrace</i> PLTMH Tombolo Energi.....	43
Gambar 4.2 Sudu two fins transverse parallel	47
Gambar 4.3 Desain kincir air <i>undershot</i> dengan delapan sudu.....	49
Gambar 4.4 Pikohidro tampak depan.....	52
Gambar 4.5 Pikohidro tampak belakang.....	53

Gambar 4.6 Penginputan data/desain kincir pada *software ansys* 54

Gambar 4.7 Proses simulasi kincir air *undershot* 55

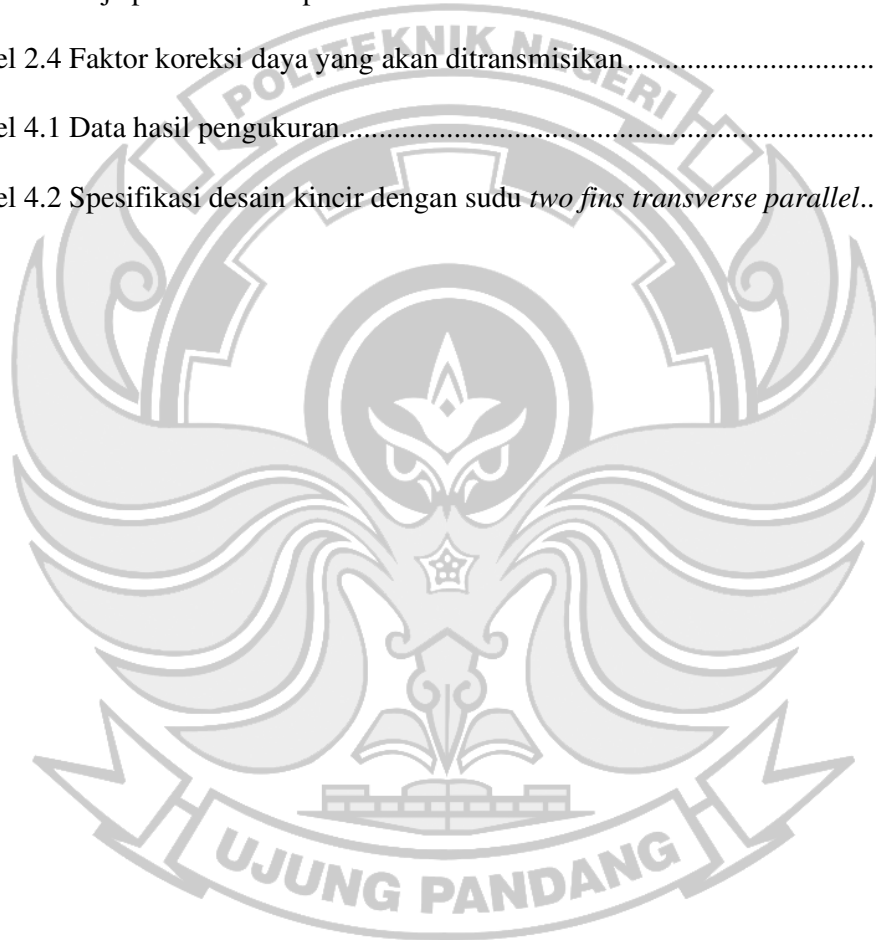
Gambar 4.8 Gaya yang dihasilkan kincir air *undershot*..... 55

Gambar 4.9 Nilai omega yang dihasilkan kincir air *undershot* 56



DAFTAR TABEL

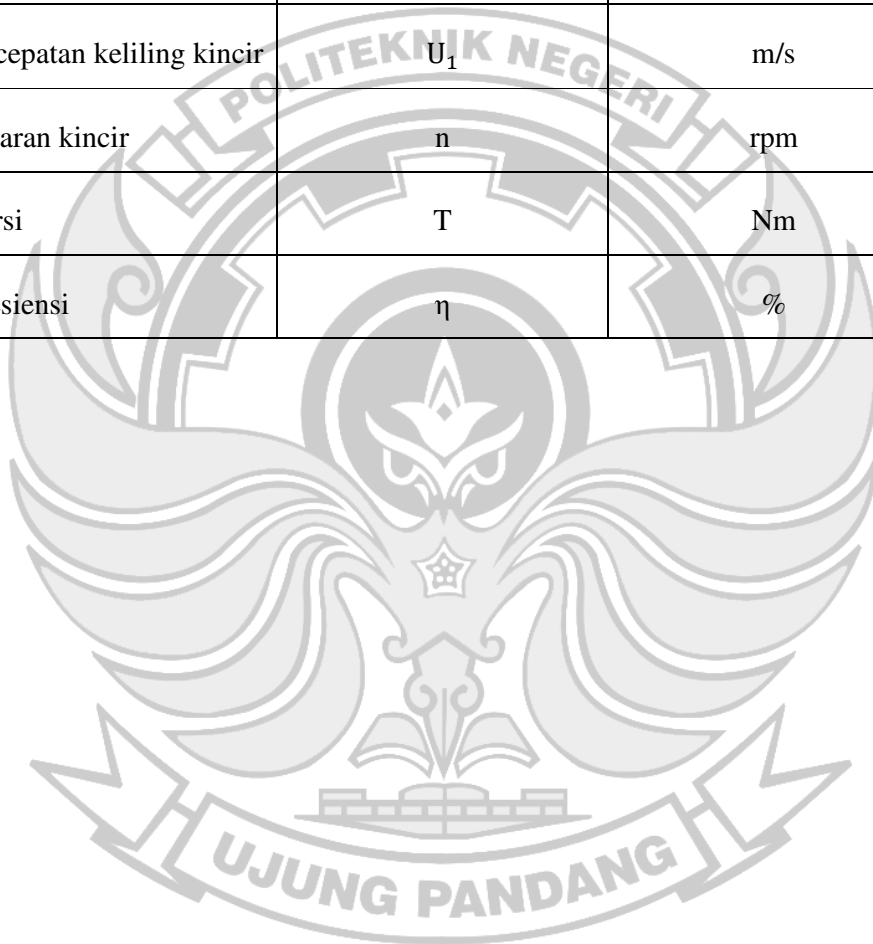
Tabel 2.1 Data Kincir Air Jenis <i>Undershot</i>	18
Tabel 2.2 Baja karbon untuk konstruksi mesin dan baja batang yang difinish dingin untuk poros.....	22
Tabel 2.3 Baja paduan untuk poros.....	22
Tabel 2.4 Faktor koreksi daya yang akan ditransmisikan.....	23
Tabel 4.1 Data hasil pengukuran.....	43
Tabel 4.2 Spesifikasi desain kincir dengan sudu <i>two fins transverse parallel</i>	53



DAFTAR SIMBOL

NAMA	SIMBOL	SATUAN
Arus	I	A
Daya	P	kW
Debit	Q	m ³ /s
Diameter	D	M
Tegangan Geser	τ_a	Kg/mm ²
Diameter pulley turbin	D _p	Mm
Diameter poros	D _s	mm
Gaya Tangsial	F	Kg
Tegangan geser	TK	Kg/mm ²
Lebar	b	-
Panjang	l	-
Putaran poros kincir	n _l	rpm
Beban radial	F _r	Kg
Beban aksial	F _a	Kg
Luas penampang	A	m ²
Lebar sungai	B	m
Kedalam	h	m

Kecepatan aliran	v	m/s
Massa jenis air	ρ	kg/m ³
Jari jari kincir	r_k	m
Jarak sudu	t	m
Kecepatan keliling kincir	U_1	m/s
Putaran kincir	n	rpm
Torsi	T	Nm
Efisiensi	η	%



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Foto Kegiatan	62
Lampiran BAB IV.....	65



SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama lengkap : Annisa
NIM : 442 19 027
Program Studi : D4 Teknik Pembangkit Energi
Tempat / Tanggal lahir : Takalar, 24 September 2000
Alamat : Lingkungan Kampung Beru, Kel. Takalar

Dengan ini menyatakan:

A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul:

STUDI PERENCANAAN PIKOHIDRO PADA *TAILRACE* PLTMH TOMBOLO ENERGI

Adalah benar disusun/dibuat oleh saya sendiri dan jika dikemudian hari diketahui berdasarkan bukti-bukti yang kuat ternyata Tugas Akhir/Skripsi tersebut dibuatkan oleh orang lain atau diketahui bahwa Tugas Akhir/Skripsi tersebut merupakan plagiat /mencontek/menjiplak hasil karya ilmiah orang lain, maka dengan ini saya siap menerima segala yang ditimbulkan berupa pembatalan/pencabutan Gelar Akademik dan siap mengulang dari awal.

B. Bahwa seluruh dokumen (copy ijazah, copy transkrip niali) dan lain-lain sebagai persyaratan sidang adalah asli milik saya pribadi dan dapat saya pertanggung jawabkan keasliannya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Makassar, 16 Agustus 2023

Hormat Saya,



(Annisa)

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama lengkap : Muh. Akbar Ishak
NIM : 442 190 030
Program Studi : D4 Teknik Pembangkit Energi
Tempat / Tanggal lahir : Lampa, 3 Agustus 2000
Alamat : Jl Poros Pinrang Lampa Barat

Dengan ini menyatakan:

A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul:

STUDI PERENCANAAN PIKOHIDRO PADA *TAILRACE* PLTMH TOMBOLO ENERGI

Adalah benar disusun/dibuat oleh saya sendiri dan jika dikemudian hari diketahui berdasarkan bukti-bukti yang kuat ternyata Tugas Akhir/Skripsi tersebut dibuatkan oleh orang lain atau diketahui bahwa Tugas Akhir/Skripsi tersebut merupakan plagiat /mencontek/menjiplak hasil karya ilmiah orang lain, maka dengan ini saya siap menerima segala yang ditimbulkan berupa pembatalan/pencabutan Gelar Akademik dan siap mengulang dari awal.

B. Bahwa seluruh dokumen (copy ijazah, copy transkrip niali) dan lain-lain sebagai persyaratan sidang adalah asli milik saya pribadi dan dapat saya pertanggung jawabkan keasliannya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Makassar, 16 Agustus 2023

Hormat Saya,



(Muh. Akbar Ishak)

RINGKASAN

Pembangkit tenaga air dianggap sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang penting. Energi terbarukan adalah kontributor terbesar kedua untuk produksi listrik global setelah bahan bakar fosil. Pembangkit listrik tenaga air menghadirkan beberapa keunggulan dibandingkan sebagian besar sumber tenaga listrik lainnya. Ini termasuk tingkat keandalan yang tinggi, teknologi terbukti, efisiensi tinggi (sekitar 90%), biaya operasi dan pemeliharaan yang sangat rendah, fleksibilitas dan kapasitas penyimpanan yang besar. Energi potensial air merupakan salah satu energi yang paling murah dalam operasionalnya sebagai pembangkit energi listrik, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH). Pembangkit listrik Pikohidro yaitu pembangkit listrik tenaga air yang dapat memproduksi listrik antara 100 watt sampai 5 kW.

Dalam penelitian ini, dilakukan simulasi untuk mencari daya keluaran dari hasil desain dan perhitungan kincir *undershot* menggunakan *ansys* untuk mengetahui berapa besar daya yang dapat dihasilkan dari kincir air jenis *undershot*. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode kuantitatif. Data-data yang dikumpulkan diantaranya *head*, kecepatan laju air, kedalaman saluarn, tinggi saluran dan lain-lain yang kemudian akan digunakan untuk perhitungan teoritis untuk menghasilkan ukuran yang digunakan untuk mengetahui ukuran kincir air *undershot*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa Rancangan komponen utama turbin pikohidro yang telah dianalisis kemudian didesain menggunakan software Autodesk Inventor, menghasilkan desain kincir air *undershot* dengan lebar kincir air sebesar 1,2 meter, diameter luar sebesar 2,7 meter, diameter dalam sebesar 1,8 meter dan mempunyai delapan buah sudu. Tipe sudu yang digunakan adalah two fins transverse parallel. Berdasarkan hasil simulasi desain kincir air *undershot* menggunakan *software ansys*, didapatkan output daya dari hasil simulasi sebesar 14423,63 Watt atau 14,4 kW, sedangkan berdasarkan hasil perhitungan teoritis daya yang dihasilkan sebesar 10714,71 watt atau 10,71 kW, dan efisiensi *undershot waterwheel* sebesar 22,74%.

SUMMARY

Hydropower generation is considered one of the important renewable energy sources. Renewable energy is the second largest contributor to global electricity production after fossil fuels. Hydropower presents several advantages over most other sources of electric power. These include high levels of reliability, proven technology, high efficiency (around 90%), very low operation and maintenance costs, flexibility and large storage capacity. Water potential energy is one of the least expensive energies to operate as an electrical energy generator, such as a Picohydro Power Plant (PHP). Picohidro power plant is a hydroelectric power plant that can produce electricity between 100 watts to 5 kW.

In this study, a simulation was carried out to find the output power from the design and calculation of the undershot pinwheel using Ansys to find out how much power can be generated from the undershot type waterwheel. The research method used is quantitative method. The data collected include head, water velocity, saluarn depth, channel height and others which will then be used for theoretical calculations to produce a size used to determine the size of the undershot waterwheel.

The test results show that the design of the main components of the picohydro turbine that has been analyzed and then designed using Autodesk Inventor software, produces an undershot waterwheel design with a waterwheel width of 1.2 meters, an outer diameter of 2.7 meters, an inner diameter of 1.8 meters and has eight blades. The blade type used is two fins transverse parallel. Based on the simulation results of the undershot waterwheel design using ansys software, the power output from the simulation results is 14423.63 Watts or 14.4 kW, while based on the results of theoretical calculations the power generated is 10714.71 watts or 10.71 kW, and the undershot waterwheel efficiency is 22.74%.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara berkembang yang dikaruniai kekayaan alam yang berlimpah ruah yang tersebar dibelasan ribu pulau, baik yang tersimpan di atas daratan, di dalam lautan, maupun di bawah kulit bumi. Diantara kekayaan alam itu, terdapat sumber-sumber energi dengan potensi yang cukup besar antara lain tenaga air, batu bara, minyak bumi, gas alam, panas bumi dan lain-lain. Selain itu kondisi geografis menjadi alasan dibangunnya pusat-pusat listrik sehingga terciptanya suatu pembangunan nasional. Dalam hal ini salah satu energi yang sangat menunjang dalam era globalisasi saat ini adalah energi listrik.

Mengingat kebutuhan masyarakat akan energi listrik yang semakin tinggi pada masa sekarang dan keterbatasan tenaga listrik merupakan salah satu permasalahan energi yang paling mendasar di Indonesia. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya daerah yang belum teraliri listrik khususnya daerah yang terpencil. Ketersediaan pembangkit listrik di Indonesia masih sangat kurang. Oleh karena itu, perlu diciptakan alat atau pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan harganya terjangkau agar dapat memenuhi kebutuhan listrik masyarakat khususnya di daerah terpencil.

Pembangkit tenaga air dianggap sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang penting. Energi terbarukan adalah kontributor terbesar kedua untuk produksi listrik global setelah bahan bakar fosil. Pembangkit listrik tenaga air menghadirkan beberapa keunggulan dibandingkan sebagian besar sumber tenaga listrik lainnya. Ini termasuk tingkat keandalan yang tinggi, teknologi terbukti,

efisiensi tinggi (sekitar 90%), biaya operasi dan pemeliharaan yang sangat rendah, fleksibilitas dan kapasitas penyimpanan yang besar. Energi potensial air merupakan salah satu energi yang paling murah dalam operasionalnya sebagai pembangkit energi listrik, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH). Pembangkit listrik Pikohidro yaitu pembangkit listrik tenaga air yang dapat memproduksi listrik antara 100 watt sampai 5 kW.

PLTPH merupakan salah satu teknologi pembangkit listrik yang ramah lingkungan karena memanfaatkan aliran sungai atau air terjun untuk menjadi sumber listrik melalui turbin. Secara teknis, pikohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin/kincir air dan generator (sebagai konverter), mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan memanfaatkan tinggi terjunnya dan jumlah debit air merupakan prinsip kerjanya. (Nakhoda Et Al, 2018)

Di Indonesia terdapat beberapa PLTMH yang telah beroperasi salah satunya yaitu PLTMH Tombolo Energi yang terletak di Desa Tombolo Pao Kabupaten Gowa. Energi air yang ada pada *tailrace* PLTMH Tombolo Energi masih dapat dimanfaatkan untuk membangun Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro. Energi listrik yang dihasilkan PLTPH tersebut dapat digunakan pada lingkungan sekitar, salah satu contohnya adalah penerangan jalan.

Dari uraian tersebut peneliti ingin membuat perencanaan pikohidro pada PLTMH Tombolo Energi agar dapat mengetahui kelayakannya. Oleh karena itu, penulis mengajukan proposal penelitian berjudul **“Studi Perencanaan Pikohidro pada *Tailrace* PLTMH Tombolo Energi”** yang diharapkan dapat menjadi solusi untuk membangun PLTPH pada *tailrace* PLTMH Tombolo Energi yang dapat

dimanfaatkan sebagai penerangan di lingkungan sekitar PLTMH itu sendiri dan lebih hemat dalam produksi listrik untuk pemakaian sendiri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini, yaitu:

1. Bagaimana rancangan komponen utama turbin pikohidro dengan daya 1-5 kw pada *Tailrace* PLTMH Tombolo Energi?
2. Berapa daya yang dapat dihasilkan sebuah turbin pikohidro pada *Tailrace* PLTMH Tombolo Energi?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini, adalah:

1. Parameter yang digunakan adalah rata-rata hasil pengukuran lebar *tailrace*, ketinggian air pada *tailrace*, kecepatan aliran pada *tailrace*.
2. Kondisi pengukuran ialah kondisi *existing* pada *Tailrace* PLTMH Tombolo Energi.

1.4 Tujuan Penelitian

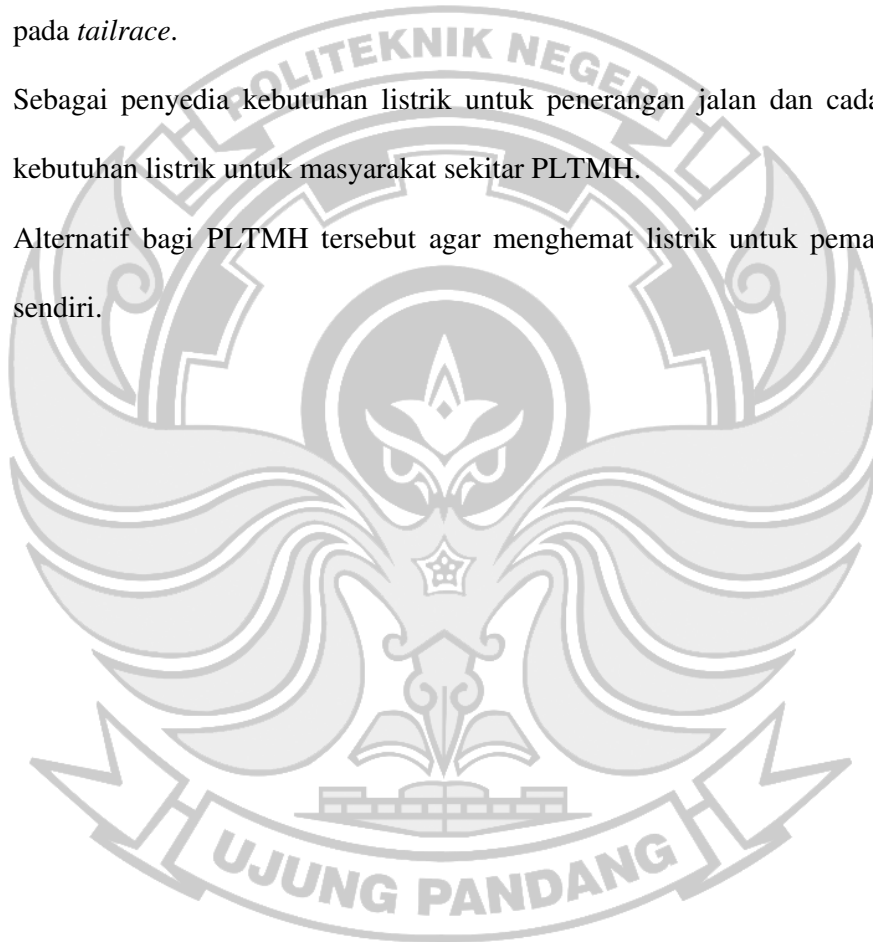
Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan yang ingin dicapai adalah:

1. Membuat rancangan komponen utama turbin pikohidro pada *Tailrace* PLTMH Tombolo Energi.
2. Menentukan daya yang dapat dihasilkan sebuah turbin pikohidro pada *Tailrace* PLTMH Tombolo Energi.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, sebagai berikut:

1. Sebagai referensi dalam perencanaan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro pada *Tailrace* PLTMH Tombolo Energi.
2. Sebagai salah satu upaya dalam memanfaatkan energi potensial air yang ada pada *tailrace*.
3. Sebagai penyedia kebutuhan listrik untuk penerangan jalan dan cadangan kebutuhan listrik untuk masyarakat sekitar PLTMH.
4. Alternatif bagi PLTMH tersebut agar menghemat listrik untuk pemakaian sendiri.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH)

PLTPH adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Tenaga air berasal dari aliran air yang dibendung dengan ketinggian tertentu dan memiliki debit sehingga dapat memutar turbin yang dihubungkan dengan generator listrik.

Pada dasarnya, PLTPH memanfaatkan energi potensial jatuhan air (*head*). Semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Disamping faktor *geografis* (tata letak sungai), tinggi jatuhan air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Perbedaan tinggi yang semakin besar membuat energi potensialnya semakin besar juga. Perbedaan tinggi dalam PLTPH disebut dengan tinggi jatuh air (*head*), tinggi jatuh air tersebut nantinya akan dikalikan dengan hambatan-hambatan lain agar didapatkan tinggi jatuh efektif.

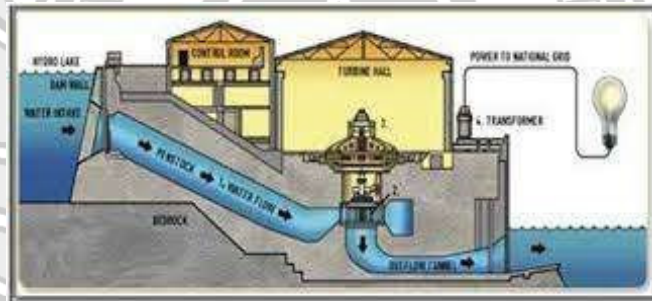
Air dialirkan melalui sebuah pipa pesat kedalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibangun di bagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator.

Pembangkit tenaga air merupakan suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Bentuk pembangkit tenaga mikro hidro

bervariasi, tetapi prinsip kerjanya adalah sama, yaitu: “Perubahan tenaga potensial menjadi tenaga elektrik (listrik)”. Perubahan memang tidak langsung, tetapi berturut-turut melalui perubahan sebagai berikut:

- Tenaga potensial menjadi tenaga kinetik
- Tenaga kinetik menjadi tenaga mekanik
- Tenaga mekanik menjadi tenaga listrik

Tenaga potensial adalah tenaga air karena berada pada ketinggian. Energi kinetik adalah tenaga air karena mempunyai kecepatan. Tenaga mekanik adalah tenaga kecepatan air yang terus memutar kincir/turbin. Tenaga listrik adalah hasil dari generator yang berputar akibat berputarnya kincir/turbin. (Ma’Ali, 2017)



Gambar 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

(Sumber: Ali, 2017)

Dalam hal komponen, PLTMH memerlukan turbin dan generator. Fungsi turbin sebagai alat konversi aliran air menjadi energi mekanis, sedangkan generator berfungsi untuk menghasilkan listrik sesuai hukum elektromagnetik dengan memanfaatkan energi mekanis dari turbin/kincir air (Wiranto, 2018).

Secara garis besar, tidak ada perbedaan komponen yang digunakan pada PLTPH dan kategori PLTA lainnya. Seandainya terdapat perbedaan, hal ini terletak

pada ukurannya. Sebagai contoh, jenis turbin yang digunakan pada PLTPH memiliki ukuran lebih kecil dibandingkan dengan ukuran turbin pada kategori PLTA yang lebih besar.

Dalam merancang PLTPH, perlu diketahui terlebih dahulu potensi di lokasi yang dituju. Dalam menaksir potensi ini, ada 2 (dua) hal yang wajib diketahui, yakni ketinggian jatuh air dan debit air tersebut. Interaksi antara kedua hal ini tergambar lewat formulasi sebagai berikut: (Wiranto, 2018)

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

Keterangan:

P = potensi keluaran daya (W)

ρ = masa jenis air (1000 kg/m^3)

Q = debit air (m^3/s)

H = tinggi jatuh air (m)

g = gravitasi (m/s^2)

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTMH) PT. Tombolo Energi

PT. Bumi Karsa melalui anak perusahaannya PT. Tombolo Energy yang bergerak di bidang pembangkit listrik tenaga mini hydro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang terletak di Desa Pao, Kecamatan Tombolo Pao, Kabupaten Gowa, provinsi Sulawesi Selatan. PLTMH PT. Tombolo Energi mampu membangkitkan daya sebesar 3 MW dengan 2 turbin jenis turbin francis dimana pada unit 1 mampu menghasilkan daya sebesar 2,5 MW sedangkan pada unit 2 menghasilkan daya sebesar 0,5 MW. Pada saat musim kemarau terdapat sebuah permasalahan yaitu hanya 1 turbin yang dapat beroperasi yaitu turbin unit 2

dikarenakan kurangnya pasokan air sehingga hanya 1 turbin yang beroperasi, dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Tenaga air berasal dari aliran air yang dibendung dengan ketinggian tertentu dan memiliki debit sehingga dapat memutar turbin yang dihubungkan dengan generator sehingga menghasilkan daya listrik yang mana listrik tersebut ada yang digunakan untuk pemakain sendiri oleh PT. Tomblo Energi dan juga sebagian daya yang dihasilkan itu di jual ke PT. PLN (Persero).

2.3 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Menurut Dwiyanto (2016), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dapat diklasifikasikan berdasarkan *Head* dan kapasitasnya adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan *Head*
 - *Head* tinggi: $50\text{ m} < H < 1000\text{ m}$ biasanya digunakan turbin *pelton*
 - *Head* menengah: $10\text{ m} < H < 350\text{ m}$ biasanya digunakan turbin *francis*
 - *Head* menengah: $50\text{ m} < H < 250\text{ m}$ biasanya digunakan turbin *tugro*
 - *Head* rendah: $6\text{ m} < H < 100\text{ m}$ biasanya digunakan turbin *crossflow*
 - *Head* rendah: $2\text{ m} < H < 20\text{ m}$ biasanya digunakan turbin *kaplan*
2. Berdasarkan Kapasitas
 - PLTA piko: $< 5\text{ kW}$
 - PLTA mikro: $5\text{-}100\text{ kW}$
 - PLTA mini: $> 100\text{ kW}$ dan $< 1\text{ MW}$
 - PLTA kecil: $1\text{-}15\text{ MW}$
 - PLTA medium: $15\text{-}100\text{ MW}$
 - PLTA skala penuh: $> 100\text{ MW}$
3. Berdasarkan Jenis Desain
 - *Run of the river*, bentuk yang paling sederhana dalam konteks PLTA mikro dan mini. Desain ini tidak memanfaatkan bendungan untuk

mengarahkan air ke bangunan penyalur, melainkan mengubah laju aliran air menuju turbin melalui pipa atau *penstock*.

- Sistem penyimpanan, dalam penggunaan sistem ini. Air ini akan disimpan terlebih dahulu dalam jangka waktu tertentu (beberapa jam atau dalam beberapa bulan) dan akan digunakan untuk menghasilkan energi ketika dibutuhkan. (Dalam pengertiannya air dimasukkan dalam wadah sehingga dalam kurun waktu tertentu, volume air yang mula-mula sedikit akan meningkat. Dengan bertambah besarnya volume air yang tersimpan akan menambah besarnya energi air.
- Sistem pompa penyimpanan, ketika terjadi kebutuhan listrik yang rendah atau kelebihan kebutuhan listrik secara tiba-tiba, maka pompa secara otomatis akan mengisi penuh tangki penyimpanan. Namun, apabila terjadi lonjakan kebutuhan listrik yang tinggi, maka tangki akan segera dikosongkan menuju turbin untuk memenuhi kebutuhan produksi yang mencukupi. (Ma'Ali, 2017)

2.4 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH)

Untuk bisa menghasilkan energi listrik dari air, ada beberapa tahapan yang harus dilalui. Pertama adalah energi potensial dari air berubah menjadi energi kinetik. Air pada ketinggian tertentu mempunyai energi potensial, semakin tinggi elevasinya maka energi potensialnya semakin besar. Ketika air pada ketinggian tertentu mengalir ke bawah, maka terjadi perubahan energi potensial menjadi energi kinetik. Ketika air mengalir menabrak turbin, maka terjadi perubahan kinetik menjadi energi mekanik. Dan yang terakhir ketika turbin berputar dan ikut

menggerakkan rotor generator, maka terjadi perubahan energi mekanik menjadi energy listrik.

Sebuah skema PLTPH memerlukan dua hal yaitu debit air dan ketinggian jatuh (biasa disebut 'head') untuk menghasilkan tenaga yang bermanfaat. Ini adalah sebuah sistem konversi tenaga, menyerap tenaga dari bentuk ketinggian dan aliran, dan menyalurkan tenaga dalam bentuk daya listrik atau daya gagang mekanik. Tidak ada sistem konversi daya yang dapat mengirim sebanyak yang diserap dikurangi sebagian daya hilang oleh system itu sendiri dalam bentuk gesekan, panas, suara dan sebagainya.

Umumnya PLTPH adalah pembangkit listrik tenaga air jenis *Run of River* di mana *head* diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, tetapi dengan mengalihkan sebagian aliran air sungai ke salah satu sisi sungai dan menjatuhkannya lagi ke sungai yang sama pada suatu tempat dimana *head* yang diperlukan sudah diperoleh. Dengan melalui pipa pesat, air diterjunkan untuk memutar turbin yang berada di dalam rumah pembangkit. Energi mekanik dari putaran poros turbin/kincir air akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. (Ma' Ali, 2017)

2.5 Kincir Air (*Waterwheel*)

Kincir air adalah sebuah alat berbentuk lingkaran yang dibangun di sungai. Alat ini berputar pada sumbunya karena adanya dorongan aliran air sungai yang cukup deras. Kincir air merupakan komponen putaran air yang memberikan energi pada poros yang berputar, sehingga kincir air merupakan sarana untuk merubah energi air menjadi energi mekanik berupa torsi pada poros kincir.

Pada hakekatnya untuk suatu prinsip kerja daripada listrik tenaga air ini adalah mengubah energi yang terdapat pada air yang mengalir di dalam sungai menjadi energi mekanik, kemudian energi mekanik inilah yang mampu diubah menjadi suatu bentuk energi listrik. Alat utama dalam pembuatan kincir air adalah turbin dan juga generator. Kincir air tersebut dikopel dengan generator sehingga dapat menghasilkan listrik dari putaran kincir dan generatornya.

Pada saat sekarang penggunaan turbin air lebih banyak dibandingkan dengan kincir air. Hal ini menyebabkan kerana turbin air memiliki keuntungan-keuntungan bila dibandingkan dengan kincir air antara lain:

- 1) Mempunyai efisiensi yang lebih tinggi.
- 2) Mampu membangkitkan daya yang lebih besar.
- 3) Mampu memanfaatkan beda ketinggian permukaan air dari yang sangat rendah sampai yang paling tinggi.
- 4) Dapat bekerja terendam didalam air.
- 5) Dapat beroperasi dengan kecepatan tinggi.

Tetapi walaupun begitu, penggunaan kincir air samapai sekarang masih tetap ada, karena mempunyai kelebihan juga di bandingkan dengan turbin air, yaitu konstruksinya yang sederhana dan murah serta mudah dan murah dalam perawatanya. Walaupun memiliki banyak kekurangan dibandingkan turbin air, teknologi ini yang sangat sederhana ini cocok digunakan didaerah perdesaan yang terpencil, asalkan daerah tersebut mempunyai potensi sumber tenaga air yang cukup terjamin.

Data sejarah menunjukkan bahwa prinsip konversi energi air menjadi energi mekanik telah dikenal sejak lebih 2.500 tahun yang lalu dengan di mulai digunakan kincir air sederhana yang terbuat dari kayu, sebagai mesin pembangkit tenaga. Penggunaan kincir air diawali di India, dan kemudian berkembang ke Mersir, dan berlanjut ke eropa dan seterusnya merambah ke Amerika, rancangan sistematik dari kincir dimulai abad ke 18, dimana banyak dilakukan riset untuk meningkatkan kinerja dari kincir air yang telah dibangun yang akhirnya menuju kekonstruksi turbin air. Kincir air yang dirancang secara teoritik, dikembangkan oleh poncelet dan banyak digunakan di Inggris pada awal abad 19. (Sumber: Kaprawi DEA, 2011)

2.6 Prinsip Kerja Kincir Air

Kincir air merupakan suatu alat yang berputar karena adanya aliran air yang melewati kincir sehingga kincir berputar. Putaran kincir ini dimanfaatkan untuk menggerakkan generator listrik. Dengan demikian, akan dihasilkan aliran listrik yang dapat dipakai untuk berbagai keperluan. Seperti ilustrasi pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Kincir Air

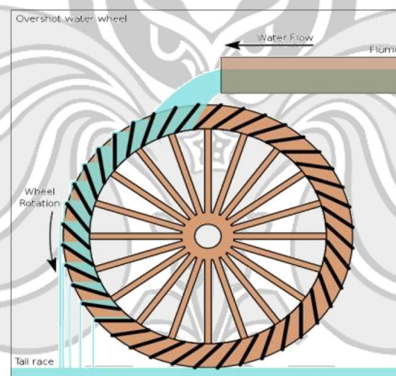
(Sumber : <http://www.finehomebuilding.com/2009/06/25/getting-offthe-grid>)

Pada proses kerja kincir air pembangkit listrik sampai pada pemakaian listrik terjadi beberapa perubahan energi. Pertama, adalah perubahan energi potensial yang ada di dalam aliran air menjadi energi mekanik (gerak) oleh kincir. Kedua, energi mekanik ini akan memutar generator. Akibat perputaran generator terjadilah lompatan elektron. Hal inilah yang menghasilkan arus listrik. Proses selanjutnya arus listrik di distribusikan ke rumah-rumah, pabrik-pabrik maupun apa saja yang membutuhkan listrik.

2.7 Jenis-Jenis Kincir Air

Adapun beberapa jenis-jenis kincir air berdasarkan sistem aliran airnya, yaitu:

2.7.1 Kincir Air *Overshot*



Gambar 2.3 Kincir air *overshot*

(Sumber: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/86/Overshot_water_wheel_schematic.svg, 2018)

Pada kincir air jenis *overshot* seperti pada gambar 2.3, air melalui bagian atas kincir dan kincir terletak dibawah aliran air. Kincir air *overshot* bekerja bila air yang mengalir jatuh kedalam sudu-sudu sisi bagian atas, sehingga kincir terdorong dan berputar, seperti terlihat pada gambar dibawah.

Kincir air jenis ini murni memanfaatkan gaya berat air untuk beroperasi. Kincir air tipe *overshot* adalah kincir air yang paling banyak digunakan jika dibandingkan dengan jenis kincir air yang lain, karena memiliki efisiensi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kincir air tipe yang lain. Rancangan kincir yang menghasilkan kinerja yang baik antara lain dengan mengatur sudut gerak sehingga energi maksimum dari air dapat dimanfaatkan secara optimal. Kadangkala posisi kincir diatur agak kebawah agar pancaran air juga dapat dimanfaatkan. Pada kondisi ini, roda kincir digerakkan oleh gaya berat air dan dorongan air.

Kelebihan dalam menggunakan sebuah kincir air *overshot* ini adalah sebagai berikut:

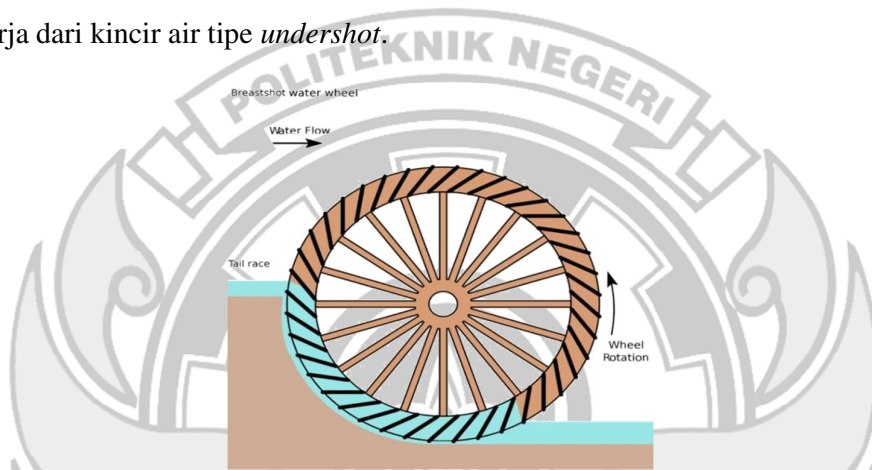
1. Tingkat efisiensi yang tinggi dapat mencapai 85% .
2. Tidak membutuhkan aliran yang deras.
3. Konstruksi yang sederhana.
4. Mudah dalam perawatan.
5. Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir

Adapun kekurangan dalam menggunakan sebuah kincir air *overshot* adalah sebagai berikut:

1. Karena aliran ini berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air sehingga memerlukan investasi yang lebih banyak.
2. Tidak dapat diterapkan untuk mesin putaran tinggi.
3. Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.
4. Daya yang dihasilkan relatif kecil.

2.7.2 Kincir Air *Breastshot*

Tipe kincir air *breastshot* ini merupakan perpaduan yaitu antara *overshot* dan *undershot*, dapat dilihat dari energi yang diterimanya. Jarak tinggi jatuhnya air tidak melebihi pada diameter kincir itu sendiri, arah aliran air yang menggerakkan kincir air pada sekitar sumbu poros dari kincir air. Kincir air jenis ini memperbaiki kinerja dari kincir air tipe *undershot*.



Gambar 2.4 Kincir air breastshot

(Sumber: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/86/Breastshot_water_wheel_schematic.svg, 2018)

Beberapa hal khusus dari rancangan kincir air jenis *breastshot wheel* adalah sebagian dari bagian bawah roda kincir terendam atau berada dibawah permukaan air bawah dan diameter dari kincir tipe *breastshot wheel* lebih besar dari beda ketinggian permukaan yang ada.

Adapun kelebihan dalam menggunakan kincir air jenis *breastshot* ini adalah sebagai berikut:

1. Tipe kincir air ini dapat diaplikasikan pada sumber air aliran datar.
2. Tipe ini lebih efisien daripada kincir air tipe *undershot*.

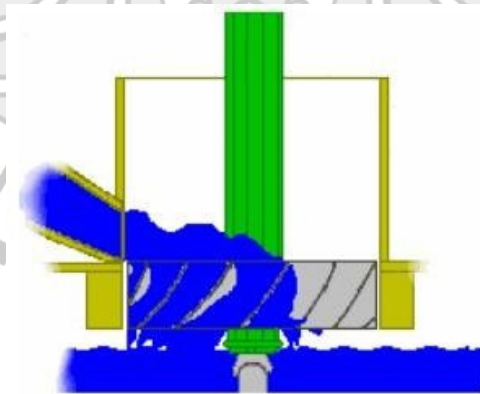
3. Dibandingkan dengan kincir air tipe *undershot*, kincir air tipe *breastshot* jauh lebih efisien.

Adapun kekurangan dalam menggunakan kincir air jenis *breastshot* ini adalah sebagai berikut:

1. Efisiensinya lebih kecil daripada kincir air tipe *overshot*.
2. Sudu-sudu dari kincir air tipe *breastshot* ini tidak rata seperti kincir air tipe *undershot* (lebih rumit).
3. Kincir air tipe ini diperlukan *dam* pada arus aliran datar.

2.7.3 Kincir Air Tub

Kincir air *tub* merupakan kincir air yang kincirnya diletakkan secara horizontal dan sudu-sudunya terhadap garis vertikal, dan tipe ini dapat dibuat lebih kecil dari pada tipe *overshot* maupun *undershot*. Karena arah gaya dari pancuran air menyamping, maka energi yang diterima oleh kincir yaitu energi potensial dan kinetik. Bentuk dari kincir air *tub* seperti pada gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Kincir air tub

(Sumber: http://www.osv.org/explore_learn/waterpower)

Adapun kelebihan dalam menggunakan kincir air jenis tub ini adalah sebagai berikut:

1. Memiliki kecepatan putar yang lebih cepat.
2. Kincir air tipe tub ini memiliki konstruksi yang lebih ringkas.

Adapun kekurangan dalam menggunakan kincir air jenis tub ini adalah sebagai berikut:

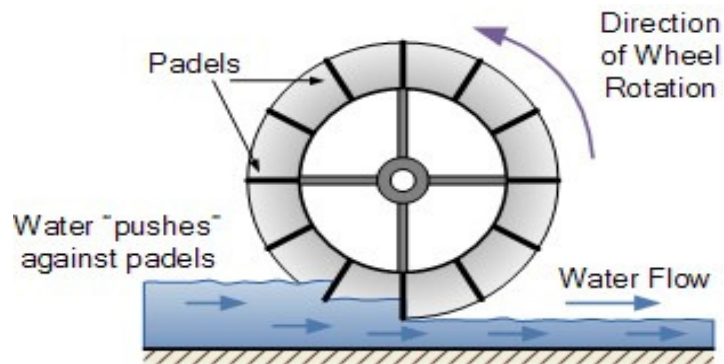
1. Daya yang dihasilkan kincir air tipe ini tidak besar.
2. Karena komponennya lebih kecil membutuhkan tingkat ketelitian yang lebih teliti. (Santoso, R., 2009)

2.7.4 Kincir Air *Undershot*

1. Pengertian Kincir Air Undershoot

Kincir air *undershot* bekerja bila air yang mengalir menghantam dinding sudu yang terletak pada bagian bawah dari kincir air. Kincir air tipe *undershot* tidak mempunyai tambahan keuntungan dari head. Tipe ini cocok dipasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata. Tipe ini disebut juga dengan "Vitruvian". Dimana aliran air berlawanan dengan arah sudu yang memutar kincir. (McGuigan, 1978).

Pada kincir air tipe *undershot* seperti pada gambar 2.6, posisi kincir air diletakkan agak keatas dan sedikit menyentuh air. Pada kincir air jenis *undershot* air menumbuk dinding sudu gerak dari kincir pada saat posisi roda kincir berada dibawah atau dasar permukaan air dan tidak memerlukan head. Kincir tipe *undershot* cocok dipasang pada perairan arus sungai datar.



Gambar 2.6 Kincir air undershot
(Sumber: Syafriyudin dkk, 2017)

Adapun kelebihan ketika dalam menggunakan kincir air *undershot* adalah sebagai berikut:

- a. Konstruksi dari kincir air ini lebih sederhana.
- b. Lebih ekonomis.
- c. Kincir air tipe ini lebih *fleksibel* karena mudah untuk dipindahkan.

Adapun kekurangan ketika dalam menggunakan kincir air *undershot* yaitu:

- a. Efisiensi kincir air ini kecil.
- b. Daya yang dihasilkan relatif kecil.

Data empirik dari kincir air jenis *undershot* dengan rancangan baik, seperti pada table 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Data Kincir air jenis *undershot*

Parameter	Simbol	Satuan	Jumlah
Beda ketinggian permukaan air	Δz	m	< 5
Diameter nominal kincir	D	m	2 – 4
Putaran kincir	n	rpm	2 – 4
Efisiensi total	η	%	35 - 45

(Sumber: Kaprawi DEA, 2011)

2. Prinsip Kerja Kincir Air *Undershot*

Prinsip kerja dari kincir air tipe *undershot* adalah ketika aliran sungai/aliran air menumbuk salah satu dari *blade*, maka *blade* akan bergerak mengikuti arah aliran air dan secara bergantian masing-masing *blade* akan tertumbuk oleh aliran air sehingga kincir air akan memutar poros, dimana poros dari kincir akan dihubungkan dengan generator, sehingga generator akan berputar dan menghasilkan listrik. Kincir air *undershot* merupakan kincir air yang paling sederhana dari semua jenis kincir. Pada dasarnya kincir air *undershot* memiliki efisiensi maksimum 25%. Dari semua jenis kincir, jenis kincir *undershot* dapat dikatakan yang pengoperasiannya paling mudah dan memiliki biaya operasional yang paling murah. (McGuigan, 1978)

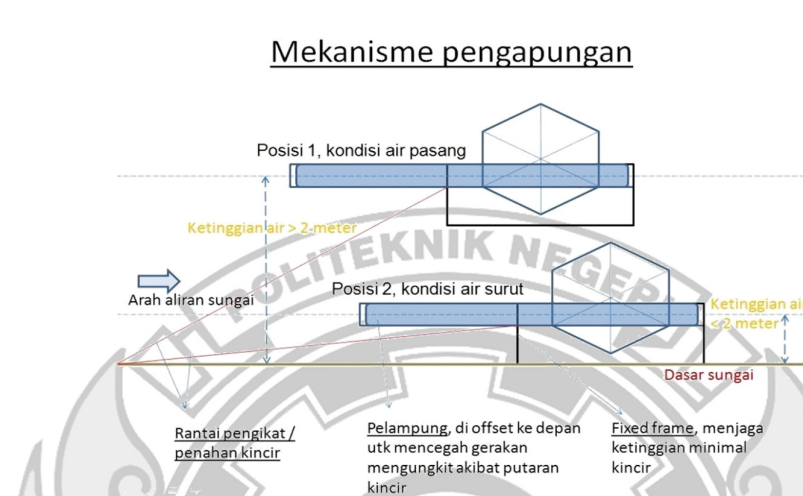
3. Komponen Kincir Air *Undershoot*

Adapun komponen-komponen dari tipe kincir air *undershot* ini adalah sebagai berikut:

a. Pelampung (Pontoon)

Merupakan bagian tempat berlangsungnya suatu proses pembangkit listrik tenaga air. Pelampung (pontoon) juga berfungsi sebagai pondasi suatu peralatan yang menyangga komponen-komponen seperti bantalan poros kincir, puli, generator dan komponen-komponen mekanikal kincir. Pelampung dibuat sesuai dengan kondisi aliran air sungai dan ukuran kincir yang akan dibuat. Pelampung (Pontoon) tersebut harus mempunyai konstruksi dan bahan yang kuat agar bisa menahan berat beban kincir dan peralatan lainnya dan juga sebagai penyeimbang dikala air pasang

maupun surut, sehingga dapat tetap bekerja walaupun air sungai pasang atau pun surut.



Gambar 2.7 Mekanisme Pontoon
(Sumber: mykincirismun, 2012)

b. Poros

Merupakan salah satu bagian terpenting dari setiap mesin hampir semua mesin meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran. peranan utama dalam transmisi seperti itu depegang oleh poros. (Sularso, 2008)

Ada beberapa hal-hal penting dalam perencanaan poros yang perlu diperhatikan, diantaranya:

- Kekuatan Poros

Suatu poros transmisi dapat mengalami beban puntir atau beban lentur atau gabungan antara puntir dan lentur seperti telah diutarakan di atas. Kelelahan, tumbukan atau pengaruh konsentrasi tegangan bila diameter poros diperkecil (poros bertangga) atau bila poros mempunyai alur dan pasak, harus diperhatikan. Sebuah poros harus direncanakan hingga cukup kuat menahan beban-beban diatas.

- Kekakuan poros

Meskipun sebuah poros mempunyai kekuatan yang cukup tetapi jika lenturan atau defleksi puntirnya terlalu besar akan mengakibatkan ketidak telitian (pada mesin perkakas) atau getaran dan suara (misalnya pada turbin atau kotak roda gigi).

- Putaran Kritis

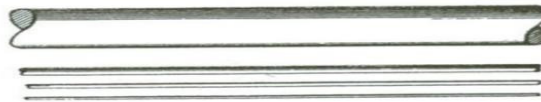
Bila putaran suatu mesin dinaikkan maka pada harga putaran tertentu dapat terjadi getaran yang luar biasa besarnya. Putaran ini disebut putaran kritis, hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada poros dan bagian-bagian lainnya.

- Korosi

Bahan-bahan tahan korosi (termasuk plastis) harus dipilih untuk poros propeler dan pompa bila terjadi kontak dengan fluida yang korosif.

- Bahan Poros

Poros untuk mesin biasanya menggunakan bahan dari baja batang yang ditarik, baja karbon konstruksi mesin (disebut bahan S-C) yang dihasilkan dari ingot yang di "kill" (baja yang dioksidasi dengan *ferro silicon* dan dicor, kadar karbon terjamin). Untuk lebih jelasnya gambar poros dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Poros

(Sumber : Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin. Sularso, 2008)

Tabel 2.2 Baja karbon untuk konstruksi mesin dan baja batang yang difinish dingin untuk poros.

Standar dan macam	Lambang	Perlakuan panas	Kekuatan tarik (kg/ mm ²)	Keterangan
Baja karbon kontruksi mesin (JIS G 4501)	S30C	Penormalan	48	
	S35C	Penormalan	50	
	S40C	Penormalan	51	
	S45C	Penormalan	53	
	S50C	Penormalan	62	
	S55C	Penormalan	66	
Batang baja yang di finis dingin	S35C-D	-	53	Ditarik dingin, digerinda, dibubut, atau gabungan antara hal-hal tersebut.
	S45C-D	-	58	
	S55C-D	-	70	

(Sumber: Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin. Sularso, 2008)

Tabel 2.3 Baja paduan untuk poros

Standar dan macam	Lambang	Perlakuan panas	Kekuatan tarik (kg/mm ²)
Baja khrom nikel (JIS G 4502)	SNC 2	-	85
	SNC 3	-	95
	SNC 21	Pengerasan kulit	80
	SNC 22	”	100
Baja khrom nikel (JIS G 4502)	SNMC 1	-	85
	SNMC 2	-	95
	SNMC 7	-	100
	SNMC 8	-	105
	SNMC 22	Pengerasan kulit	90
	SNMC 23	”	100
	SNMC 25	”	120

Baja khrom nikel (JIS G 4502)	SCr 3	-	90
	SCr 4	-	95
	SCr 5	-	100
	SCr 21	Pengerasan kulit	80
	SCr 22	„	85
Baja khrom nikel (JIS G 4502)	SCM 2	-	85
	SCM 3	-	95
	SCM 4	-	100
	SCM 5	-	105
	SCM 21	Pengerasan kulit	85
	SCM 22	„	95
	SCM 23	„	100

(Sumber: Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin. Sularso, 2008)

Rumus-rumus perencanaan poros:

Daya rencana dihitung menurut persamaan berikut:

$$p_d = f_c \times p \dots \dots \dots (2-1)$$

Dimana:

P = Daya yang ditransmisikan (kW).

f_c = Faktor koreksi.

p_d = Daya rencana (kW).

Tabel 2.4 Faktor koreksi daya yang akan ditransmisikan

Daya yang akan ditransmisikan	F_c
Daya rata-rata yang diperlukan	1,2 – 2,0
Daya maksimum yang diperlukan	1,0 – 1,2
Daya normal	1,0 – 1,5

(Sumber: Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin. Sularso, 2008)

Sedangkan momen puntir atau torsi yang terjadi dimana faktor keamanannya terbagi atas 2 macam yaitu:

1. Faktor keamanan 1 (Sf_1) untuk baja karbon (SC) adalah 6,0.
2. Faktor keamanan 2 (Sf_2) untuk pengaruh kekasaran adalah 1,3 – 3,0.

Maka tegangan geser yang terjadi dihitung menurut persamaan berikut:

$$\tau_a = \frac{\sigma_b}{sf_1 + sf_2} \dots \dots \dots (2-2)$$

Dimana:

τ_a = Tegangan geser (kg/mm^2).

σ_b = Tegangan tarik bahan (kg/mm^2).

Dengan diperolehnya tegangan geser, maka diameter poros dapat dihitung sebagai berikut:

$$d_s = \sqrt[3]{\frac{5,1 \times Kt \times Cb \times T}{\tau_a}} \dots \dots \dots (2-3)$$

Dimana:

d_s = Diameter poros (mm).

Kt = Faktor koreksi momen puntir (1,0 – 1,5).

Cb = Faktor koreksi akibat beban lentur (1,2 – 2,3)

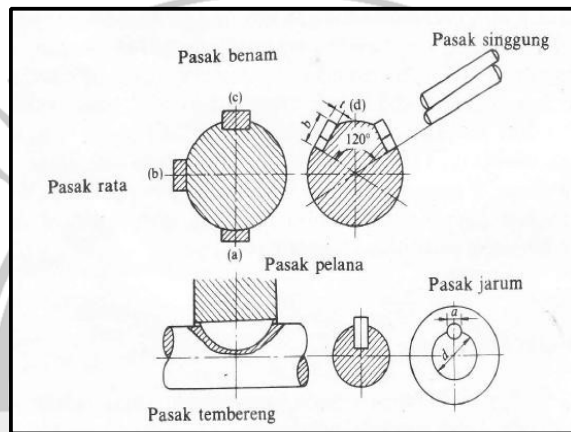
c. Pasak

Pasak adalah bagian dari mesin yang berfungsi untuk menahan/pengikat benda yang berputar. Menurut letaknya pada poros, pasak dapat dibedakan menjadi beberapa macam yaitu:

1. Pasak pelana
2. Pasak rata

3. Pasak benam
4. Pasak singgung

Jenis pasak diatas penampangnya berbentuk segi empat. Dalam arah memanjang dapat berbentuk prismatic atau berbentuk tirus. Selain itu juga diketahui ada pasak lain, seperti pasak tembereng dan pasak jarum.



Gambar 2.9 Macam-Macam Jenis Pasak

(Sumber: Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin. Sularso, 2008)

d. Bantalan

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban sehingga putaran atau gerakan bolak baliknya dapat belangsung secara halus, aman dan panjang umur. Bantalan harus cukup kokoh untuk menahana poros serta elemen mesin lainnya agar bekerja dengan baik. Jika bantalan tidak bekerja dengan baik maka prestasi seluruh system akan menurun atau tidak bekerja dengan baik.

(Sumber: Sularso, 2008)



Gambar 2.10 Bantalan

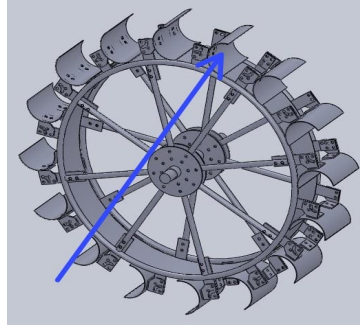
(Sumber: L.Moot,R. 2004)

Seperti pada gambar 2.10 Macam-macam Bantalan, Untuk memilih bantalan yang akan digunakan harus diketahui beban yang akan di tumpu oleh bantalan merupakan factor yang sangat penting dalam pemilihan bantalan. (Sularso, Kiyokatsu Sugo 2004)

Bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Bantalan Luncur
 2. Bantalan Gelinding
 3. Bantalan Radial
 4. Bantalan Aksial
 5. Bantalan Gelinding Khusus
- e. *Blade*

Blade atau sudu-sudu turbin/kincir air terbuat dari plat besi, namun kebanyakan dari kincir air terbuat dari kayu. *Blade* atau sudu berfungsi untuk mendapatkan gaya akibat dari tumbukan air terhadap bidang atau dinding sudu turbin tersebut. Apabila dinding-dinding turbin tersebut dipasang pada keliling roda maka gaya-gaya tubukan pada dinding turbin tersebut akan menimbulkan torsi yang akan menyebabkan roda berputar pada porosnya.



Gambar 2.11 Blade kincir air

(Sumber: <https://docplayer.info/114638073-Unjuk-kerja-kincir-air-undershot-dengan-sudu-setengah-silinder.html>)

f. Sudu Basa Turbin

Sudu (blade) merupakan bagian turbin yang berfungsi untuk merubah gerak pancar air menjadi gerak rotasi/putaran atau pancaran air yang masuk turbin dan mengenai sudu roda turbin akibat adanya fluida kerja (air, angin, uap, dll) yang dimana akan terjadi konversi energi yaitu energi kinetik menjadi energi mekanis yang menggerakkannya atau mengubah energi potensial menjadi energi kinetik. Bentuk dari sudu turbin sesuai dengan fluida kerja yang menggerakkannya dengan dimensi sesuai dengan kebutuhan untuk menggerakkan roda turbin (Syahrul dan Agus, 2018).

g. Sistem transmisi

Pada kebanyakan pembangkit kecil. Pada umumnya turbin atau kincir yang berputar akan dikopelkan langsung untuk memutar generator. Akan tetapi untuk mengkopelkannya ke generator, terlebih dahulu harus dipertimbangkan kecepatan putar turbin atau kincir air tersebut dengan kecepatan generator, apabila kecepatannya berbeda dengan kecepatan putar generator, maka dalam

pengkopelannya dapat digunakan system transmisi mekanik yang berupa *pully* (*pully*) dan sabuk (*belt*) atau juga dapat digunakan garden (*differential*). Untuk mengantarkan atau mentransmisikan daya dan putaran yang diperoleh maka perlu direncanakan jenis transmisi yang dipakai. Dalam perencanaan transmisi ini jenis transmisi yang dipakai adalah transmisi *pully*.



Gambar 2.12 Jenis Puli

(Sumber : http://www.indiantradebird.com/admin/members/6571/images/0_72935988.jpg)

2.8 Penentuan Parameter Desain *Waterwheel Undershot*

Adapun beberapa rumus matematis dalam perhitungan untuk menentukan parameter dari desain kincir air adalah (Benyamin Tangaran dkk, 2021):

1. Luas Penampang

$$A = B \times h \dots\dots\dots(2-4)$$

Dimana:

A = luas penampang (m²)

B = lebar sungai (m)

h = kedalaman sungai (m)

2. Kecepatan Aliran

$$v = \frac{s}{t} \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana:

v = kecepatan aliran air (m/s)

s = jarak yang ditempuh oleh air (m)

t = waktu yang ditempuh aliran air (s)

3. Debit

$$Q = A \times V \dots\dots\dots(2-6)$$

Dimana:

Q = debit air (m³/s)

A = luas penampang basah (m²)

v = kecepatan aliran air (m/s)

4. Potensi atau Daya Air

$$P_{air} = \rho \times g \times Q \times H \dots\dots\dots(2-7)$$

Dimana:

P_{air} = daya air (watt)

ρ = massa jenis air (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Q = debit aliran air (m³/s)

5. Diameter Luar Kincir

$$LD_{luar} = 2,627 \times \frac{Q}{\sqrt{H}} \dots\dots\dots(2-8)$$

6. Diameter Dalam

$$D_{\text{dalam}} = \frac{2}{3} \times D_{\text{luar}} \dots \dots \dots (2-9)$$

Dimana:

D_{luar} = diameter luar (m)

D_{dalam} = diameter dalam (m)

7. Jumlah Sudu Roda Turbin

$$a = \sqrt{c^2 - b^2} \dots \dots \dots (2-10)$$

$$z = \frac{360^\circ}{a} \dots \dots \dots (2-11)$$

Dimana:

z = jumlah sudu

a = panjang sisi samping

c^2 = panjang sisi miring

b^2 = panjang sisi depan

8. Jari-jari Kincir

$$r_{\text{kincir}} = \frac{D_{\text{luar}}}{2} \dots \dots \dots (2-12)$$

Dimana:

r_{kincir} = jari – jari kincir (m)

D_{luar} = diameter luar kincir (m)

9. Jarak Sudu

$$t = \frac{D_{\text{luar}} \times \pi}{z} \dots \dots \dots (2-13)$$

Dimana:

t = jarak sudu (m)

D_{luar} = diameter kincir (m)

z = jumlah sudu

10. Kecepatan Keliling Kincir

$$U = \frac{v \cos \alpha}{2} \dots\dots\dots(2-14)$$

Dimana:

U = kecepatan keliling kincir (m/s)

v = kecepatan aliran (m/s)

11. Putaran Kincir

$$n = \frac{60 \cdot U}{\pi \cdot D_{\text{luar}}} \dots\dots\dots(2-15)$$

Dimana:

n = putaran kincir (rpm)

U = kecepatan keliling kincir (m/s)

D_{luar} = diameter luar kincir (m)

12. Gaya Fluida

$$F = \rho \cdot A \cdot v^2 \dots\dots\dots(2-16)$$

Dimana:

F = gaya (N)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

A = luas penampang (m^2)

v = kecepatan aliran (m/s)

13. Torsi

$$\tau = F \times r \dots\dots\dots(2-17)$$

Dimana:

τ = torsi kincir (Nm)

F = gaya yang mengenai kincir (N)

r = jari-jari kincir (m)

14. Daya Kincir Air

$$P_{kincir} = \tau \cdot \omega \dots \dots \dots (2-18)$$

$$P_{kincir} = T \times \frac{2\pi \times n \times f}{60} \dots \dots \dots (2-19)$$

Dimana:

P_{kincir} = daya kincir (watt)

T = torsi (N.m)

n = putaran kincir (rpm)

f = frekuensi

ω = kecepatan sudut (rad/s)

15. Efisiensi Kincir

$$\eta_{kincir} = \frac{P_{kincir}}{P_{air}} \times 100\% \dots \dots \dots (2-20)$$

Dimana:

η = efisiensi kincir (%)

P_{kincir} = besarnya daya kincir (watt)

P_{air} = besarnya daya air (watt)

16. Efisiensi Generator

Untuk efisiensi generator (η_g) pada umumnya yaitu sebesar 0,9 atau 90%.

2.9 Generator

Generator adalah suatu alat yang dapat mengubah tenaga mekanik menjadi energi listrik. Tenaga mekanik bisa berasal dari panas, air, uap, dll. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator bisa berupa listrik AC listrik bolak-balik maupun

DC listrik searah. Hal tersebut tergantung dari konstruksi generator yang dipakai oleh pembangkit tenaga listrik.

Prinsip yang digunakan adalah percobaan Faraday, yang mengatakan bahwa suatu penghantar yang berada pada sejumlah garis-gaya magnet yang berubah-ubah, penghantar tersebut akan menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) induksi. (Abimanyu, 2018)



Gambar 2.13 Generator
(Sumber: Abimanyu, 2018)

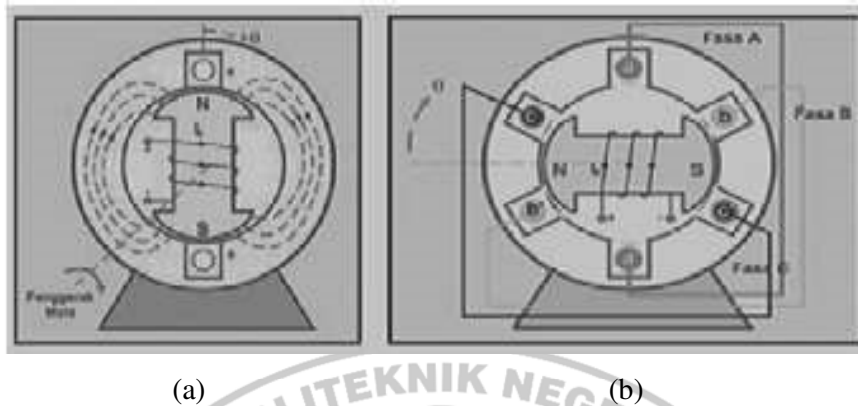
Generator sinkron atau disebut juga generator AC (*alternator*) karena menghasilkan sumber energi tegangan bolak-balik. Pada generator sinkron yang dipergunakan untuk pembangkitan dengan kapasitas besar, belitan atau kumparan jangkar ditempatkan pada stator sedangkan belitan medan ditempatkan pada rotor dengan alasan (Achyanto, 1992):

1. Belitan jangkar lebih kompleks dari belitan medan sehingga lebih terjamin jika ditempatkan pada struktur yang diam.
2. Lebih mudah mengisolasi dan melindungi belitan jangkar terhadap tegangan yang tinggi.

3. Pendinginan belitan jangkar mudah karena inti stator yang terbuat cukup besar sehingga dapat didinginkan dengan udara bertekanan seperti *hydrogen*.
4. Belitan medan mempunyai tegangan rendah sehingga efisien bila digunakan pada kecepatan tinggi.

Pada generator sinkron bagian berputar rotor yang terdiri dari belitan medan disuplai arus DC untuk menghasilkan medan magnet rotor. Rotor generator kemudian akan diputar oleh penggerak mula atau *prime mover* (turbin) sehingga diperoleh medan magnet putar. Medan magnet putar inilah yang kemudian akan menginduksikan tegangan AC ke belitan stator.

Generator sinkron disebut sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet (medan putar) pada stator. Terdapat dua jenis generator sinkron, yaitu generator sinkron 1 fasa dan generator sinkron 3 fasa. Generator sinkron yang digunakan dalam pembangkit listrik biasanya merupakan mesin tiga fasa. Penggunaan sistem tiga fasa mempunyai keuntungan-keuntungan dalam pembangkitan, transmisi dan pemakaiannya yang berdaya tinggi. Generator sinkron 1 fasa 2 kutub diperlihatkan pada gambar 2.2.a yang memiliki 1 kumparan yaitu huruf a. Generator sinkron tiga fasa memerlukan sedikitnya 3 buah kumparan yang berbeda fasa sebesar 120° untuk membangkitkan tegangan tiga fasa dengan beda sudut sebesar 120° listrik dalam waktu. Suatu generator sinkron tiga fasa 2 kutub dengan sebuah kumparan tiap fasa tampak pada gambar 2.14 b. Ketiga fasa tersebut diberi tanda huruf a, b, dan c. (Achyanto, 1992)



Gambar 2.14 (a) Generator sinkron 1 fasa. (b) Generator sinkron 3 fasa.

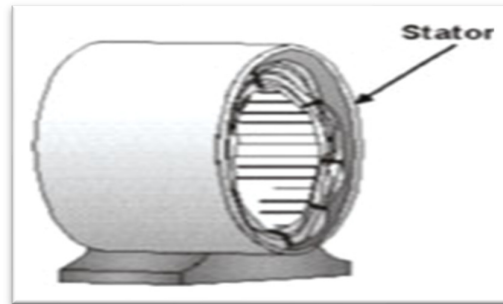
(Sumber: Achyanto, 1992)

Generator sinkron mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik bolak-balik. Energi mekanik dihasilkan dari penggerak mula yang memutar rotor, sedangkan energi listrik dihasilkan melalui proses induksi elektromagnetik yang terletak pada kumparan stator.

Secara umum generator terdiri dari rotor, stator dan celah udara. Rotor merupakan bagian generator yang berputar dan stator merupakan bagian generator yang diam. Celah udara merupakan ruang antara rotor dan stator. Berikut adalah bagian-bagian generator yang dibahas yaitu:

2.9.1 Stator

Stator (*armature*) merupakan bagian generator yang diam dan berfungsi menerima induksi magnet pada rotor. Arus AC yang menuju beban disalurkan melalui *armature*. Komponen ini berbentuk sebuah rangka silinder dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak. *Aramature* selalu diam, oleh karena itu komponen ini juga sebut dengan stator.



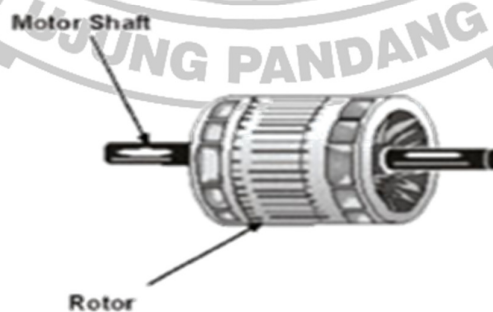
Gambar 2.15 Stator

(Sumber: <http://www.jconsultingonline.com/>)

Pada generator sinkron garis gaya medan magnet yang dibangkitkan pada rotor akan memotong tiga belitan stator. Masing-masing kelompok belitan diatur sedemikian sehingga gaya gerak listrik yang diinduksikan pada masing-masing belitan stator berbeda sudut fasa listriknya sebesar 120° . (Febrianto, 2013)

2.9.2 Rotor

Rotor merupakan bagian berputar pada generator yang berfungsi untuk membangkitkan medan magnet. Arus DC diterapkan pada lilitan rotor untuk menghasilkan medan magnet rotor. Rotor diputar oleh *prime mover* menghasilkan medan magnet berputar pada mesin yang akan menginduksikan tegangan tiga fasa pada kumparan stator. (Sumanto, 1996)



Gambar 2.16 Rotor

(Sumber: <http://www.jconsultingonline.com/>)

2.10 Debit Air

Debit adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Dalam sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/detik). Dalam laporan-laporan teknis, debit aliran biasanya ditunjukkan dalam bentuk hidrograf aliran. Hidrograf aliran adalah suatu perilaku debit sebagai respon adanya perubahan karakteristik biogeofisik yang berlangsung dalam suatu DAS (oleh adanya kegiatan pengelolaan DAS) dan atau adanya perubahan (fluktuasi musiman atau tahunan) iklim lokal. (Asdak, 2010).

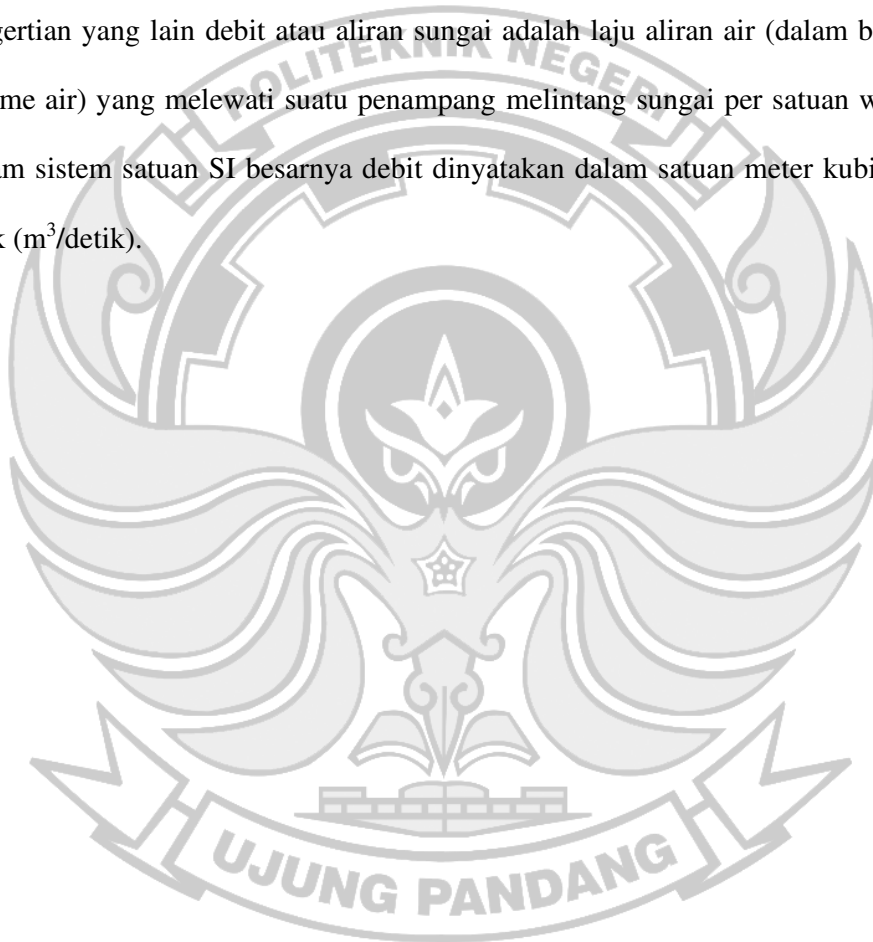
Debit aliran adalah jumlah air yang mengalir dalam satuan volume per waktu. Debit adalah satuan besaran air yang keluar dari Daerah Aliran Sungai (DAS). Satuan debit yang digunakan adalah meter kubik per detik (m^3/s). Debit aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu (Asdak, 2010).

Aliran sungai berasal dari hujan yang masuk kedalam alur sungai berupa aliran permukaan dan aliran air dibawah permukaan, debit aliran sungai akan naik setelah terjadi hujan yang cukup, kemudian yang turun kembali setelah hujan selesai. Grafik yang menunjukkan naik turunnya debit sungai menurut waktu disebut hidrograf, bentuk hidrograf sungai tergantung dari sifat hujan dan sifat daerah aliran sungai. (Arsyad, 2010)

Terdapat tiga kemungkinan perubahan debit air sungai yaitu Laju penambahan air bawah tanah lebih kecil dari penurunan aliran air bawah tanah normal, Laju penambahan air bawah tanah sama dengan laju penurunannya,

sehingga debit aliran menjadi konstan untuk sementara, dan laju pertambahan air bawah tanah melebihi laju penurunan normal, sehingga terjadi kenaikan permukaan air tanah dan debit sungai. (Arsyad, 2010)

Debit air sungai adalah tinggi permukaan air sungai yang terukur oleh alat ukur permukaan air sungai. Pengukurannya dilakukan tiap hari, atau dengan pengertian yang lain debit atau aliran sungai adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Dalam sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik ($m^3/detik$).



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di PLTMH Tombolo Energi yang terletak di Desa Pao Kecamatan Tombolo Pao Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan. Adapun waktu pelaksanaan dari penelitian ini yaitu dimulai dari pekan ke-4 pada bulan Februari 2023 sampai dengan bulan Juni 2023.



Gambar 3.1 *Tailrace* PLTMH Tombolo Energi
(Sumber: Dokumen pribadi)

3.2 Alat dan Bahan

Adapun peralatan yang digunakan yaitu *software autodesk inventor* untuk mendesain sebuah kincir air pikohidro. Kemudian, untuk simulasi kincir air pikohidro digunakan *software* agar dapat mengetahui perkiraan output yang

dihasilkan dari sebuah desain kincir air pikohidro. Sedangkan bahan objek penelitian adalah desain kincir air pikohidro itu sendiri.

3.3 Prosedur Penelitian

Tahap penelitian ini dilakukan dengan membagi kegiatan kedalam tahapan-tahapan berikut:

3.3.1 Metode Pengumpulan Data

Metode ini dimaksudkan untuk memperoleh data-data yang merupakan gambaran nyata yang terjadi pada PLTMH Tombolo Energi dengan cara survei potensi energi air pada *tailrace* PLTMH Tombolo Energi.

3.3.2 Analisis Data

Data yang diperoleh akan dievaluasi sesuai dengan tujuan tugas akhir ini, yaitu dengan melakukan perhitungan agar mendapatkan desain yang sesuai dengan apa yang diharapkan. Adapun perhitungan yang akan dilakukan yaitu analisis data untuk perencanaan desain pikohidro itu sendiri, analisis output yang dihasilkan pikohidro tersebut, dan analisis ekonomi untuk mengetahui kelayakan pikohidro pada *tailrace* PLTMH Tombolo Energi. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Analisis Perencanaan Desain Pikohidro

- a. Lebar *tailrace*
- b. Panjang *tailrace*
- c. Kedalaman *tailrace*
- d. Ketinggian air pada *tailrace*
- e. Debit pada *tailrace*

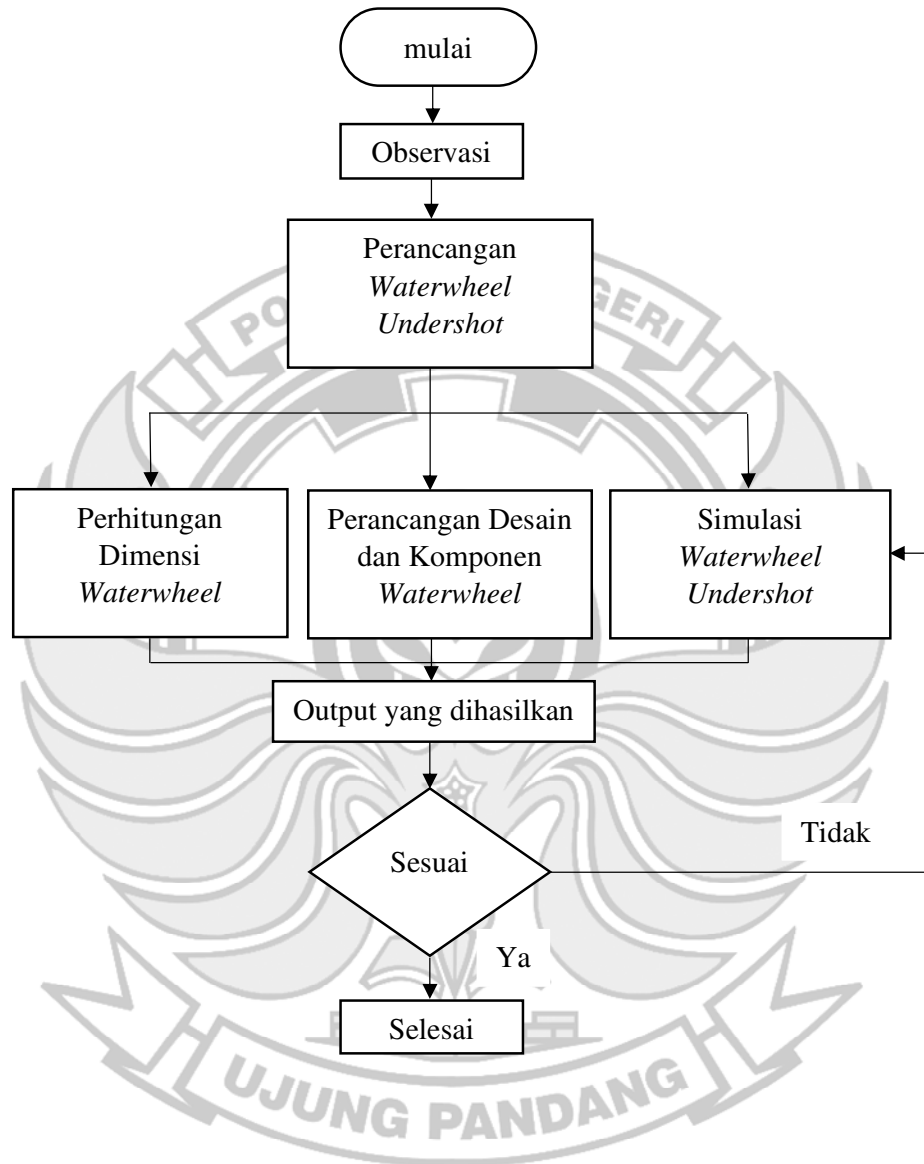
- f. Kecepatan aliran pada *tailrace*
 - g. Massa jenis air
 - h. Gravitasi bumi
2. Analisis Output yang Dihasilkan Sebuah Desain Pikohidro
- a. Putaran yang dihasilkan kincir
 - b. Torsi yang dihasilkan
 - c. Kecepatan aliran
 - d. Laju aliran massa
 - e. Putaran generator

3.4 Parameter yang Diukur

Setelah dilakukan observasi lapangan terdapat beberapa parameter yang yang perlu dicatat dalam perancangan desain Turbin yaitu:

1. *Head* pada saluran *tailrace* PLTMH Tombolo
2. Lebar saluran *tailrace* PLTMH Tombolo
3. Dalam *tailrace* PLTMH Tombolo
4. Tinggi *tailrace* PLTMH Tombolo
5. Kecepatan aliran *tailrace* PLTMH Tombolo

3.5 Flow Chart



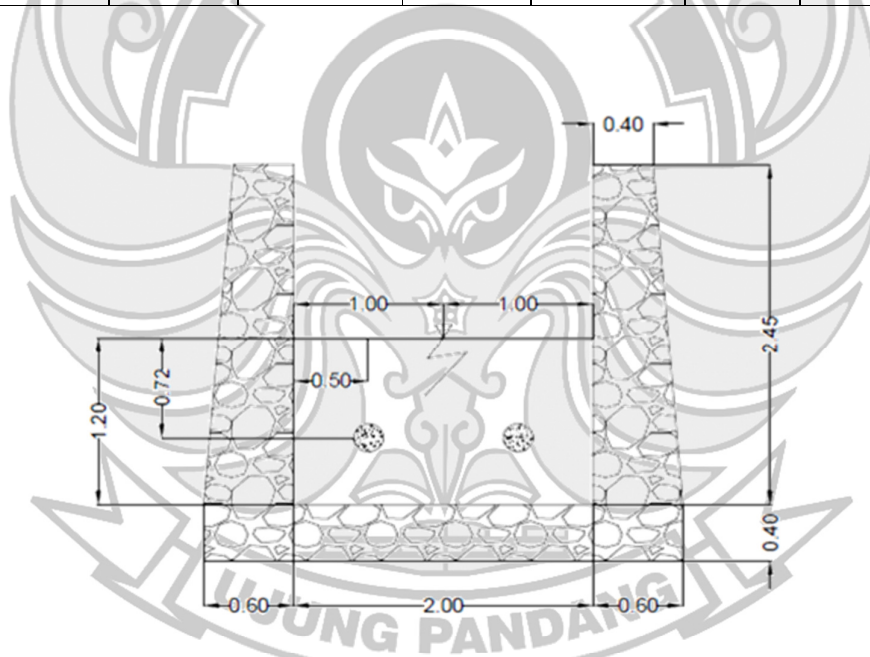
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Pengukuran Pada Tailrace PLTMH Tombolo Energi

Berikut adalah data yang telah diperoleh dari hasil pengukuran yang dilakukan pada *tailrace* PLTMH Tombolo Energi.

Tabel 4.1 Data hasil pengukuran

Tinggi <i>Tailrace</i> (m)	Lebar <i>Tailrace</i> (m)	Kedalaman Air <i>Tailrace</i> (m)	Panjang <i>Tailrace</i> (m)	Kecepatan Aliran (m/s)	Debit Air (m ³ /s)	Tinggi Jatuh Air (m)
2,45	2	1,2	13,75	0,801	1,92	2,499



Gambar 4.1 Gambar teknik *tailrace* PLTMH Tombolo Energi

4.2 Analisis Data dan Hasil Perancangan Desain Pikohidro

Analisis data dihitung dengan menggunakan parameter-parameter yang telah diukur pada saat survei ke lokasi PLTMH Tombolo Energi. Parameter yang telah diukur digunakan sebagai dasar untuk perancangan pikohidro.

4.2.1 Potensi Daya Air Pada *Tailrace*

Untuk menghitung potensi daya air pada *tailrace*, maka diperlukan parameter-parameter berikut.

Diketahui:

$$\text{Lebar } tailrace \text{ (B)} = 2 \text{ m}$$

$$\text{kedalaman air } tailrace \text{ (h)} = 1,2 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran (v)} = 0,801 \text{ m/s}$$

$$\text{Debit air (Q)} = 1,92 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Tinggi jatuh air (H)} = 2,499 \text{ m}$$

$$\text{Massa jenis air } (\rho) = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Percepatan gravitasi (g)} = 9,81 \text{ m/s}^2$$

1. Luas penampang (A)

$$A = B \times h$$

$$A = 2 \times 1,2$$

$$A = 2,4 \text{ m}^2$$

2. Daya air (P_{air})

$$P_{\text{air}} = \rho \times g \times Q \times H$$

$$P_{\text{air}} = 1000 \times 9,81 \times 1,92 \times 2,499$$

$$P_{\text{air}} = 47.108,71 \text{ Watt}$$

$$P_{\text{air}} = 47,11 \text{ kW}$$

Dari analisis di atas, didapatkan potensi daya air pada *tailrace* PLTMH Tombolo Energi sebesar 47,11 kW. Daya pikohidro yang direncanakan adalah sebesar 1-5 kW. Jadi daya air yang dimanfaatkan sebesar 10,6%.

4.2.2 Perencanaan Pikohidro

Untuk menentukan dimensi dari desain pikohidro, maka dapat dihitung komponen-komponen dari pikohidro menggunakan parameter yang telah diperoleh.

Ditentukan:

Lebar kincir air (L) = 1,2 m

Lebar kincir disesuaikan dengan ukuran dari *tailrace* PLTMH Tombolo Energi agar tidak menyumbat aliran air pada *tailrace* tersebut. Berdasarkan lebar kincir air di atas, maka dimensi desain pikohidro diperoleh sebagai berikut.

1. Kincir air *undershot*

a. Diameter luar kincir air (D_{luar})

$$LD = 2,627 \times \frac{Q}{\sqrt{H}}$$

$$LD = 2,627 \times \frac{1,92}{\sqrt{2,499}}$$

$$D = \frac{2,627 \times 1,215}{1,2}$$

$$D_{\text{luar}} = 2,66 \text{ m}$$

b. Diameter dalam kincir air (D_{dalam})

$$D_{\text{dalam}} = \frac{2}{3} \times D_{\text{luar}}$$

$$D_{\text{dalam}} = \frac{2}{3} \times 2,66$$

$$D_{\text{dalam}} = 1,8 \text{ m}$$

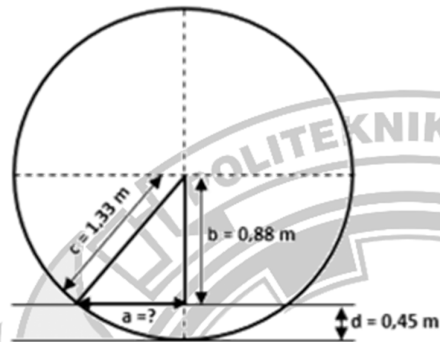
c. Jari-jari kincir air (r_{kincir})

$$r_{\text{kincir}} = \frac{D_{\text{luar}}}{2}$$

$$r \text{ kincir} = \frac{2,66}{2}$$

$$r \text{ kincir} = 1,33 \text{ m}$$

d. Jumlah sudu kincir air (z)



Nilai d diperoleh dari selisih diameter luar dengan diameter dalam kincir yaitu:

$$d = \frac{D \text{ luar} - D \text{ dalam}}{2}$$

$$d = \frac{2,7 - 1,80}{2} = 0,45 \text{ m}$$

$$a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

$$a = \sqrt{1,33^2 - 0,88^2}$$

$$a = \sqrt{0,995}$$

$$a = 0,998 \text{ m}$$

$$\sin \alpha = \frac{a}{c}$$

$$\sin \alpha = \frac{0,998}{1,33}$$

$$\sin \alpha = 0,750$$

$$\alpha = \text{arc sin } 0,750$$

$$\alpha = 48,59^\circ \approx 45^\circ$$

Jadi jumlah sudu kincir adalah,

$$z = \frac{360^\circ}{45^\circ} = 8 \text{ sudu}$$

Berdasarkan hasil analisis data di atas dapat ditentukan jumlah sudu pada kincir air *undershot* adalah delapan buah sudu. Jenis sudu yang dipilih adalah *two fins transverse parallel* seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4.2 Sudu *two fins transverse parallel*

e. Jarak antar sudu (t)

$$t = \frac{D \text{ luar} \times \pi}{z}$$

$$t = \frac{2,7 \times 3,14}{8}$$

$$t = 1,04 \text{ m}$$

f. Kecepatan keliling kincir (U)

$$U = \frac{v \times \cos 45^\circ}{2}$$

$$U = \frac{0,801 \times \cos 45^\circ}{2}$$

$$U = 0,28 \text{ m/s}$$

g. Putaran kincir (n)

$$n = \frac{60 \times U}{\pi \times D_{\text{luar}}}$$

$$n = \frac{60 \times 0,28}{3,14 \times 2,7}$$

$$n = 2,033 \text{ rpm}$$

h. Gaya fluida (F)

$$F = \rho \times A \times v^2$$

$$F = 1000 \times 2,4 \times 0,801^2$$

$$F = 1538,24 \text{ N}$$

i. Torsi (T)

$$\tau = F \times r \text{ kincir}$$

$$\tau = 1538,24 \times 1,33$$

$$\tau = 2046,36 \text{ Nm}$$

j. Daya kincir air (P_{kincir})

$$P_{\text{kincir}} = \tau \times \omega$$

Dimana,

$$\omega = \frac{2\pi \times n \times f}{60}$$

$$\omega = \frac{2\pi \times 2,033 \times 50}{60}$$

$$\omega = 5,236 \text{ rad/s}$$

$$P_{\text{kincir}} = \tau \times \omega$$

$$P_{\text{kincir}} = 2046,36 \times 5,236$$

$$P_{\text{kincir}} = 10714,7 \text{ Watt} = 10,7 \text{ kW}$$

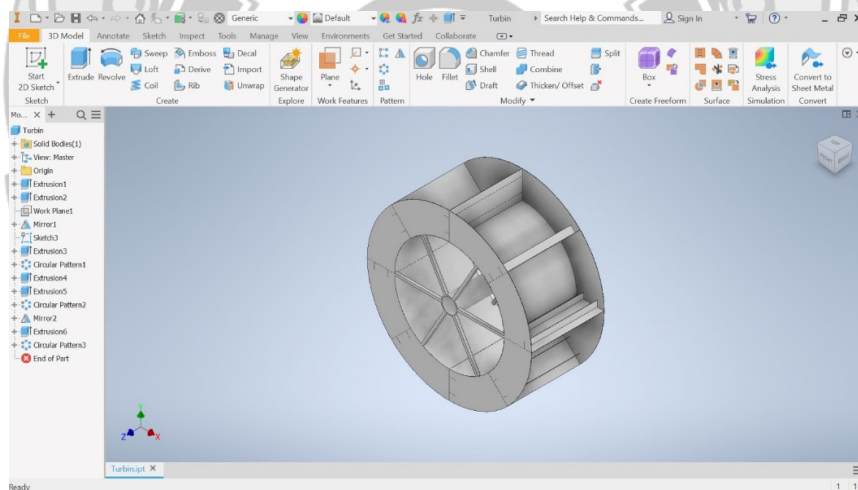
k. Efisiensi kincir air (η_{kincir})

$$\eta_{\text{kincir}} = \frac{P_{\text{kincir}}}{P_{\text{air}}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{kincir}} = \frac{10714,7}{47108,71} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{kincir}} = 22,74\%$$

Berdasarkan hasil analisis data di atas, maka diperoleh dimensi dari kincir air *undershot*. Adapun desain yang telah dibuat menggunakan *software autodesk inventor* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.3 Desain kincir air *undershot* dengan delapan sudu

2. Poros kincir air *undershot*

Untuk menghitung poros kincir air *undershot* maka dibutuhkan parameter-parameter di bawah ini.

Diketahui:

$$\text{Daya rencana } (P_d) = 1 \text{ kW}$$

Faktor koreksi (FC) = 1,5

Besarnya nilai faktor koreksi (FC) berdasarkan nilai yang ditetapkan oleh *American Society of Mechanical Engineers* (ASME). Bahan yang digunakan yaitu baja yang difinis dingin dengan kode S435C-D dengan kekuatan tarik (σ_B) = 53 kg/mm². (Sularso, 2004)

Sehingga,

$$P_d = f_c \times P$$

$$P = \frac{1}{1,5} = 0,7 \text{ kW}$$

Dalam menentukan dimensi dari desain poros, maka dapat dihitung beberapa parameter di bawah ini.

a. Menentukan momen rencana (T_{momen})

$$T_{\text{momen}} = 9,74 \times 10^5 \times \frac{P}{U}$$

$$T_{\text{momen}} = 9,74 \times 10^5 \times \frac{0,7}{2,033}$$

$$T_{\text{momen}} = 319,428,5 \text{ kg/mm}^2$$

b. Nilai Sf dari bahan S45C-D

Nilai *safety factor* diambil berdasarkan nilai yang direkomendasikan oleh ASME. Jika baja yang digunakan adalah baja tipe SC maka nilai *safety factor* satu yang digunakan yaitu sebesar enam. Sedangkan, nilai *safety factor* dua sebesar tiga. (Sularso, 2004)

$$Sf_1 = 6$$

$$Sf_2 = 3$$

c. Tegangan geser yang diizinkan (τ_a)

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{Sf_1 \times Sf_2}$$

$$\tau_a = \frac{53}{6 \times 3} = 2,94 \text{ kg/mm}^2$$

d. Faktor koreksi momen puntir (Kt) dan faktor benturan (Cb)

Nilai koreksi momen puntir (Kt) dan nilai faktor benturan (Cb) diambil berdasarkan nilai yang direkomendasikan oleh ASME. Nilai Kt dan Cb yang dipilih adalah nilai yang tertinggi, hal ini disebabkan agar dapat mengantisipasi kerja maksimal. (Sularso, 2004)

$$Kt = 1,5$$

$$Cb = 2,3$$

e. Diameter poros (ds)

$$ds = \left[\frac{5,1}{\tau_a} \times Kt \times Cb \times T \text{ momen} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$ds = \left[\frac{5,1}{2,94} \times 1,5 \times 2,3 \times 319.428,5 \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$ds = 124,05 \text{ mm}$$

$$ds = 12,4 \text{ cm}$$

Berdasarkan analisis data di atas didapatkan diameter poros kincir air adalah ds = 12,4 cm dibulatkan menjadi 13 cm. Maka diameter bantalan diasumsikan sebesar 13,4 cm. Adapun putaran poros yang dihasilkan yaitu:

Dimana,

$$H = 2,499 \text{ m}$$

$$D \text{ luar} = 2,7 \text{ m}$$

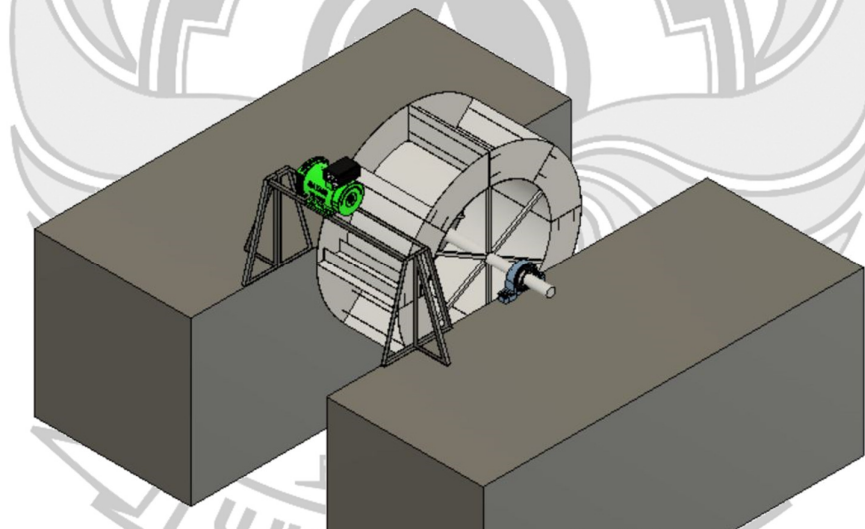
$$D \text{ luar} = \left(\frac{862}{N}\right) \times H^{\frac{1}{2}}$$

$$N = \left(\frac{862}{D \text{ luar}}\right) \times H^{\frac{1}{2}}$$

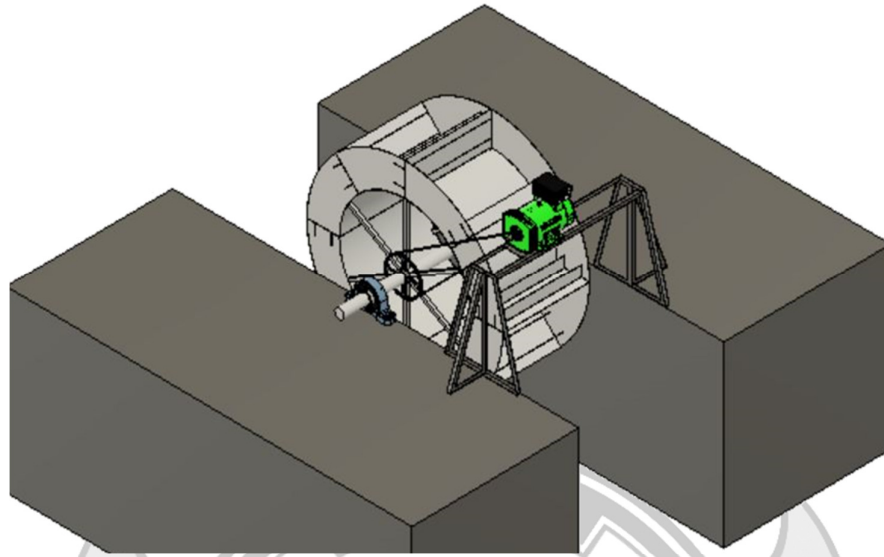
$$N = \left(\frac{862}{2,7}\right) \times 2,499^{\frac{1}{2}}$$

$$N = 512 \text{ rpm}$$

Dari hasil analisis data di atas diperoleh beberapa parameter-parameter desain pikohidro. Oleh karena itu, desain pikohidro dapat dirancang dan dibuat pada *software autodesk inventor*. Hasil perancangan desainnya dapat dilihat seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4.4 Pikohidro tampak depan



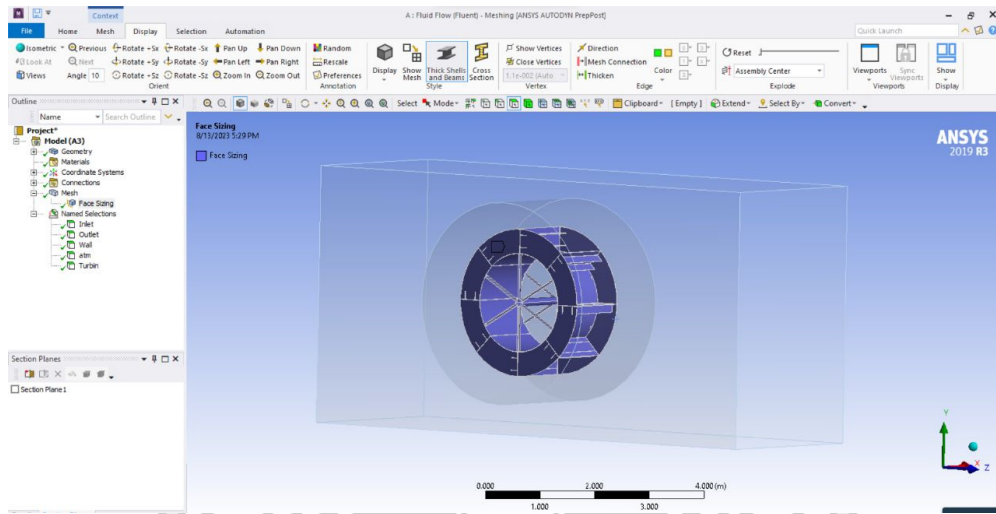
Gambar 4.5 Pikohidro tampak belakang

Tabel 4.2 Spesifikasi desain kincirdengan sudu *two fins transverse parallel*

No.	Bagian Kincir Air <i>Undershot</i>	Ukuran
1.	Diameter dalam kincir (cm)	180
2.	Diameter luar kincir (cm)	270
3.	Lebar kincir (cm)	120
4.	Jumlah sudu kincir (buah)	8
5.	Putaran kincir (cm)	2,033
6.	Dimensi sudu (cm)	120 x 45
7.	Material	Plat Alumunium 5 mm

4.3 Hasil Simulasi Desain Kincir Air *Undershot*

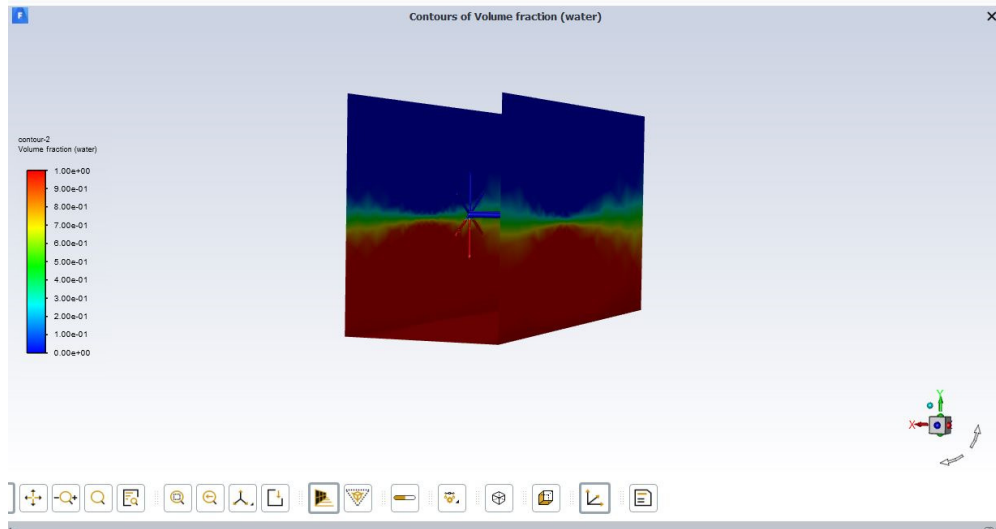
Setelah melakukan perancangan desain kincir air *undershot* pada *software autodesk inventor*, selanjutnya akan disimulasikan pada *software ansys* untuk mengetahui berapa output daya yang dihasilkan dari kincir air tersebut.



Gambar 4.6 Penginputan data/desain kincir pada *software ansys*

Untuk melakukan simulasi desain kincir air *undershot*, maka dilakukan penginputan dan parameter-parameter yang dibutuhkan pada proses simulasi. Adapun parameter yang dimasukkan kedalam *software ansys* yaitu kecepatan arus sebesar 0,801 m/s, debit air sebesar 1,92 m³/s, lebar saluran *tailrace* 2 meter, kedalaman air 1,2 meter, dan panjang saluran *tailrace* 13,75 meter.

Setelah parameter-parameter yang dibutuhkan telah diinput ke dalam *software ansys*, selanjutnya dilakukan simulasi untuk mendapatkan nilai omega (ω) dan parameter torsi (T).



Gambar 4.7 Proses simulasi kincir air *undershot*

Adapun parameter torsi (T) yaitu gaya (F) yang didapatkan dari hasil simulasi kincir air yaitu sebesar 2,077321 N. Hasilnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Calculation complete.

Forces						
Coefficients	Forces (n)					
Zone	Pressure	Viscous	Viscous	Total	Total	
tunnel	(93.54688 -55.817472 0)	(-0.00023856094 0.00013433501 -1.6952524)	(-0.00014611857 8.2280191e-05 -1.0383421)	(208.56609 -91.130432 -1.6952524)	(.4673 -55.817389 -1.0383421)	
wall-solid	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)	
wall-solid.1	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)	
wall-solid.1-shadow	(-91.369571 18.484717 -625.47456)	(0.00016250201 -0.00049516533 -0.52776315)	(-149.17481 30.17913 -1021.183)	(0.00026530941 -0.86165413)	(-91.369409 18.484222 -626.00233)	
Net	(2.077309 -37.332754 -625.47456)	(2.674847e-05 -0.00067409819 -2.5569065)	(1.6383438e-05 -0.00041288514 -1.5661052)	(5.22067 -60.95211 -1023.7399)	(2.177321 -37.333167 -627.04067)	

Forces - Direction Vector (1 0 0)						
Zone	Forces (n)			Coefficients		
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
tunnel	93.54688	-0.00014611857	93.24673	208.56633	-0.00023856094	208.56609
wall-solid	0	0	0	0	0	0
wall-solid.1	0	0	0	0	0	0
wall-solid.1-shadow	-91.369571	0.00016250201	-91.369409	-203.34555	0.00026530941	-203.34542
Net	2.177309	1.6383438e-05	2.077321	5.22054	2.674847e-05	5.22067

Gambar 4.8 Gaya yang dihasilkan kincir air *undershot*

Untuk nilai omega (ω) yang didapatkan dari hasil simulasi kincir air yaitu sebesar 5,22067 rad/s. Hasilnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Calculation complete.

Forces						
Zone	Forces (n)			Total		
Coefficients	Pressure	Viscous	Viscous	Pressure	Viscous	Total
tunel	(93.54688 -55.817472 0)	(-0.00023856094 0.00013433501 -1.6952524)	(-0.00014611857 8.2280191e-05 -1.0383421)	208.56633	-0.00023856094	208.56609
(208.56633 -91.130566 0)	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)
wall-solid	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)
wall-solid.1	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)	(0 0 0)
wall-solid.1-shadow	(-91.369571 18.484717 -625.47456)	(0.00016250201 -0.00049516533 -0.52776315)	(-149.17481 30.17913 -1021.183)	-203.34555	0.00026530941	-203.34542
(-149.17481 30.17913 -1021.183)	(0.00026530941 -0.0008084332 -0.86165413)	(-149.17455 30.178322 -1022.0446)	(2.177321 -37.333167 -627.04067)	(5.22067 -60.95211 -1023.7399)	(2.177321 -37.333167 -627.04067)	(5.22067 -60.95211 -1023.7399)
Net	(2.077309 -37.332754 -625.47456)	(1.6383438e-05 -0.00041288514 -1.5661052)	(2.177321 -37.333167 -627.04067)	5.22054	2.674847e-05	5.22067
(59.391517 -60.951436 -1021.183)	(2.674847e-05 -0.00067409819 -2.5569065)	(5.22067 -60.95211 -1023.7399)				

Forces - Direction Vector (1 0 0)						
Zone	Forces (n)			Coefficients		
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
tunel	93.54688	-0.00014611857	93.24673	208.56633	-0.00023856094	208.56609
wall-solid	0	0	0	0	0	0
wall-solid.1	0	0	0	0	0	0
wall-solid.1-shadow	-91.369571	0.00016250201	-91.369409	-203.34555	0.00026530941	-203.34542
Net	2.177309	1.6383438e-05	2.077321	5.22054	2.674847e-05	5.22067

Gambar 4.9 Nilai omega yang dihasilkan kincir air *undershot*

Jadi, untuk menghitung daya yang dihasilkan dari simulasi kincir air pada *software ansys* dapat dianalisis dengan menggunakan parameter yang diperoleh dari hasil simulasi. Daya kincir air yang diperoleh yaitu sebagai berikut.

$$P = \tau \times \omega \text{ (kW)}$$

Untuk τ yaitu:

$$\tau = F \times r$$

$$\tau = 2,077321 \times 1,33$$

$$\tau = 2762,83 \text{ Nm}$$

Untuk, $\omega = 5,2206 \text{ rad/s}$

Jadi,

$$P = \tau \times \omega$$

$$P = 2762,83 \times 5,2206$$

$$P = 14423,63 \text{ Watt}$$

$$P = 14,4 \text{ kW}$$

Daya yang dihasilkan dari simulasi kincir air *undershot* sebesar 14,4 kW. Artinya, daya yang diperoleh dari desain yang telah dirancang sesuai dengan daya yang direncanakan yaitu dengan range 1-5 kW.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan hasil analisis data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Rancangan komponen utama turbin pikohidro yang telah dianalisis kemudian didesain menggunakan *software Autodesk Inventor*, menghasilkan desain kincir air *undershot* dengan lebar kincir air sebesar 1,2 meter, diameter luar sebesar 2,7 meter, diameter dalam sebesar 1,8 meter dan mempunyai delapan buah sudu. Tipe sudu yang digunakan adalah *two fins transverse parallel*.
2. Berdasarkan hasil simulasi desain kincir air *undershot* menggunakan *software ansys*, didapatkan output daya dari hasil simulasi sebesar 14423,63 Watt atau 14,4 kW, dan efisiensi *undershot waterwheel* sebesar 22,74%.

5.2 Saran

Adapun saran yang perlu dipertimbangkan dalam mengembangkan penelitian ini yaitu:

1. Diharapkan lebih banyak lagi pihak yang terlibat untuk memanfaatkan potensi sumber daya listrik secara optimal khususnya energi terbarukan.
2. Menggunakan alat ukur yang lebih kompleks agar hasil yang diperoleh juga lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abimanyu, A. (2018). Perancangan Generator Menggunakan Motor Induksi 1 Fasa, Medan: Universitas Muhammdiyah Sumatera Utara.
- Achyanto, Djoko. (1992). Mesin-mesin listrik edisi keempat, Jakarta: Earlangga.
- Asdak. (2010). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Universitas Gadjah Mada.
- Arsyad. 2006 . Konservasi Tanah dan Air. IPB Press, Bogor.
- Bayu Suryo Wiranto. (2018). Perancangan Pembangkit Listrik tenaga Mikrohidro. Studi kasus di curug cigeuntis, kecamatan tegalwaru, kabupaten karawang, jawa barat. Dalam *Journal of Electrical Vocational Education and Technology* 6 (1): 25–30. <https://doi.org/10.21009/JEVET.0061.06>.
- Febriyanto, A. (2013). Konstruksi Generator pada Unit Pembangkit. Semarang.
- Krisnandar. (2018). Analisa Biaya Perencanaan Sistem Pengairan Hidroponik Teknik N.F.T (Nutrient Film Technique) Menggunakan Pompa Air Berbasis Solar Panel Dibandingkan Dengan Penggunaan Listrik Dari PT.PLN(Persero). Repository.Umsu.Ac.Id.
- Kaprawi,DEA., dkk. (2011). Pengaruh Geometri Sudu Terhadap Kinerja Turbin Air Darrieus Untuk Aliran Sungai, Laporan Penelitian, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan.
- Ma`Ali, Nashrul. (2017). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Kepung Kabupaten Kediri, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- McGuigan D. (1978). Harnessing Water Power For Home Energy. Charlotte, Vermont: Garden Way Publishing Co.
- Massugianto, M., Akhmad, F. I., la Ode, M., & Suryanto, S. (2015). Rancang Bangun dan Analisa Kinerja Roda Turbin Undershot dengan Memanfaatkan Air Buangan Turbin PLTMH. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 13(1), 47–61.
- Nakhoda, Y. and Hamid, M. (2018). Rancang Bangun Generator Magnet Permanen Fluks Aksial Putaran Rendah untuk Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro. *Jurnal ELEKTRIKA*
- Sumanto. (1996). Mesin Sinkron, Edisi kedua. Yogyakarta: Andi offset.
- Sularso dan Sugo, K. (2007). Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin. Jakarta: Pradnya Paramita.

Sularso, K. S., Suga, K. (2008). Dasar Perencanaan dan Pemilihan Mesin. Pradnya Paramita, Jakarta.

Tangaran, B., , Tiwoy, H. C. P. (2021). Performance of Undershot Water Wheel as Mini Hydro Power Plant For Agricultural Road. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), 12(11), 21–30.





Lampiran Foto Kegiatan



Lampiran 1. Pengukuran lebar dan elevasi pada saluran *tailrace*

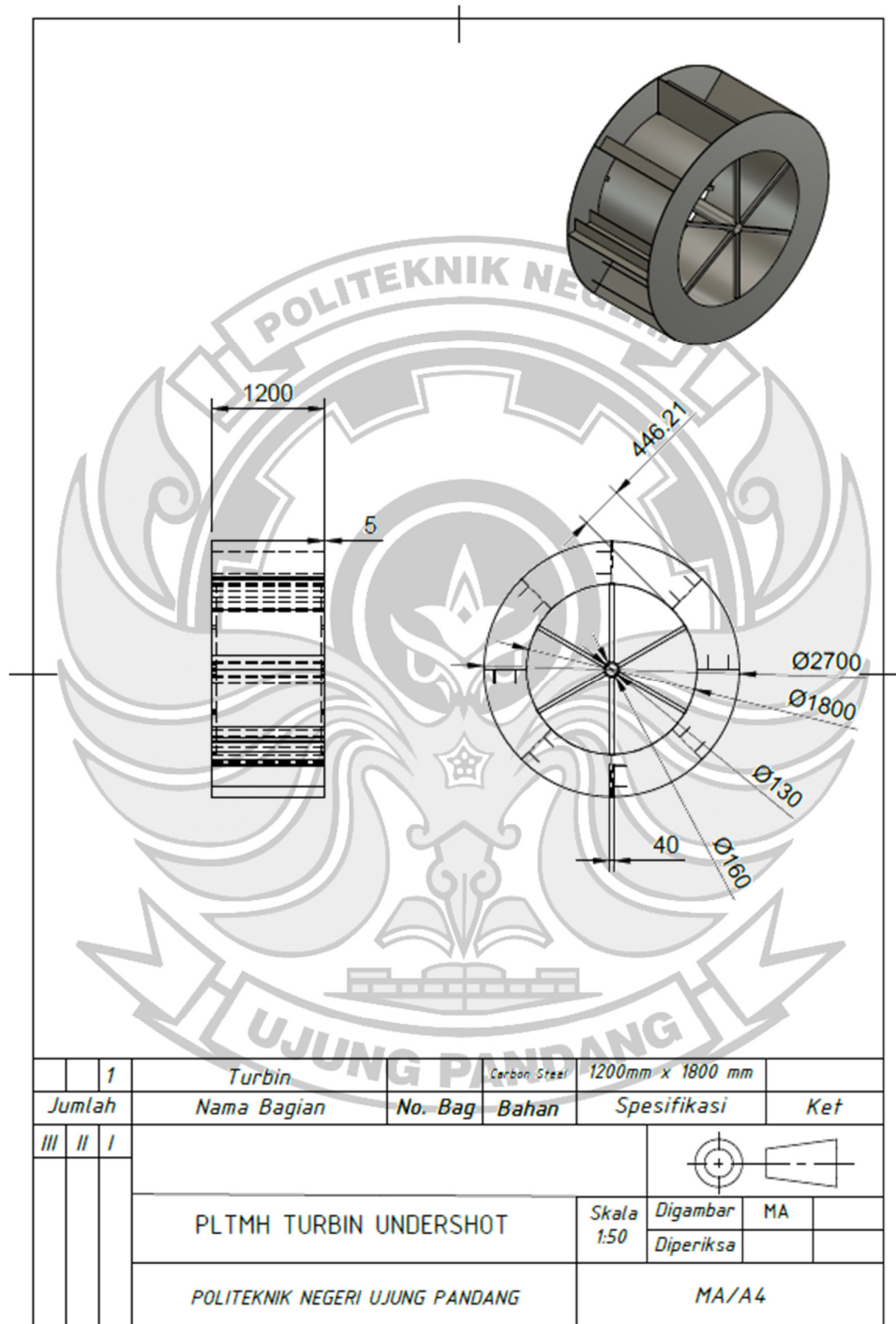


Lampiran 2. Pengukuran ketinggian air dan kecepatan aliran pada saluran *tailrace*

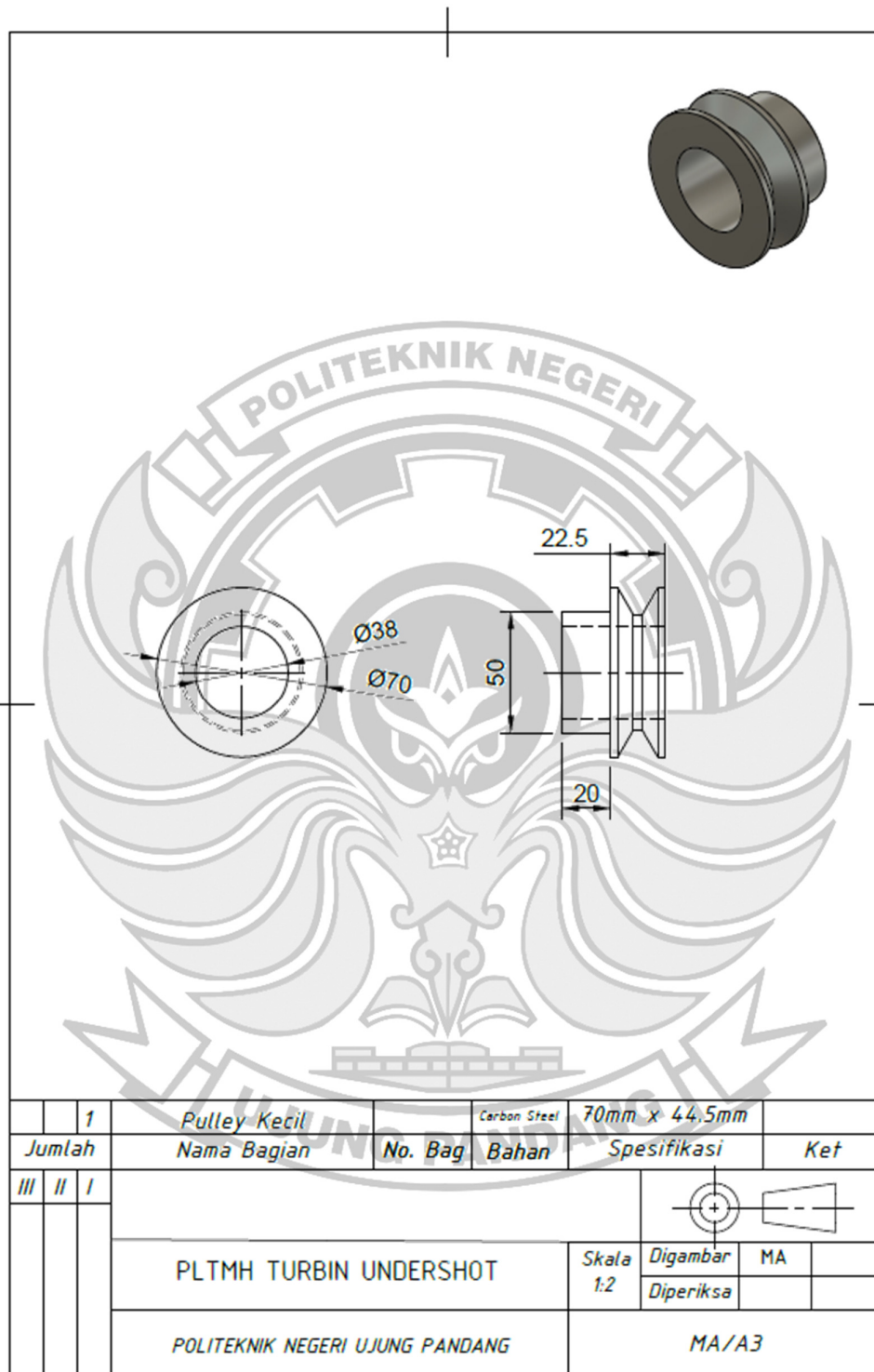


Lampiran 3. Foto bersama setelah pengambilan data

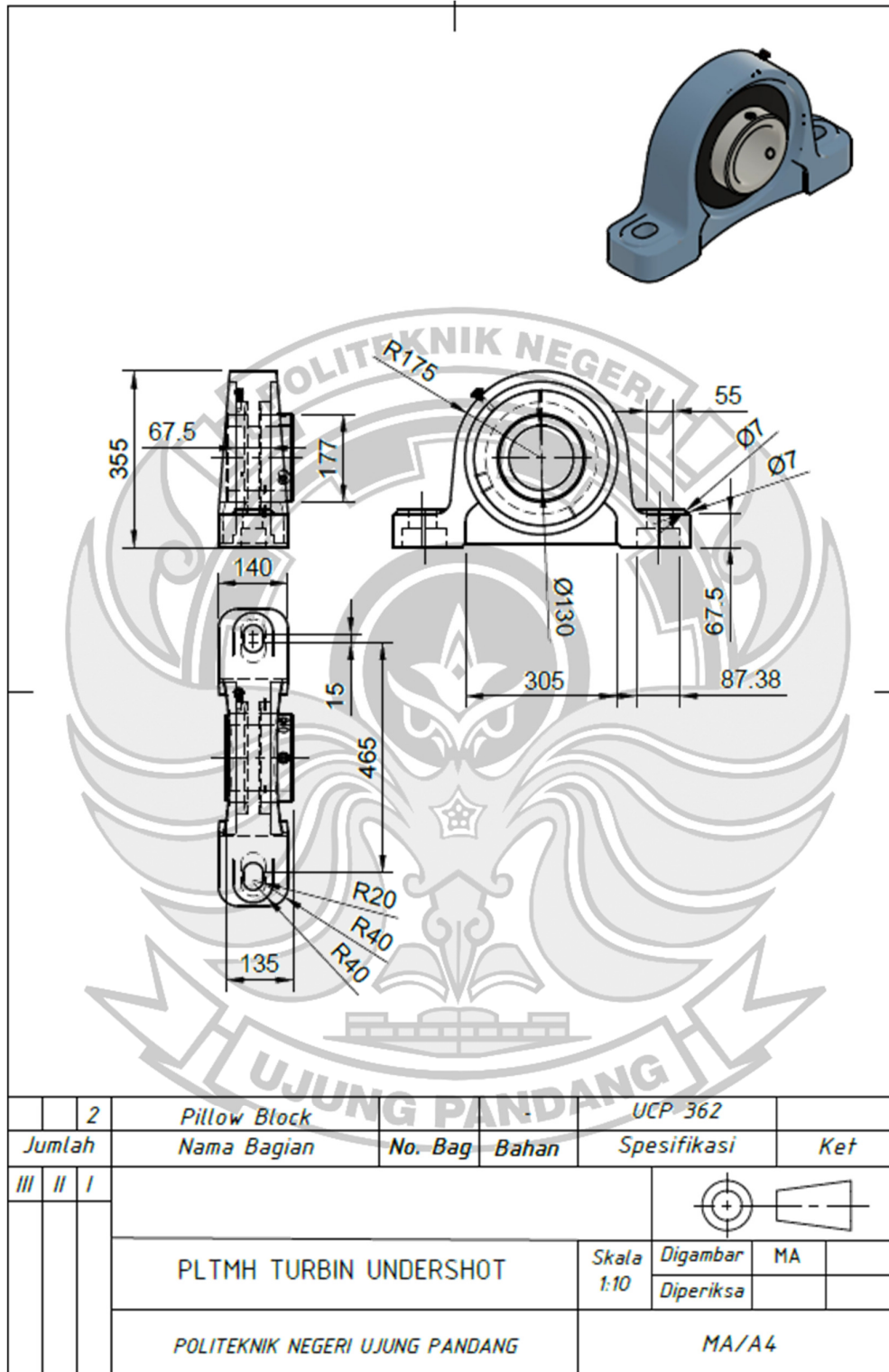
Lampiran BAB IV



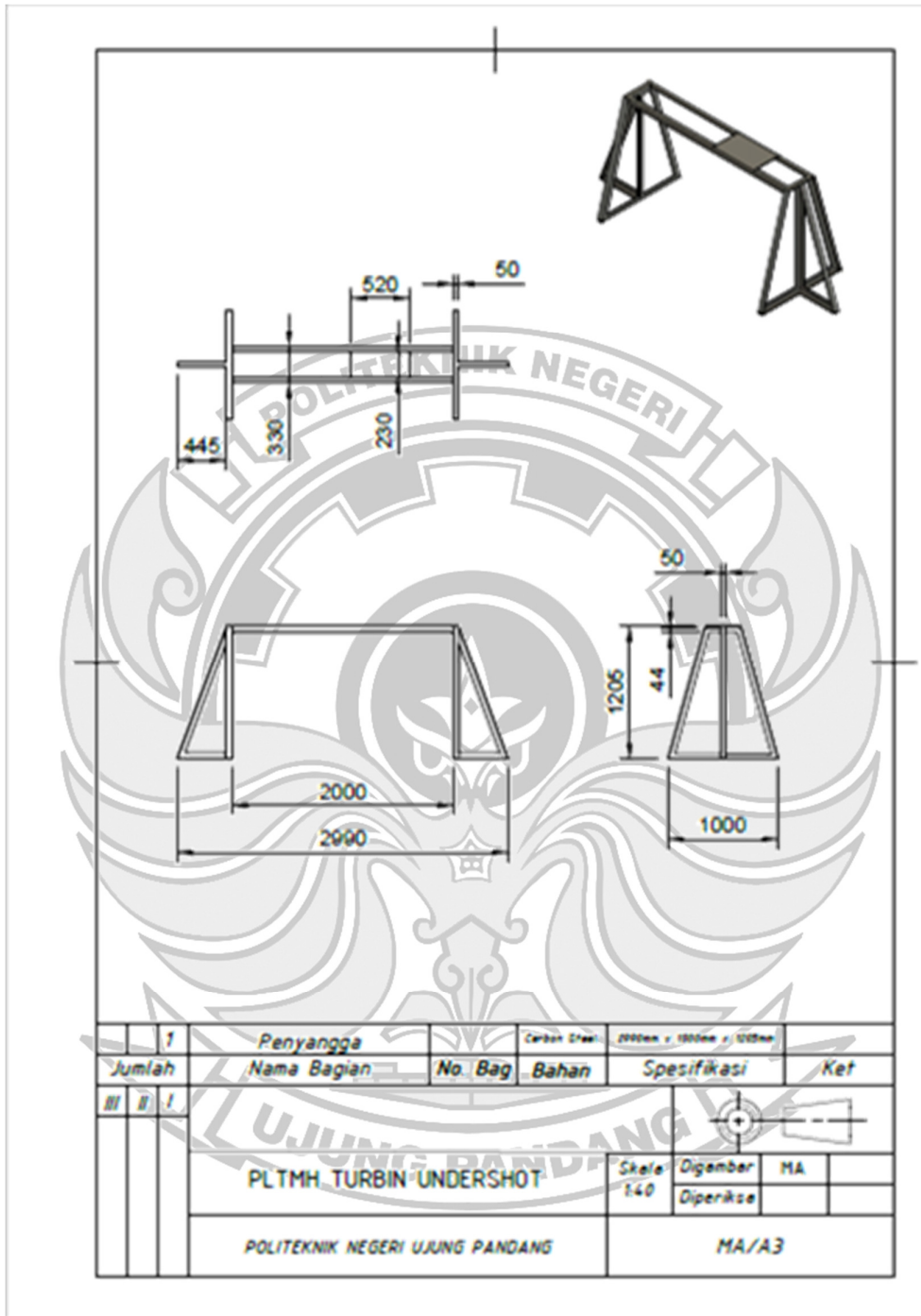
Lampiran 4. Turbin Undershot




Lampiran 7. Pulley Kecil

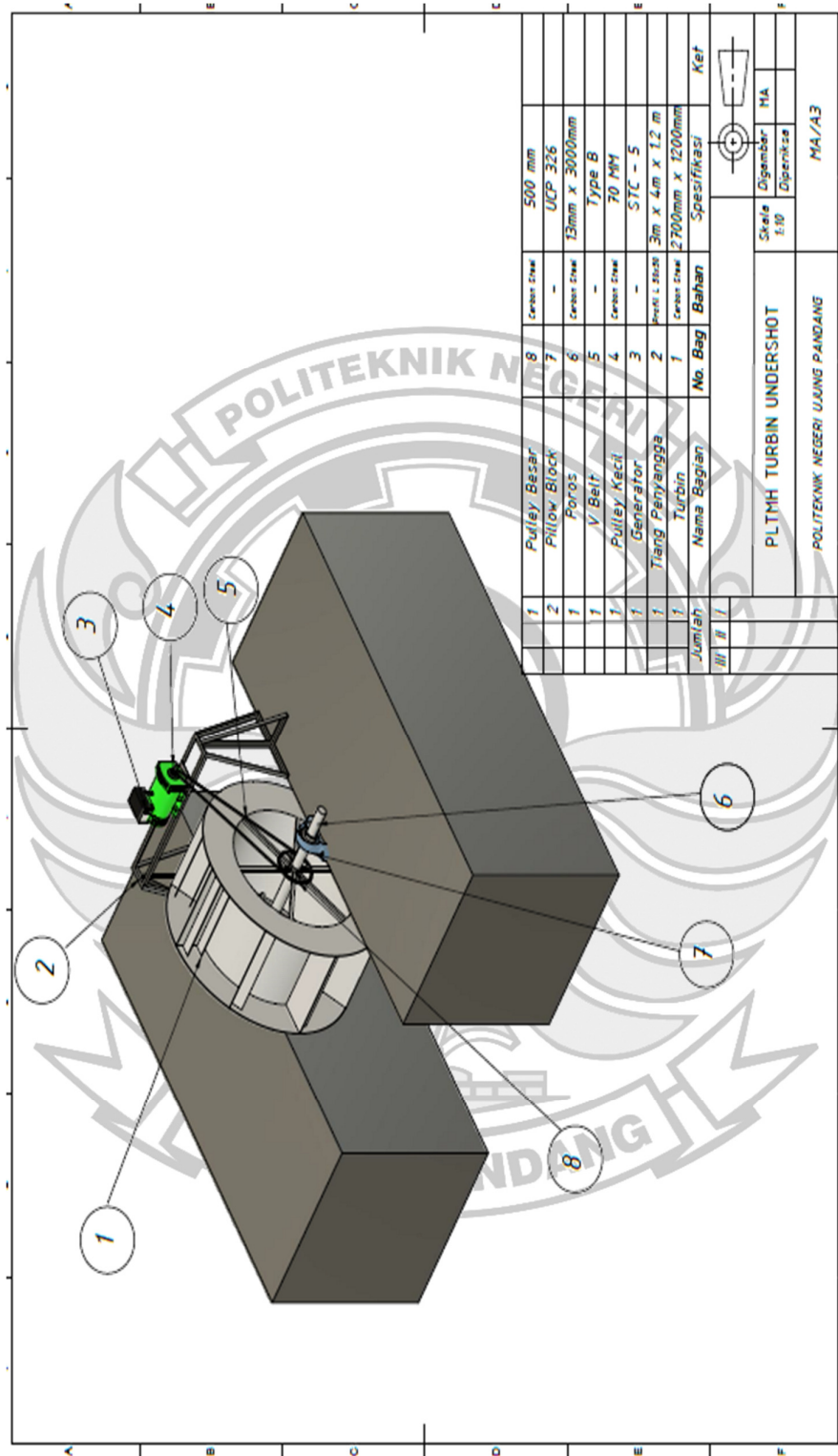


Lampiran 8. Bantalan



	1	Penyangga	Carbon Steel	2000mm x 1000mm x 1205mm	
Jumlah		Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Spesifikasi
III	II	PLTMH TURBIN UNDERSHOT			 Skala: 1:40 Digambar: MA Diperiksa:
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG				MA/A3	

Lampiran 9. Penyangga



Lampiran 10. Kincir Air *Undershot*