



TUGAS AKHIR - SF184801

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MIKRO HIDRO ARCHIMEDEAN SCREW DENGAN
VARIASI GEARBOX**

**BACHTIAR YUSUF
NRP 01111640000101**

**Dosen Pembimbing
Bachtera Indarto, M.Si
M. Arief Bustomi, M.Si**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 20**



TUGAS AKHIR - SF184801

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA MIKRO HIDRO *ARCHIMEDEAN SCREW*
DENGAN VARIASI *GEARBOX***

**BACHTIAR YUSUF
NRP 01111640000101**

**Dosen Pembimbing
Drs. Bachtera Indarto, M.Si.
M. Arief Bustomi, S.Si, M.Si.**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**



FINAL PROJECT - SF184801

**PROTOTYPE DESIGN OF MICRO HYDRO POWER
PLANT USING TURBINE ARCHIMEDES SCREW
WITH VARIATIONS IN GEARBOX**

**BACHTIAR YUSUF
NRP 01111640000101**

Advisor

**Drs. Bachtera Indarto, M.Si.
M. Arief Bustomi, S.Si., M.Si.**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE AND DATA ANALYTICS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO ARCHIMEDEAN SCREW DENGAN VARIASI GEARBOX

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana pada
Program Studi Sarjana Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Bachtiar Yusuf
NRP. 01111640000101

Disetujui oleh Pembimbing :
Bachtera Indarto, S.Si., M.Si.
NIP. 19610404 199102 1 001

()
()

M. Arief Bustomi, S.Si., M.Si.
NIP. 19730418 199802 1 001



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO ARCHIMEDEAN SCREW DENGAN VARIASI GEARBOX

Nama Mahasiswa : **Bachtiar Yusuf**
NRP : **01111640000101**
Departemen : **Fisika-FSAD-ITS**
Dosen Pembimbing : **Drs. Bachtera Indarto, M.Si.**
M. Arief Bustomi, S.Si., M.Si

Abstrak

Telah dilakukan rancang bangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) *Archimedean Screw* menggunakan variasi *gearbox*. Rasio *gearbox* yang digunakan yaitu pada rasio 1, rasio 1,4, rasio 1,56, rasio 2,33, rasio 2,56. Debit air yang digunakan untuk menggerakkan turbin sebesar 2,64 l/s serta kemiringan turbin tetap pada sudut 30°. Pada variasi rasio *gearbox* 2,56 didapatkan rpm rata-rata maksimum yang dihasilkan yaitu $(857,17 \pm 2,49)$ rotasi/menit dan dari putaran generator tersebut dihasilkan tegangan rata-rata $(5,16 \pm 0,11)$ volt serta arus $(4,40 \pm 0,06)$ mA. Sedangkan torsi rata-rata terbesar didapatkan pada *gearbox* rasio 1 sebesar $(0,0671 \pm 0,0004)$ Nm. Sehingga didapatkan hubungan semakin besar rasio pada *gearbox* maka rpm, tegangan, arus dan daya listrik semakin optimum, namun torsi yang dihasilkan semakin menurun sesuai dengan rasio *gearbox* yang diberikan.

Kata Kunci: *Archimedean Screw, Generator, Gearbox, Rpm*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PROTOTYPE DESIGN OF MICRO HYDRO POWER PLANT USING TURBINE ARCHIMEDES SCREW WITH VARIATIONS IN GEARBOX

Name : **Bachtiar Yusuf**
Student Number : **01111640000101**
Department : **Physics**
Supervisor : **Drs. Bachtera Indarto, M.Si.**
M. Arief Bustomi, S.Si., M.Si

ABSTRACT

Archimedean Screws for Micro-Hydro Power Plants (PLTMH) have been carried out. In this thesis discusses PLTMH with a type of screw-shaped archimedean screw turbine using a variety of gearboxes. This study uses a gearbox variation with a ratio of 2.56, a ratio of 2.33, a ratio of 1.56, a ratio of 1.4, and a ratio of 1. The flowrate used to drive a turbine is 2.64 l/s and the turbine tilt is fixed at an angle of 30°. The maximum RPM output, voltage, current and electric power is obtained with a variation of the gearbox with a ratio of 2.56. The average RPM on the generator shaft produced is $(857,17 \pm 2,49)$ rotations/minute and from the rotation of the generator, an average voltage of $(5,16 \pm 0,11)$ volts and a current of $(4,40 \pm 0,06)$ mA is generated. While the largest average torque is obtained in the gearbox ratio 1 of $(0,0671 \pm 0,0004\text{Nm})$. So it can be concluded that greater ratio of the gearbox, the RPM, voltage, current and electric power are getting optimum, but the torque produced decreases following the ratio of the gearbox given.

Keywords: *Archimedean Screw, Generator, Gearbox, Rpm*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas segala berkat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Archimedean Screw Dengan Variasi Gearbox”** dengan lancar.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini dapat terselesaikan tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan motivasi dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Drs. Bachtera Indarto, M.Si. dan M. Arief Bustomi, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberikan perhatian, bimbingan, dan pengarahan selama menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Drs. Gatut Yudhoyono, MT selaku Kepala Departemen Fisika dan Dr. rer. nat Bintoro Anang Subagyo, M.Si selaku Sekretaris Departemen Fisika FSAD ITS.
4. Seluruh dosen dan *staff* pengajar Program Studi Sarjana Departemen Fisika FSAD ITS yang telah membantu penulis selama proses perkuliahan.
5. Anggota kelompok tugas akhir PLTMH *Archimedean Screw* Deo Alfitra Ramazhoni dan Afif Mahrus Kurnia Putra yang telah membantu dalam pembuatan prototipe PLTMH Turbin *Archimedean Screw*, teman-teman Labolatorium Instrumentasi dan Elektronika serta semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Terlepas dari semua itu, penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan baik dari segi susunan kalimat maupun bahasa. Oleh karena itu, dengan terbuka kami menerima segala kritik dan saran dari pembaca sebagai bahan perbaikan bagi penulisan selanjutnya. Akhir kata, Besar harapan penulis untuk mendapatkan kritik dan saran yang membangun sehingga Tugas

x

Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang terkait.

Surabaya, 20 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro	7
2.2 Prinsip Kerja (PLMTH).....	9
2.3 Turbin <i>Archimedean Screw</i>	10
2.4 Komponen-Komponen PLTMH Tipe Archimedean Srew	15
2.4.1 Bendung	15
2.4.2 Pipa Pesat	16
2.4.3 Turbin Air	16
2.4.4 Generator	18
2.4.5 Penghubung turbin dengan generator ...	21
2.5 Kriteria Pemilihan Jenis Turbin	24
2.6 Desain Optimal Turbin	26
2.7 Torsi	28
2.8 Rotasi Per Menit (RPM).....	29
2.9 Pengukuran Debit Air	30
2.10 Daya Listrik.....	32

BAB III METODOLOGI.....	35
3.1 Perancangan Alat PLTMH <i>Archimedean Screw</i>	36
3.2 Pembuatan Alat	42
3.3 Pengujian Alat	43
3.4 Pengambilan Data.....	43
3.5 Analisa Data	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Realisasi Rancang Bangun PLTMH <i>Archimedean Screw</i>	45
4.2 Rotasi Per Menit	50
4.3 Torsi yang Dihasilkan.....	51
4.4 Data Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus	53
4.5 Daya Keluaran Listrik.....	57
4.6 Pengaruh <i>Gearbox</i> Pada PLTMH <i>Archimedean Srew</i>	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	65
BIODATA PENULIS.....	73

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2. 1 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.....	9
Gambar 2. 2 Turbin <i>Archimedean Screw</i>	10
Gambar 2. 3 Air didalam <i>Bucket</i>	11
Gambar 2. 4 Sistem Koordinat Turbin <i>Archimedean Screw</i>	12
Gambar 2. 5 Turbin Reaksi.....	17
Gambar 2. 6 Turbin Impuls.....	18
Gambar 2. 7 Pembangkitan Tegangan Induksi.....	19
Gambar 2. 8 Tegangan Rotor yang Dihasilkan Melalui Cincin Seret dan Komutator	20
Gambar 2. 9 Diagram Sederhana <i>Gearbox</i>	21
Gambar 2. 10 Bagian-Bagian Gigi Gear.	23
Gambar 2. 11 Karakteristik Turbin	25
Gambar 2. 12 Torsi Pada Benda	28
Gambar 2. 13 Skema Pengambilan Data Torsi Dengan Pegas	29
Gambar 2. 14 Pengukuran luas permukaan dan kecepatan aliran sungai	31
Gambar 2. 15 Gelombang arus, tegangan dan daya listrik	33
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 3. 2 Desain Prototipe <i>Archimedean Screw</i>	37
Gambar 3. 3 Perancangan Turbin <i>Archimedean Scew</i>	38
Gambar 3. 4 Perancangan Gear dengan rasio.....	39
Gambar 3. 5 Perancangan Pipa Pesat.....	41
Gambar 3. 6 Perancangan <i>Water tank</i>	42
Gambar 4. 1 Realisasi Rancang Bangun <i>Archimedean Screw</i>	45

Gambar 4. 2 <i>Valve</i>	46
Gambar 4. 3 Pipa Pesat	47
Gambar 4. 4 Pemasangan <i>Gearbox</i>	48
Gambar 4. 5 Realisasi Pembuatan Turbin	49
Gambar 4. 6 RPM di setiap rasio pada <i>Gearbox</i>	51
Gambar 4. 7 Grafik Data Torsi Setiap Rasionya	52
Gambar 4. 8 Grafik Tegangan Di Setiap Rasio <i>Gearbox</i>	54
Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Kurva Pembebanan.....	55
Gambar 4. 10 Grafik Tegangan Terhadap Resistasi	56
Gambar 4. 11 Grafik Arus Terhadap Resistansi.....	56
Gambar 4. 12 Grafik Daya Listrik Disetiap Rasionya.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi PLTA.....	8
Tabel 2. 2 Parameter Rasio Optimal Disetiap Bladenya	27
Tabel 3. 1 Perancangan masing-masing <i>gear</i>	40
Tabel 4. 1 Pebandingan Gigi Gear Disetiap Rasionya	48

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Hasil Pengukuran RPM Pada PLTMH <i>Archimedean Screw</i>	65
Lampiran 2 Hasil Pengukuran Torsi Pada PLTMH <i>Archimedean Screw</i>	66
Lampiran 3 Data Tegangan Tanpa Beban.....	67
Lampiran 4 Data Tegangan dan Arus Listrik dengan Pembebanan.	68
Lampiran 5 Data Pengukuran Daya Listrik	71
Lampiran 6 Rumus Perhitungan nilai error.....	72

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi di Indonesia ada 2 sumber energi yakni energi tidak terbarukan dan energi baru terbarukan. Pada umumnya energi tidak terbarukan berasal dari hasil tambang seperti minyak, gas dan batu bara. Kita ketahui bersama, bahwa selama ini Indonesia terus kita anggap sebagai penghasil minyak, gas dan batubara yang besar di dunia. Namun tidak disadari konsumsi minyak bumi Indonesia melebihi produksi sehingga menjadikan Indonesia sebagai importir minyak bumi. Di sisi lain, Indonesia pun belum memiliki cadangan penyangga energi lain yang dapat memberikan jaminan pasokan dalam waktu tertentu apabila terjadi kondisi krisis dan darurat energi (Prianto, 2018).

Cadangan terbukti minyak Indonesia yang tinggal 3,6 miliar barel (termasuk kondensat) hanya 0,2% dari total cadangan minyak dunia sebesar 1.684 miliar barel. Cadangan terbukti gas Indonesia sebesar 103 triliun standar kaki kubik ("Tscf") hanya 1,6% dari total cadangan gas dunia sebesar 6.559 Tscf. Produksi minyak Indonesia yang pada tahun 2016 berada di level rata-rata 831 ribu bopd hanya 0,9% total produksi minyak dunia yang berada di level 91,7 juta bopd. Produksi gas Indonesia yang pada tahun 2016 berada di level rata-rata 8,2 miliarkaki kubik per hari ("Bscfd") hanya 2,4% total produksi gas dunia yang berada di level 342,4 Bscfd (SKK Migas, 2016).

Sekitar 90% porsi produksi minyak nasional berasal dari lapangan-lapangan tua (*mature*) yang sudah *depleted*, banyak yang sudah berproduksi sejak dan sebelum tahun 1970-an. Lapangan tua tersebut bahkan ada yang memiliki laju penurunan produksi sampai 24% setiap tahun. Laju penurunan alami produksi minyak yang secara nasional berada di level 20% per tahun berhasil di tahan di bawah level 3%. Inipun dengan usaha luar biasa melalui kegiatan pemboran, percepatan penyelesaian proyek fasilitas produksi di lapangan-lapangan baru, kerja ulang dan perawatan

sumur, optimalisasi pemeliharaan fasilitas produksi, serta aplikasi penerapan teknologi keterolehan minyak / *enhanced oil recovery* ("EOR"). Pada tahun 2016, untuk pertama kalinya sejak tahun 2008, terjadi peningkatan produksi (*inclined*) sebesar 5,7% dibandingkan tahun 2015 terutama karena Lapangan Banyu Urip yang sudah berproduksi penuh. Namun disayangkan, volume yang terproduksi tidak diimbangi dengan volume tambahan cadangan baru dari sisi eksplorasi. Dalam kurun waktu lima tahun terakhir (2012-2016) terus terjadi penurunan jumlah realisasi pemboran sumur eskplorasi, dari 119 sumur pada tahun 2012 menjadi hanya 43 sumur pada tahun 2016 (SKK Migas, 2016).

Kecenderungan menipisnya cadangan minyak bumi dan menurunnya produksi minyak mentah, kondisi ketahanan energi minyak semakin rentan. Pemerintah memberikan kebijakan energi nasional yang tertuang pada Perpres No 5 tahun 2006 guna mengoptimalkan penggunaan energi. Solusi untuk menutup kebutuhan masyarakat akan energi dan ketergantungan terhadap BBM pemerintah memproyeksikan untuk peningkatan energi baru dan terbarukan. Dari sumber DEN (Dewan Energi Nasional), pada tahun 2016 penggunaan energi baru dan terbarukan masih sebesar 5% dari kebutuhan total. Solusi energi baru dan terbarukan ini terus ditingkatkan dengan target presentase dari kebutuhan total sebesar 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050.

Dewasa ini semakin berkembang dengan memanfaatkan energi terbarukan yang dapat bersumber dari energi air, angin, matahari, sampah hasil buangan dari pertanian atau industri, sampah kota, sumber panas dari tumbuh-tumbuhan atau panas bumi. Pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air disebut pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH). Oleh karena itu diperlukan pengaplikasian nyata dari PLTMH sendiri. Pada penelitian tugas akhir penulis menggunakan turbin ulir sebagai penggerak generator. Sehingga, penulis dalam penelitian tugas akhirnya akan melakukan rancang bangun pembangkit listrik tenaga mikro hidro menggunakan turbin *Archimedean Screw* dengan variasi *gearbox*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dibahas sebelumnya, penulis melakukan beberapa analisis dengan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pembuatan prototipe pembangkit listrik dengan turbin *Archimedean Screw* dengan variasi *gearbox*?
2. Berapa torsi dan rpm yang dihasilkan dengan menggunakan variasi rasio *gearbox*?
3. Berapa besar tegangan, arus dan daya listrik *output* yang dihasilkan disetiap variasi *gearbox*?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, tujuan yang akan dicapai dalam melakukan analisi ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat perancangan prototipe skala laboratorium PLTMH *Archimedean Screw* dengan variasi rasio *gearbox*.
2. Mengukur nilai torsi dan nilai rpm disetiap variasi rasio *gearbox* yang telah ditetapkan.
3. Mengukur nilai tegangan, arus dan daya listrik keluaran generator disetiap variasi rasio *gearbox*.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan pada tugas akhir kali ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Bagi pemerintah Indonesia, penelitian tentang energi baru dan terbarukan dapat membantu pemerintah Indonesia dalam mensupply cadangan energi. Selain itu juga dapat mengurangi kebiasaan penggunaan energi fosil yang keberadaannya semakin berkurang dan dapat digantikan dengan energi baru terbarukan seperti PLTMH *Archimedean Screw*.
2. Bagi masyarakat Indonesia, pengaplikasian dari penelitian dapat diterapkan pada daerah-daerah yang berpotensi sehingga dapat meminimalisir biaya pengeluaran untuk listrik.

Selanjutnya pada daerah terpencil yang tidak dialiri arus listrik PLN penelitian ini dapat diterapkan.

3. Bagi Peneliti, tugas akhir yang telah dilakukan dapat dijadikan acuan untuk penelitian yang lebih lanjut tentang PLTMH *Archimedean Screw* maupun energi baru terbarukan lainnya.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam tugas akhir kali ini adalah sebagai berikut:

1. Debit air yang digunakan untuk memutar turbin adalah sebesar 2,64 l/s untuk masing-masing variasi.
2. Turbin yang digunakan untuk melakukan pengambilan data di setiap variasinya sama berupa turbin *Archimedean Screw* dengan 2 blade, menggunakan *inner* dengan diameter 6,4 cm dan diameter *outer* 12 cm. Sedangkan total dari turbin *Archimedean Screw* sendiri sepanjang 20 cm.
3. Sudut kemiringan head turbin yang digunakan sebesar 30°.
4. Generator yang digunakan untuk mengkonversi energi mekanik ke energi listrik dengan generator 3 fasa.
5. Variasi rasio *gear* pada *gearbox* dengan rasio 1, rasio 1,4, rasio 1,56, rasio 2,33 dan rasio 2,56.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang dilakukan pada penyusunan laporan tugas akhir terdiri dari beberapa bahasan berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab I tentang pendahuluan menjelaskan latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, matasan masalah

BAB II : DASAR TEORI

Bab II tentang dasar teori menguraikan acuan dan penunjang hal-hal yang berkaitan tugas akhir dalam hal ini yaitu berkaitan tentang PLTMH *Archimedean Screw*

BAB III : METODOLOGI

Bab III berisi tentang beberapa rancangan langkah langkah dalam melakukan sebuah penelitian. Didalam metodologi berisi tentang alat dan bahan yang digunakan, *flowchart*, rancangan pembuatan alat dan langkah pengambilan data.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV ini menganalisis data yang telah diambil dan menjelaskan realisasi dari perancangan PLTMH *Archimedean Screw*.

BAB V : PENUTUP

Bab V berisi kesimpulan berupa poin-poin dari inti analisis yang telah dilakukan yang dan berisi saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar Pustaka merupakan bagian yang berisikan data identitas jurnal, buku, web resmi ataupun lainnya yang dijadikan referensi pada penulisan.

LAMPIRAN

Lampiran pada laporan ini berisikan data terperinci yang telah diambil, biodata penulis dan biodata dosen pembimbing

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) termasuk dalam sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. Berprinsip dari segi kepentingan lingkungan hidup, penggunaan mikro hidro memberikan kontribusi yang sangat berarti dalam penghematan energi dan memberikan kontribusi terhadap perbaikan mutu lingkungan hidup dengan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang berdampak pada polusi udara, hujan asam, dan efek rumah kaca. Dalam skema CDM (*Clean Development Mechanism*) pengaktifan kembali turbin air berskala kecil akan mendapatkan insentif, bahkan melalui jalur yang cepat. Biaya penurunan emisi listrik mini sebesar -14 USS / tCO₂. Tanda minus menunjukkan tanpa komponen CDM pun proyek tersebut sudah menurunkan emisi serta menghemat biaya.

Dari sudut pandang kepentingan lingkungan yakni kehutanan, tujuan pembangunan PLTMH adalah membangun perekat hubungan positif antara hutan dan masyarakat dan ditujukan untuk meningkatkan kesadaran kolektif masyarakat di dalam dan sekitar hutan agar secara swadaya bersedia menjaga dan melestarikan fungsi hutan. Kelestarian fungsi hutan ini akan menjamin kontinuitas hasil air yang akan bermanfaat bagi masyarakat itu sendiri (*on site*) maupun masyarakat di bagian hilirnya (*off site*). Pembangunan Unit PLTMH di sekitar hutan merupakan bagian dari bentuk pengelolaan hutan berbasis masyarakat (*Community Based Forest Management*). Dengan kegiatan ini diharapkan manfaat hutan terhadap masyarakat dapat dipahami dengan mudah oleh masyarakat. Dengan adanya manfaat yang langsung (*Instant benefit*) pada masyarakat, maka upaya mendorong partisipasi masyarakat dalam pembangunan kehutanan

dapat diwujudkan lebih cepat dan optimal. Pemanfaatan aliran air yang berasal dari kawasan hutan untuk menghasilkan sumber tenaga listrik bagi masyarakat yang bermukim di sekitar hutan merupakan salah satu kegiatan yang dapat menjawab permasalahan hubungan antara hutan dan masyarakat (Penche & Minas, 1998). Pemanfaatan air untuk pembangkit listrik dapat diklasifikasikan seperti pada Tabel 2.1 berikut:

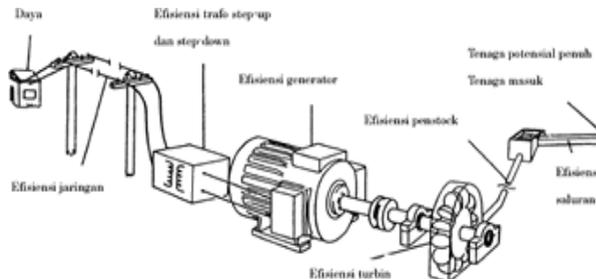
Tabel 2. 1 Spesifikasi PLTA
Sumber :(Penche & Minas, 1998)

Spesifikasi	Day
<i>Pico-hydro</i>	< 500 W
<i>Micro-hydro</i>	1 – 100 KW
<i>Mini-hydro</i>	100 – 1000 KW
<i>Small-hydro</i>	1 – 15 KW
<i>Medium-hydro</i>	15 – 500 MW
<i>Large-hydro</i>	> 100 KW

Tabel 2.1 menunjukkan bahwa untuk pembangkit listrik dengan spesifikasi mikro hidro memiliki daya antara 1 hingga 100 KW. Namun disisi lain terdapat penggolongan diluar sumber tersebut memilah sistem pembangkit listrik tenaga air skala kecil menjadi 3, yaitu minihidro dengan kapasitas 100 KW (Kilo Watt) sampai dengan 1 MW (Mega Watt), mikro hidro dengan kapasitas antara 1 KW sampai dengan 100 KW, dan Piko Hidro dengan kapasitas dari beberapa watt sampai dengan 1 KW (Kilo Watt). Mikro hidro sendiri pada umumnya memiliki beberapa komponen penyusunnya yaitu seperti bendungan, saluran terbuka, bak penenang, pipa pesat (*penstock*), turbin, rumah turbin, jaringan kabel, dan instalasi kabel rumah.

2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLMTH)

Cara kerja PLTMH pada umumnya, aliran sungai dibendung agar mendapatkan debit air (Q) dan tinggi jatuh air (H), kemudian air tersebut disalurkan melalui saluran penghantar air menuju kolam penenang. Kolam penenang dihubungkan dengan pipa pesat, dan pada bagian paling bawah di pasang turbin air. Turbin air akan berputar setelah mendapat tekanan air (P), dan perputaran turbin tersebut dimanfaatkan untuk memutar generator. Setelah mendapat putaran yang konstan maka generator akan menghasilkan tegangan listrik yang dikirim ke konsumen melalui saluran kabel distribusi (JTM atau JTR). Pendekatan analisis PLTMH terhadap daya yang dihasilkan ini bersifat parametric (Sri & Kuswantoro, 2013). Komponen yang terdapat pada PLTMH seperti pada Gambar 2.1 berikut:

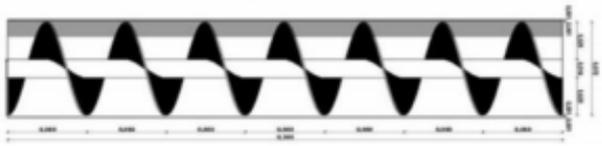


Gambar 2. 1 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Gambar 2.1 menunjukkan suatu sistem PLTMH yang memiliki beberapa komponen pendukung untuk menjalankan sistem itu sendiri. Komponen yang harus ada diantaranya seperti generator, turbin, dan beberapa transformator. Aliran air pada PLTMH untuk menggerakkan turbin harus diatur dengan tepat untuk mendapatkan posisi yang terbaik, biasanya air diarahkan dengan menggunakan pipa air atau *pipeline* menuju turbin yang menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik (Theraja, 2005).

2.3 Turbin *Archimedean Screw*

Turbin *Archimedes Screw* adalah jenis ulir yang telah dikenal sejak zaman kuno dan telah digunakan sebagai pompa untuk pengairan untuk taman bergantung di Babllonia. Seiring dari krisisnya energi yang terjadi di dunia serta terbatasnya potensi sumber energi air yang memiliki head tinggi, maka pada tahun 2007 seorang insinyur mengemukakan idenya bahwa jika pompa ulir berputar terbalik dan membiarkan air mengendalikan pompa kemudahan di atas pompa tersebut di pasang sebuah generator maka listrik akan dapat di hasilkan sepanjang generator tersebut tidak terkena air atau basah. Jadi pada prinsipnya, turbin *Archimedean Screw* merupakan pembalikan dari fungsi awal turbin ulir itu sendiri. Bagaimana pun *Archimedean Screw* sudah ada selama beberapa dekade sebagai pompa telah dipasang puluhan ribu di seluruh dunia. Secara historis Archimedes telah di kenal sejak zaman kuno dan dimana *Screw* digunakan dalam irigasi untuk mengangkat air ke tingkat yang lebih tinggi. Ketika digunakan sebagai turbin air prinsipnya tetap sama, hanya saja prinsipnya terbalik. Turbin *Archimedean screw* seperti pada Gambar 2.2 berikut:



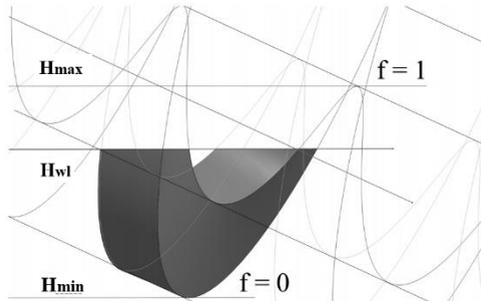
Gambar 2. 2 Turbin *Archimedean Screw*
Sumber: (Syahputra, Syakuri, & Sara, 2017)

Gambar 2.2 menunjukkan turbin *Archimedean Screw* berberntuk ulir, ketika air memasuki ulir di bagian atas dan berat air mendorong ulir turbin yang berbentuk heliks yang menghasilkan putaran.

Pengisian air pada bilah-bilah turbin mempengaruhi adanya putaran turbin pada porosnya. Pada turbin *Archimedean Screw* ketinggian isi air dalam *bucket* diantara dua heliks turbin sangat berpengaruh terhadap perputaran turbin. Tekanan yang diberikan oleh air nantinya dapat diperoleh daya mekanik pada turbin. Disisi lain, rasio ketinggian air pada bilah didapatkan sesuai Persamaan (2.1) berikut (Lubitz, 2014).

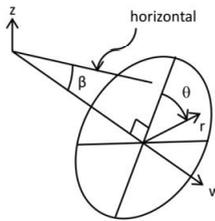
$$f = \frac{H_{wl} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \quad (2.1)$$

H_{wl} adalah ketinggian pada bilah, H_{min} titik minimum air yang terletak pada sudu turbin bagian luar dan H_{max} adalah ketinggian air ketika tingkat maksimum pengisian air. Ketinggian air dalam pengisian air dapat ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut:



Gambar 2. 3 Air didalam *Bucket* (Sumber : Lubitz, 2014)

Gambar 2.3 menunjukkan ketinggian air pada titik H_{wl} , H_{min} dan H_{max} diantara bilah pada turbin *Archimedean Screw* yang ditentukan dengan menggunakan koordinat silinder. Koordinat turbin *Archimedean Screw* ditunjukkan pada Gambar 2.4 sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Sistem Koordinat Turbin *Archimedean Screw*
(Sumber:Kozyn, 2015)

Gambar 2.4 menunjukkan sistem koordinat turbin *Archimedean Screw*, yang mana z adalah heliks turbin ke z , θ adalah kemiringan sumbu pusat terhadap horizontal, r adalah jari jari turbin, β adalah sumbu kemiringan turbin, dan w adalah sumbu di tengah poros yang berada pada sudut β dari horizontal. Kedalaman vertikal adalah proyeksi lokasi fisik pada permukaan bidang heliks ke z yang berorientasi pada sumbu kartesius (Kozyn, 2015).

Ketinggian air pada bilah turbin *Archimedean Screw* disebabkan adanya volume air yang masuk pada turbin melalui aliran yang masuk. Volume air dalam *bucket* diasumsikan tepi heliks pertama yang berada di bagian atas turbin *Archimedean Screw*. Sepanjang sumbu w , posisi radial dan angular dari bidang utama didefinisikan pada Persamaan (2.2). dan Persamaan (2.3). (Lubitz, 2014).

$$r(w) = r \quad (2.2)$$

$$\theta(w) = 2\pi\left(\frac{\omega}{\Lambda}\right) \quad (2.3)$$

Hal tersebut menyatakan titik dimana pun (r, θ) permukaan bidang heliks H_1 dan bidang heliks dengan aliran paling atas H_2 dituliskan pada Persamaan (2.4) dan Persamaan (2.5) (Lubitz, 2014).

$$H_1 = r \cos(\theta) \cos(\beta) - \frac{\Lambda \theta}{2\pi} \sin(\beta) \quad (2.4)$$

$$H_2 = r \cos(\theta) \cos(\beta) - \left(\frac{s\theta}{2\pi} - \frac{\Lambda}{N} \right) \sin(\beta) \quad (2.5)$$

Penentuan titik minimum dan maksimum dalam *bucket* yang berada di $\theta = \pi$, $r = \frac{D_o}{2}$ dan $\theta = 2\pi$, $r = \frac{D_i}{2}$, sehingga H_1 menjadi H_{\min} dan H_2 menjadi H_{\max} yang dituliskan pada Persamaan (2.6). dan Persamaan (2.7) (Lubitz,2014).

$$H_{\min} = \frac{-D_o}{2} \cos(\theta) - \frac{S}{2} \sin(\beta) \quad (2.6)$$

$$H_{\max} = \frac{D_i}{2} \cos(\theta) - S \sin(\beta) \quad (2.7)$$

Oleh karena itu, ketinggian air di antara heliks dapat dijelaskan dalam arah vertikal dalam hal ketinggian isian yang dituliskan pada Persamaan (2.8) (Lubitz, et al. 2014).

$$H_{wl} = H_{\min} + f(H_{\max} - H_{\min}) \quad (2.8)$$

Volume ember dapat digambarkan sebagai geometri yang digeser ke bawah sumbu w, yang dituliskan pada Persamaan (2.9) (Lubitz, et al. 2014).

$$V = \int_{r=\frac{D_1}{2}}^{r=\frac{D_0}{2}} \int_{\theta=2\pi}^{\theta=2\pi} dV \quad (2.9)$$

$$dV = \begin{cases} 0 & ; H_2 > H_{wl}, H_1 > H_{wl} \\ \left(\frac{H_{wl} - H_1}{H_2 - H_1} \right) \frac{\Lambda}{N} r dr d\theta & ; H_2 \geq H_{wl}, H_1 \\ \frac{\Lambda}{N} r dr d\theta & ; H_2 < H_{wl}, H_1 > H_{wl} \end{cases} \quad (2.10)$$

Volume ini juga digunakan untuk menghitung aliran air yang melewati *bucket*. Aliran air tersebut dapat dihitung dengan Persamaan (2.11) (Lubitz, 2014).

$$H_{wb} = \frac{H_{min} \omega}{2\pi} f(H_{max} - H_{min}) \quad (2.11) \quad (2.8)$$

Q_b adalah aliran air yang melalui *bucket*, N adalah banyak sudu atau heliks dari turbin, V adalah volume *bucket*, dan ω adalah kecepatan putaran turbin.

Ketika *bucket* berisi air, tekanan air di sudu turbin menyebabkan turbin berputar sehingga menghasilkan torsi. Hasil perhitungan torsi tersebut dapat digunakan untuk mendapatkan nilai daya listrik yang dihasilkan oleh PLTMH turbin *Archimedean Screw*. Tekanan air yang mengenai sudu turbin dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.12) (Lubitz, 2014).

$$P = \rho g(H_{wl} - H) \quad (2.12)$$

Persamaan tersebut menunjukkan perbedaan tekanan antara bagian bawah dan atas sudu turbin dapat digunakan untuk menentukan torsi. Torsi permukaan pada Persamaan (2.14) dan torsi untuk bucket penuh (2.15) (Lubitz, et al. 2014).

$$d\tau = (p_1 - p_2) \frac{\Lambda}{2\pi} r dr d\theta \quad (2.14)$$

$$\tau = \int_{r=\frac{D_1}{2}}^{r=\frac{D_2}{2}} \int_{\theta=2\pi}^{\theta=2\pi} d\tau \quad (2.15)$$

Sehingga torsi total dari Persamaan (2.16) (Lubitz, 2014).

$$\tau_{total} = T \left(\frac{NL}{\Lambda} \right) \quad (2.16)$$

Setelah torsi total sudah diketahui, selanjutnya didapatkan nilai daya mekanik yang dihasilkan dengan Persamaan (2.17) (Lubitz, 2014).

$$P_m = \omega \tau_{total} \quad (2.17)$$

Efisiensi yang dihasilkan putaran turbin dari aliran air didapatkan dengan Persamaan (2.18) berikut:

$$P_p = \rho Qgh \quad (2.18)$$

Daya potensial pada air yang mampu memutarakan turbin dapat dirumuskan pada persamaan tersebut dengan P_p adalah daya potensial (*watt*), Q debit air ($\frac{m^3}{s}$) dan ρ densitas air ($\frac{kg}{m^3}$).

Sehingga efisiensi turbin yang menjabarkan seberapa efektif energi potensial dari air berubah menjadi gerakan turbin seperti pada Persamaan (2.19)

$$\eta_t = \frac{P_m}{P_p} \quad (2.19)$$

P_m merupakan daya mekanik dari putaran turbin dan P_p adalah daya potensial air (Erinofiardi, 2019).

2.4 Komponen-Komponen PLTMH Tipe *Archimedean Screw*

Perakitan satu system PLTMH dengan turbin *Archimedean Screw* memerlukan beberapa komponen sebagai berikut:

2.4.1 Bendung

Bendung juga dapat didefinisikan sebagai bangunan air yang dibangun secara melintang sungai, sedemikian rupa agar permukaan air sungai di sekitarnya naik sampai ketinggian tertentu, sehingga air sungai tadi dapat dialirkan melalui pintu sadap ke saluran-saluran pembagi. Bendung merupakan sebuah kontruksi yang jauh lebih kecil dari bendungan yang menyebabkan air menggenang membentuk kolam namun mampu melewati bagian atas bendung. Bendung mengizinkan air meluap melewati bagian atasnya sehingga aliran air tetap ada dan dalam debit yang sama bahkan sebelum sungai dibendung. Tujuan dibangunnya bendung yaitu agar dapat menjalankan aliran air tetap berada dan dalam debit yang sama bahkan sebelum sungai dibendung (Kartasapoetra, 1991).

2.4.2 Pipa Pesat

Pengaliran air dari bak penenang ke turbin diperlukan pipa yang mampu menahan tekanan yang cukup tinggi, pipa ini disebut juga pipa pesat. Dasar perancangan pipa pesat ini adalah sama dengan perencanaan tangki dan *vessel* (bejana tekan), akan tetapi karena governor kontrol dan katup operasi turbin dapat mengakibatkan tekanan tiba tiba seperti water hammer maka perencanaannya perlu diperhatikan. Apabila jarak antara bak penenang dan turbin pendek, pipa pesat yang digunakan satu batang pipa untuk satu turbin. Sedangkan untuk pembangkit yang mempunyai head yang tinggi atau jarak antara turbin dan bak penenang panjang maka digunakan satu batang pipa khusus untuk melayani beberapa turbin (Dandekar, 1991). Ada beberapa jenis dan bahan pipa pesat yaitu:

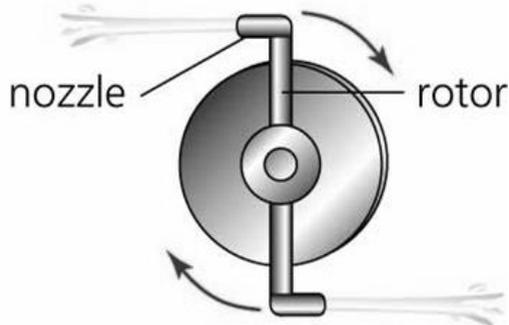
- a. Pipa Carbon (pipa baja)
- b. Pipa *spiral welded steel* (pipa spiral)
- c. Pipa PVC
- d. Pipa *rolled welded steel* (pipa gulung)

2.4.3 Turbin Air

Turbin air pada PLTMH digunakan sebagai perangkat yang mengubah energi air menjadi energi putar. Pada prinsipnya turbin air dapat mengubah energi potensial yang ada menjadi energi kinetik. Energi potensial yang terjadi pada PLTMH berupa aliran air termasuk komponen tekanan dan kecepatan aliran air yang terkandung didalamnya sehingga memutar turbin sebagai energi kinetik. Dalam prinsip kerja turbin mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Pada turbin impuls bagian yang berputar pada turbin atau rotor berputar akibat tumbukan fluida bertekanan yang diarahkan oleh *nozzle* kepada

rotor tersebut, sedangkan rotor turbin reaksi berputar akibat tekanan fluida itu sendiri yang keluar dari ujung sudu melalui *nozzle* (Syahputra et al., 2017).

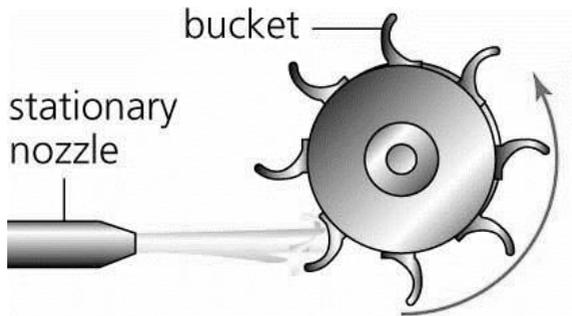
Turbin reaksi secara umum dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5 sebagai berikut:



Gambar 2. 5 Turbin Reaksi (Syahputra, 2017)

Gambar 2.5 menunjukkan turbin reaksi yang memanfaatkan energi potensial menjadi energi mekanik. Sudu pada turbin reaksi memiliki profil khusus sehingga menyebabkan penurunan selama melalui sudu. Perbedaan tekanan memberikan gaya pada sudu sehingga menyebabkan *runner* dapat berputar. Turbin yang termasuk dalam turbin reaksi adalah turbin Francis, turbin Kaplan dan turbin Propeller.

Sedangkan turbin impuls dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2.6 berikut:



Gambar 2. 6 Turbin Impuls (Syahputra, 2017)

Gambar 2.6 menunjukkan turbin impuls yang memanfaatkan energi potensial yang diubah menjadi energi kinetik dengan *nozzle*. Air yang dikeluarkan dari *nozzle* memiliki tekanan yang sangat tinggi untuk membentur sudut turbin. Air yang membentur sudut turbin, kecepatan air berubah sehingga terjadi perubahan momentum dan menyebabkan turbin berputar. Turbin yang termasuk dalam turbin impuls, antara lain turbin Pelton, turbin Turgo, dan turbin Michell-bankin (turbin *cross flow* atau *assberger*).

2.4.4 Generator

Generator listrik merupakan alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanikal, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Sumber energi mekanikal bisa berupa reciprocating maupun turbin mesin uap, air yang jatuh melalui sebuah turbin maupun kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, engkol tangan, energi surya atau matahari, udara yang dimampatkan, atau apapun sumber energi mekanikal yang lain. Generator DC yaitu generator yang menghasilkan tegangan *output* searah (Fauziah, 2017).

Ada dua struktur kumparan pada mesin sinkron yang merupakan dasar kerja dari mesin tersebut, yaitu:

1. Kumparan yang mengalirkan penguatan DC (membangkitkan medan magnet, biasa disebut sistem eksitasi).
2. Sebuah kumparan (biasa disebut jangkar) tempat dibangkitkannya GGL arus bolak-balik.

Konstruksi generator ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu :

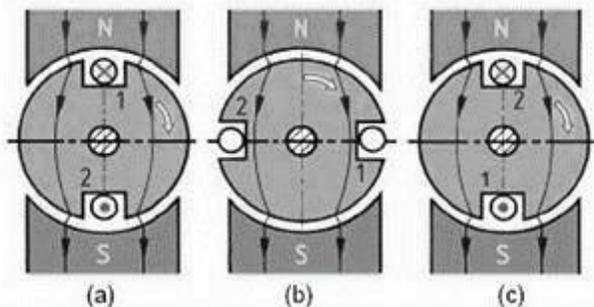
1. Stator, yaitu bagian diam (statis).
2. Rotor, yaitu bagian bergerak / berputar yang diputar oleh suatu sumber energi mekanik.

Prinsip dasar generator menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik.

Pembangkitan tegangan induksi oleh sebuah generator diperoleh melalui dua cara :

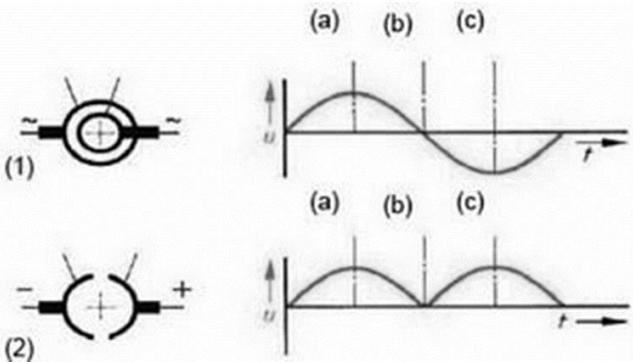
1. Dengan menggunakan cincin-seret, menghasilkan tegangan induksi bolak-balik (AC).
2. Dengan menggunakan komutator, menghasilkan tegangan DC.

Proses pembangkitan tegangan induksi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Pembangkitan Tegangan Induksi (Fauziah,2017)

Gambar 2.7 menunjukkan pembangkitan tegangan induksi pada generator. Jika rotor diputar dalam pengaruh medan magnet, maka akan terjadi perpotongan medan magnet oleh lilitan kawat pada rotor. Hal ini akan menimbulkan tegangan induksi, dapat dilihat pada gambar. Tegangan induksi terbesar terjadi saat rotor menempati posisi seperti Gambar 2.7 (a) dan (c). Pada posisi ini terjadi perpotongan medan magnet secara maksimum oleh penghantar. Sedangkan posisi jangkar pada Gambar 2.7 (b), akan menghasilkan tegangan induksi nol. Hal ini karena tidak adanya perpotongan medan magnet dengan penghantar pada jangkar atau rotor, daerah medan ini disebut daerah netral. Keluaran yang dihasilkan pada generator seperti pada Gambar 2.8 berikut.



Gambar 2. 8 Tegangan Rotor yang Dihasilkan Melalui Cincin Seret dan Komutator (Fauziah, 2017)

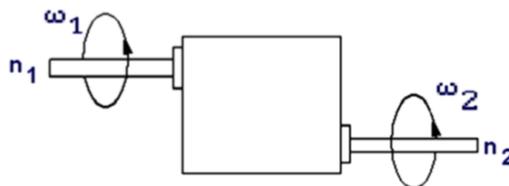
Gambar 2.8 menunjukkan tegangan rotor yang dihasilkan melalui cincin seret. Jika ujung belitan rotor dihubungkan dengan slip-ring berupa dua cincin (disebut juga dengan cincin seret), seperti ditunjukkan Gambar 2.8 (1), maka dihasilkan listrik AC (arus bolak-balik) berbentuk sinusoidal. Bila ujung belitan rotor dihubungkan dengan komutator satu cincin Gambar 2.8 (2) dengan

dua belahan, maka dihasilkan listrik DC dengan dua gelombang positif (Fauziah, 2017).

2.4.5 Penghubung turbin dengan generator

Generator untuk menghasilkan listrik yang berkualitas tinggi pada tegangan dan frekuensi stabil maka generator harus bekerja pada kecepatan putar yang optimal. Penghubung turbin dengan generator atau sistem transmisi energi mekanik ini dapat digunakan sabuk atau puli, roda gerigi atau dihubungkan langsung pada porosnya. Sabuk atau puli digunakan jika putaran per menit (rpm) turbin belum memenuhi putaran rotor pada generator, jadi puli berfungsi untuk menurunkan atau menaikkan rpm motor generator. Pada dasarnya, roda gerigi mempunyai sifat yang sama dengan puli. Sabuk penghubung langsung pada poros turbin dan generator dapat dipasang apabila putaran turbin sudah sama dengan putaran yang terdapat di generator. Sistem *gearbox* atau yang biasa disebut dengan transmisi roda gigi yaitu sistem roda gigi yang berada dalam suatu *box* atau kotak (Nurdin, 2016).

Pada *gearbox* rasio roda gigi biasanya dinyatakan dalam bentuk pecahan desimal. Pecahan desimal tersebut merupakan perbandingan dari jumlah putaran poros *input* dan jumlah putaran *output* yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Diagram Sederhana *Gearbox* (Bhatia, 2012)

Gambar 2.9 menunjukkan poros *input* terdiri dari ω_1 dan n_1 , sedangkan poros *output* terdiri dari ω_2 dan n_2 . *Speed* (n)

dinyatakan dalam *revolutions per minute* (rpm) dan ω merupakan kecepatan sudut yang dinyatakan dalam *rad/s*. Dengan $\omega_1 n_1$ sebagai *input* dan $\omega_2 n_2$ sebagai *output*, maka rasio roda gigi dapat dituliskan pada Persamaan (2.20).

$$\text{Gear Ratio} = \frac{\text{input speed } (n_1)}{\text{output speed } (n_2)} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (2.20)$$

Sebuah poros yang berputar dengan daya P dalam Watt dengan *speed* n dalam RPM sehingga nilai torsi didapat dengan Persamaan (2.21) berikut:

$$\tau = \frac{60 P}{2 \pi n} \quad (2.21)$$

Daya *input* dengan daya *output* pada keadaan ideal adalah sama, sehingga didapat perhitungan secara ideal seperti pada Persamaan (2.22) berikut:

$$n_1 \tau_1 = n_2 \tau_2 \quad (2.22)$$

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{n_2}{n_1} = \text{Gear Ratio} \quad (2.23)$$

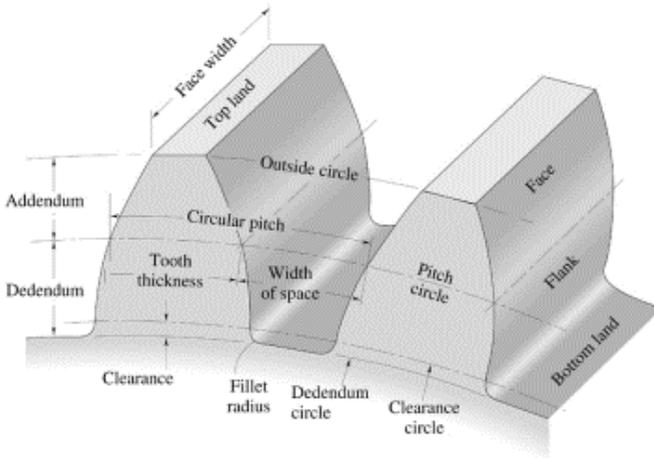
Atau

$$\tau_2 = \frac{\tau_1}{\text{Gear Rasio}} \quad (2.24)$$

$$n_2 = \text{Gear Ratio} \cdot n_1 \quad (2.25)$$

Dengan P daya yang dipindahkan (Watt), n_1 putaran input (rpm), n_2 putaran *output* (rpm), τ_1 torsi input (Nm), τ_2 torsi *output* (Nm). *Gearbox* dengan jumlah gigi yang lebih banyak akan selalu berputar lebih lambat dari kecepatan roda gigi dengan jumlah yang lebih kecil, namun akan menghasilkan torsi lebih besar. Sebaliknya apabila kecepatan meningkat, torsi akan berkurang (Bhatia 2012).

Ketika berada pada tahap melakukan perancangan *gear* perlu dilakukan modelisasi pada gigi *gear*. Berikut beberapa bagian dari gigi *gear* ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Bagian-Bagian Gigi Gear (Budynas et al., 2011).

Gambar 2.10 menunjukkan perancangan *gear* perlu dilakukan untuk modelisasi pada gigi *gear*. Adapun bagian-bagian perancangan gigi *gear* seperti *addendum*, *dedendum*, kedalaman total, tebal gigi, *face width*, diameter tusuk, diameter kaki dan diameter kepala. Untuk mendapatkan nilai-nilai tersebut pada merancang *gearbox* perlu mengetahui nilai *module*. *Module* merupakan perbandingan antara diameter lingkaran *pitch* dengan jumlah gigi yang dapat ditulis dengan Persamaan (2.26).

$$M = \frac{D_t}{Z} \quad (2.26)$$

Beberapa simbol yaitu M merupakan module, D_t merupakan diameter tusuk/diameter *pitch* dan Z adalah banyaknya gigi pada *gear*. Untuk mendapatkan nilai diameter kepala dan diameter kaki dapat menggunakan Persamaan (2.27) dan Persamaan (2.28) berikut:

$$D_k = D_t + 2h_a \quad (2.27)$$

$$D_f = 1,2M \quad (2.28)$$

Dengan D_k adalah diameter kepala dan D_f adalah diameter kaki. Diameter kaki diperoleh dengan mendapatkan nilai tinggi kepala gigi / *addendum* h_a . Sedangkan untuk menemukan tinggi gigi total merupakan hasil penjumlahan dari *addendum* dan tinggi kaki gigi / *dedendum* h_f . Berikut *addendum* dan *dedendum* dengan Persamaan (2.29) dan Persamaan (2.30) berikut:

$$h_a = 1. M \quad (2.29)$$

$$h_f = 1,2. M \quad (2.30)$$

Sedangkan untuk mendapatkan nilai dari tebal gigi b dan *face width* F dapat dilakukan dengan perhitungan pada Persamaan (2.31) dan Persamaan (2.32) (Budynas et al., 2011).

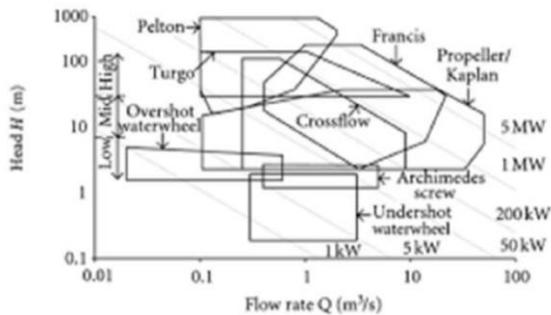
$$b = \frac{3.14}{\left(2. \frac{N}{D_t}\right)} \quad (2.31)$$

$$F = 12. M \quad (2.32)$$

2.5 Kriteria Pemilihan Jenis Turbin

Ada beberapa faktor yang mendasari perencanaan dan pemilihan suatu turbin air. Faktor-faktor tersebut yang terutama antara lain adalah debit aliran air, head atau tinggi air jatuh, kecepatan spesifik, putaran turbin, putaran pesawat yang digerakkan, posisi poros turbin dan biaya pembangunan instalasi. Dari sekian banyak faktor tersebut di atas, yang paling menentukan adalah debit dan head aliran air. Ukuran atau dimensi turbin air sangat tergantung kepada debit dan head air ini. Debit air yang besar pada head tertentu akan memerlukan turbin air ukuran besar, sedangkan untuk head air yang besar pada debit tertentu, dimensi turbin air cenderung lebih kecil. Dengan demikian debit dan head air ini secara tidak langsung akan menentukan biaya pembuatan

turbin air berikut pembangkitnya (Fauziah, 2017). Pada beberapa karakteristik turbin seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Karakteristik Turbin (Williamson et al., 2011)

Gambar 2.11 merupakan penjelasan dari karakteristik turbin berdasarkan kecepatan aliran air, ketinggian (head) dan daya yang dihasilkan. Semakin besar kecepatan aliran air dan semakin tinggi head air maka daya yang dihasilkan akan semakin besar. Disamping itu debit dan head air ini beserta jumlah putaran sudu yang digerakkannya akan mempengaruhi juga dalam penentuan putaran turbin sekaligus kecepatan spesifiknya. Sedangkan kecepatan spesifik itu sendiri akan menentukan pula terhadap jenis turbin yang digunakan. Demikian juga debit dan head air ini akan menentukan juga posisi turbin, yang mana turbin-turbin dengan debit air yang besar biasanya mempunyai poros vertikal. (Williamson et al., 2011)

Ada beberapa faktor yang menentukan dalam pemilihan debit dan head air yang direncanakan untuk suatu pemilihan turbin. Penentuan potensi sumber air dan keadaan tanah atau topografi sekitar lokasi dan kapasitas listrik yang dibutuhkan, serta kemampuan dana yang diperlukan untuk membangun instalasinya. Kita mengenal tinggi air jatuh total (*gross head* = H) dan tinggi jatuh air efektif (*effective head* = H_{eff}). Head total ini adalah

perbedaan ketinggian antara permukaan antara *head race* dengan *tail race*, sedangkan *effective head* adalah tinggi jatuh air total dikurangi dengan kerugian tinggi tekan akibat gesekan pada pipa pesat dan peralatan lainnya. Seleksi awal dari jenis turbin yang cocok untuk suatu keperluan paling tepat dilakukan dengan menggunakan kecepatan spesifik.

2.6 Desain Optimal Turbin

Setiap turbin memiliki nilai efisiensi yang tidak tetap, hal tersebut tergantung pada keadaan beban dan jenis turbinnya. Kinerja dari suatu turbin dapat dinyatakan dalam beberapa keadaan. Keadaan yang memengaruhi kinerja antaralain tinggi terjun maksimum, tinggi terjun minimum, tinggi terjun normal, dan tinggi terjun rancangan. Pada tinggi terjun rancangan turbin akan memberikan kecepatan terbaiknya sehingga efisiensinya mencapai maksimum. (P.Creager & D.Justin, 1950).

Berdasarkan perhitungan Rores, didapatkan beberapa parameter untuk menemukan desain turbin *Archimedean Screw*. Untuk menemukan rasio jari-jari didapatkan dengan melakukan perbandingan jari-jari *inner* dan *outer*. Selanjutnya nilai rasio jari-jari didapatkan seperti pada Persamaan (2.33) berikut:

$$\rho = \frac{R_i}{R_o} \quad (2.33)$$

Selanjutnya *pitch ratio* menjadi parameter penting menurut rores untuk mendapatkan rasio antar bilah. *Pitch ratio* dapat dituliskan dalam Persamaan (2.34)

$$\lambda = \frac{K\Lambda}{2\pi R_o} \quad (2.34)$$

K merupakan kemiringan turbin, Λ *Pitch* atau periode dari satu bilah dan R_o jari-jari *outer* turbin. Berdasarkan perhitungan rores secara lengkap didapatkan parameter rasio optimal disetiap bladenya seperti pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2. 2 Parameter Rasio Optimal Di setiap Bladenya
Sumber (Rorres, 2000)

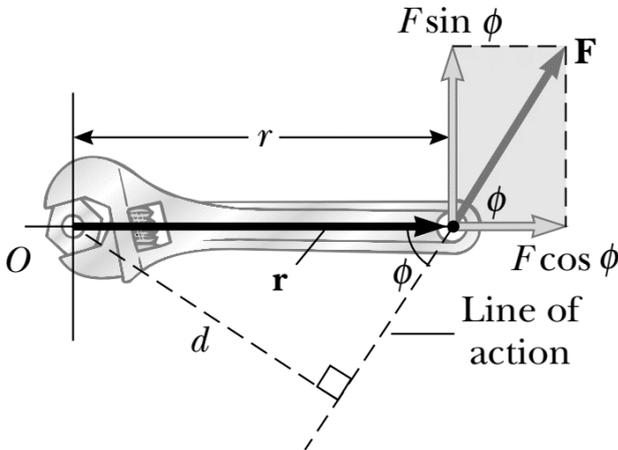
Number of blades	Optimal radius ratio	Optimal pitch ratio	Optimal volume-perturn ratio	Optimal volume ratio
1	0.5358	0.1285	0.0361	0.2811
2	0.5369	0.1863	0.0512	0.2747
3	0.5357	0.2217	0.0598	0.2697
4	0.5353	0.2456	0.0655	0.2667
5	0.5352	0.2630	0.0696	0.2647
6	0.5353	0.2763	0.0727	0.2631
7	0.5354	0.2869	0.0752	0.2619
8	0.5354	0.2957	0.0771	0.2609
9	0.5356	0.3029	0.0788	0.2601
10	0.5356	0.3092	0.0802	0.2592
11	0.5358	0.3145	0.0813	0.2586
12	0.5360	0.3193	0.0824	0.2580
13	0.5360	0.3234	0.0833	0.2574
14	0.5360	0.3270	0.0841	0.2571
15	0.5364	0.3303	0.0848	0.2567
16	0.5362	0.3333	0.0854	0.2562
17	0.5362	0.3364	0.0860	0.2556
18	0.5368	0.3380	0.0865	0.2559
19	0.5364	0.3404	0.0870	0.2555
20	0.5365	0.3426	0.0874	0.2551
21	0.5370	0.3440	0.0878	0.2553
22	0.5365	0.3465	0.0882	0.2544
23	0.5369	0.3481	0.0885	0.2543
24	0.5367	0.3500	0.0888	0.2538
25	0.5371	0.3507	0.0891	0.2542
...
...
...
Tak hingga	0.5394	0.3953	0.0977	0.2471

Tabel 2.2 menunjukkan parameter perancangan turbin archimedean yang optimal menurut perhitungan rores. Parameter

tersebut bergantung pada jumlah blade, kemiringan yang diberikan, debit, *radius ratio* dan *pitch ratio*.

2.7 Torsi

Kecenderungan gaya untuk memutar objek pada suatu sumbu diukur oleh besaran vektor yang disebut torsi. Artinya suatu benda cenderung akan berputar terhadap suatu sumbu apabila dikenai gaya terhadap benda kaku dan berputar pada sebuah sumbu. Torsi secara umum dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.12 berikut:



Gambar 2. 12 Torsi Pada Benda

Gambar 2.12 menunjukkan torsi pada suatu benda. Apabila suatu benda dikenai gaya dengan kemiringan tertentu yang berotasi pada sebuah sumbu, maka nilai torsi dapat ditulis dengan Persamaan (2.35).

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = \vec{r} \vec{F} \sin \phi = \vec{F} d \quad (2.35)$$

Dengan \vec{r} merupakan garis yang memiliki arah tegak lurus dengan gaya \vec{F} terhadap titik O (Serway, 2004)

Nilai F dapat dicari dengan menggunakan perubahan panjang yang memiliki konstanta tertentu seperti pada Gambar 2.13 berikut:

Gambar 2. 13 Skema Pengambilan Data Torsi Dengan Pegas

Gambar 2.13 menunjukkan torsi pada suatu poros dengan menggunakan pegas. Nilai F didapatkan dengan pengalihan antara konstanta pegas dengan peranjangan suatu pegas yang dikenai suatu gaya. Pegas yang menahan putaran turbin pada porosnya digunakan untuk mencari nilai dari torsi yang dihasilkan. Pengukuran torsi selanjutnya dapat dihitung dengan Persamaan (2.36).

$$\tau = - k \Delta x r \quad (2.36)$$

Dengan k merupakan konstanta pegas, Δx merupakan perubahan panjang dari pegas dan r merupakan jari jari dari poros.

2.8 Rotasi Per Menit (RPM)

Sebuah benda yang bergerak membentuk suatu lingkaran dengan laju konstan maka benda tersebut mengalami gerak melingkarberaturan. Suatu benda dikatakan mengalami gerak melingkar jika lintasan geraknya berupa lingkaran (Notosudjono, 2002). Contoh gerak melingkar antara lain pergerakan roda kendaraan, gerak pada baling-baling kipas angin, dan gerak jarum jam, dari gerak melingkar tersebut muncul kecepatan sudut yang

dilambangkan ω merupakan besarnya sudut yang ditempuh saat gerak melingkar tiap satuan waktu. Periode adalah waktu yang diperlukan untuk melakukan satu kali putaran.

Suatu gerak melingkar memiliki nilai yang disebut sebagai rotasi per menit, yaitu banyaknya putaran suatu gerak melingkar terhadap porosnya selama 1 menit. Rotasi per menit atau biasa disebut dengan rpm menunjukkan kecepatan dari suatu benda tersebut berputar. Secara teori rpm dari suatu gerak melingkar dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (2.37) berikut:

$$rpm = \frac{\text{rotasi}}{\text{waktu}} \cdot 60 \quad (2.37)$$

Dengan rotasi menunjukkan banyaknya putaran yang ditempuh selama beberapa waktu yang ditentukan. Dan 60 menyatakan waktu putaran dalam menit (Notosudjono, 2002).

2.9 Pengukuran Debit Air

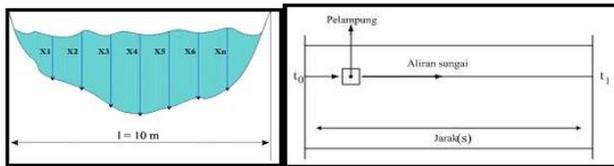
Terdapat banyak metode pengukuran debit air. Sistem konversi energi air skala besar pengukuran debit dapat berlangsung bertahun-tahun. Sedangkan untuk sistem konversi energi air skala kecil waktu pengukuran dapat lebih pendek, misalnya untuk beberapa musim yang berbeda saja (Wibawa, 2006). Mengukur luas permukaan sungai, dan kecepatan aliran air sungai dapat dilakukan dengan beberapa langkah. Pengukuran kedalaman sungai dilakukan di beberapa titik berbeda $X_1 - X_n$ seperti pada gambar 2.14. Lebar sungai (l) dimisalkan 10 m. Kedalaman rata-rata dapat dicari dengan Persamaan (2.38) berikut:

$$x_{rata-rata} = \frac{\sum x}{n} \quad (2.38)$$

Luas diperoleh dengan mengalikan kedalaman rata-rata dengan lebar sungai seperti pada Persamaan (2.39) berikut:

$$A = x_{rata-rata} \cdot l \quad (2.39)$$

Pengukuran kecepatan aliran air dengan mencari bagian sungai yang lurus dengan panjang sekitar 20 meter, dan tidak mempunyai arus putar yang menghambat jalannya pelampung (Subroto, 2002). Sebuah pelampung diikat kemudian dihanyutkan dari titik $t_0 - t_1$ seperti terlihat pada Gambar 2.14 sebagai berikut:



Gambar 2. 14 Pengukuran luas permukaan dan kecepatan aliran sungai (Subroto, 2002)

Gambar 2.14 menunjukkan pengukuran luas permukaan dan kecepatan aliran pada sungai. Pelampung yang dihanyutkan pada permukaan dihitung waktu tempuh pelampung tersebut ($t_0 - t_1$) yang dicatat dengan menggunakan *stopwatch*. Waktu tempuh rata-rata dihitung dari pelampung tersebut seperti pada Persamaan (2.40) berikut:

$$t_{rata} = \Sigma t/n \quad (2.40)$$

Kecepatan aliran air sungai (v) diperoleh dengan membagi jarak sungai (s) dengan waktu tempuh rata-rata dari pelampung tersebut. Sehingga dapat ditulis sesuai Persamaan (2.41).

$$(t_0 - t_1), v = \frac{s}{t_{rata}} \quad (2.41)$$

Setelah luas dan kecepatan aliran sungai diketahui, maka besar debit pada sungai tersebut dapat dianalisis seperti pada Persamaan (2.42).

$$Q = A \cdot v \text{ (m}^3/\text{det)} \quad (2.42)$$

Beberapa sim A merupakan luas penampang dan v adalah kecepatan aliran fluida (Subroto, 2002).

2.10 Daya Listrik

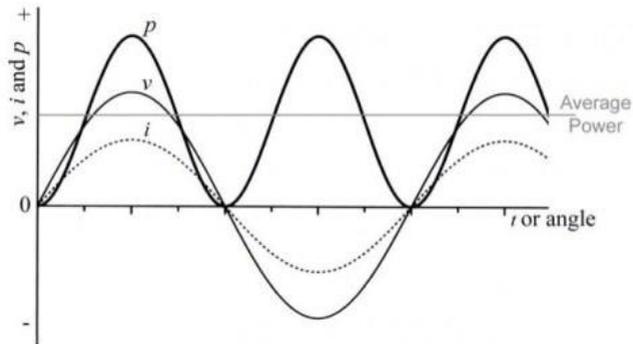
Daya listrik didefinisikan sebagai kecepatan aliran energi listrik pada titik jaringan listrik tiap satuan waktu. Dengan satuan watt atau joule per detik dalam SI, daya listrik menjadi besaran terukur adanya produksi energi listrik oleh pembangkit, maupun penyerapan energi listrik oleh beban listrik. Daya listrik menjadi pembeda antara beban dengan pembangkit listrik, dimana beban bersifat menyerap daya sedangkan pembangkit listrik bersifat mengeluarkan daya. Berdasarkan kesepakatan universal, daya listrik yang mengalir dari rangkaian masuk ke komponen listrik bernilai positif, sedangkan daya listrik yang berasal dari komponen listrik bernilai negatif.

Daya nyata atau daya yang dibutuhkan oleh beban resistif, menunjukkan aliran energi listrik dari pembangkit listrik ke jaringan beban untuk dikonversikan menjadi energi lain. Daya listrik dapat dirumuskan sesuai Persamaan (2.43) dan Persamaan (2.44) berikut.

$$P = V \times I \quad (2.43)$$

$$P = V \times I \times \cos \theta \quad (2.44)$$

Arus DC daya listrik dirumuskan sebagai perkalian arus listrik dengan tegangan sesuai dengan Persamaan (2.43). Sedangkan pada listrik AC perhitungan daya mejadi sedikit berbeda karena melibatkan faktor daya $\cos \theta$ sesuai pada Persamaan (2.44) diatas.



Gambar 2. 15 Gelombang arus, tegangan dan daya listrik (Listiyarini, 2018)

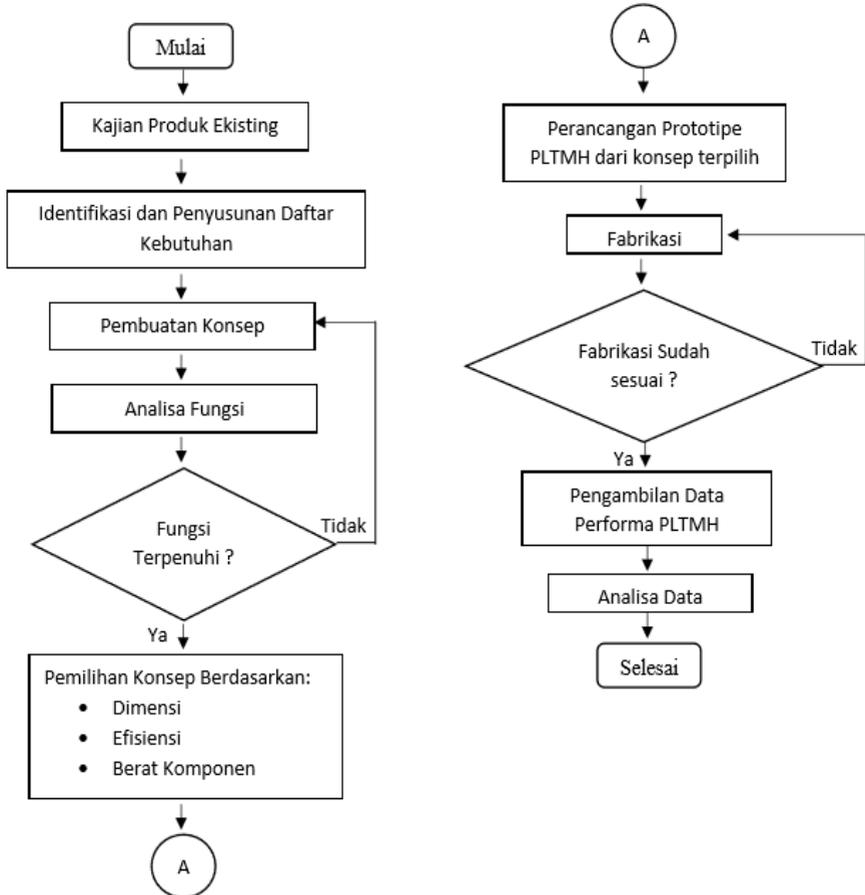
Gambar 2.15 menunjukkan gelombang pada aliran listrik AC dan DC. Pada listrik AC tegangan dan arusnya mengalir secara bolak-balik. Jika kita menghubungkan sirkuit AC dengan osiloskop maka kita mungkin melihat sejumlah bentuk gelombang yang berbeda. Jenis yang paling umum dari arus AC adalah gelombang sinus. Sedangkan pada listrik DC, elektron cenderung mengalir terus dalam satu arah.

(Halaman Sengaja Dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI

Bab metodologi ini menjelaskan tentang tahap-tahap penelitian dalam pembuatan prototipe PLTMH. Tahap-tahap dapat digambarkan dengan diagram alir sesuai pada Gambar 3.1.

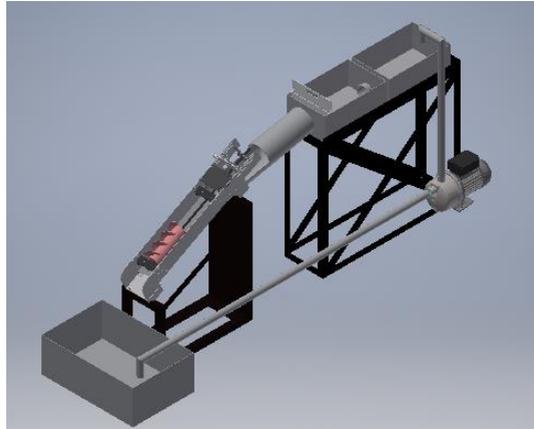


Gambar 3. 1 Diagram Alir

Gambar 3.1 menunjukkan langkah awal yaitu perancangan dan pembuatan alat berdasarkan komponen alat dan kebutuhan yang telah ditentukan sesuai dengan studi literatur yang telah dipelajari. Sebuah alat yang telah selesai proses pembuatannya maka perlu adanya pengujian. Pengujian yang dilakukan seperti adanya kebocoran, keseimbangan dan kekuatan konstruksi serta kesesuaian alat dengan desain. Apabila pengujian dari fabrikasi belum mendapatkan hasil yang baik maka harus dilakukan adanya perbaikan ulang. Ketika tahap pengujian selesai dan dinyatakan layak maka tahap selanjutnya yaitu pengambilan data *output* tegangan dan arus sesuai dengan RPM yang dihasilkan. Data *output* yang didapat dianalisis sesuai dengan teori yang ada, sehingga didapatkan kesimpulan-kesimpulan yang dapat dijadikan suatu laporan.

3.1 Perancangan Alat PLTMH *Archimedean Screw*

Perancangan PLTMH *Archimedean Screw* diawali dengan pembuatan desain dengan menggunakan *Inventor Autodesk 2017*. Perancangan alat pada pembangkit dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut.

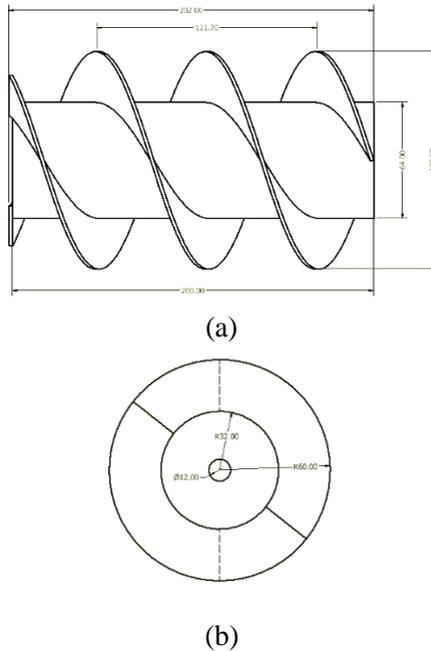


Gambar 3. 2 Desain Prototipe PLTMH *Archimedean Screw*

Gambar 3.2 menunjukkan rancang bangun alat dari PLTMH *Archimedean Screw* pada tugas akhir memiliki ukuran skala laboratorium. Beberapa bagian yaitu *reservoir tank atas* yang digunakan untuk bendung air, *valve* sebagai pengatur derasnya aliran yang dihasilkan, bak penenang digunakan untuk menghantarkan aliran air berta sebagai penenang aliran air, generator sebagai pengonversi putaran yang diakibatkan oleh turbin menjadi listrik, turbin sebagai komponen yang berputar karena adanya tekanan dari air, *reservoir tank bawah* sebagai wadah air keluar yang selanjutnya dialirkan kembali ke *reservoir tank atas* dengan menggunakan pompa.

3.2.1 Perancangan Turbin

Perancangan turbin *Archimedean Screw* seperti pada Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3. 3 Perancangan Turbin *Archimedean Scew*
(a) Tampak Samping (b) Tampak Depan

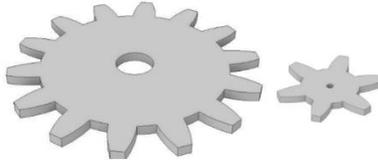
Gambar 3.3 menunjukkan perancangan turbin *Archimedean Scew*. Perancangan turbin berbentuk ulir yang memiliki 2 sudu. Panjang total dari turbin pada tugas akhir ini 20 cm. *Inner* berupa diameter dalam berbentuk pejal dengan diameter 6,4 cm sedangkan *outer* dengan penambahan sirip ulir dengan diameter 12 cm.

3.2.2 Perancangan *Gearbox*

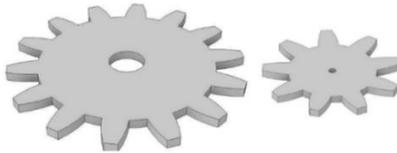
Perancangan *Gearbox* dibuat dengan beberapa perbandingan seperti pada Gambar 3.5 berikut:



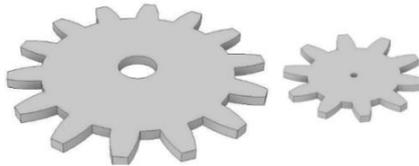
(a)



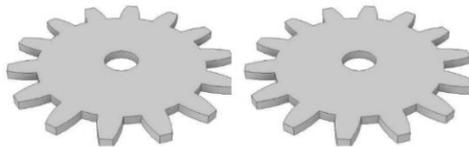
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 3. 4 Perancangan gear dengan rasio
(a) 2,56 (b) 2,33 (c) 1,56 (d) 1,4 dan (e) 1

Gambar 3.5 menunjukkan variasi *gearbox* yang digunakan pada tugas akhir. Rasio yang diperoleh merupakan hasil bagi antara masing-masing gigi *gear*. Perbandingan *gear* yang digunakan antaralain pada rasio 2,56, rasio 2,33, rasio 1,56, rasio 1,4 dan rasio 1. *gear* tersebut dikopel antara turbin dengan generator yang bertujuan untuk menaikkan nilai rpm.

Upaya mendapatkan *gear* yang akurat untuk mentransmisikan energi maka diperlukan perhitungan yang tepat pada perancangan *gear*. Perancangan dilakukan dengan menentukan terlebih dahulu banyaknya gigi *gear* dan diameter tusuk. Kedua parameter tersebut sesuai dengan Persamaan (2.26) sampai dengan (2.32) sehingga didapatkan detail *gear*. Perancangan masing-masing *gear* seperti pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Perancangan masing-masing *gear*

Gigi <i>Gear</i>	Dt (mm)	Ha (mm)	Hf (mm)	Dk (mm)	Df (mm)	H (mm)	B (mm)
23	110	4.78	5.98	119.57	98.04	10.76	7.51
14	70	5	6.25	80	57.5	11.25	7.85
10	50	5	6.25	60	37.5	11.25	7.85
9	45	5	6.25	55	32.5	11.25	7.85
7	40	5.71	7.14	51.43	25.71	12.86	8.97
6	35	5.83	7.29	46.67	20.42	13.13	9.16

3.2.3 Perancangan Pipa Pesat

Pipa pesat berupa sambungan dari bak penenang menuju turbin didesain seperti pada Gambar 3.5 berikut.

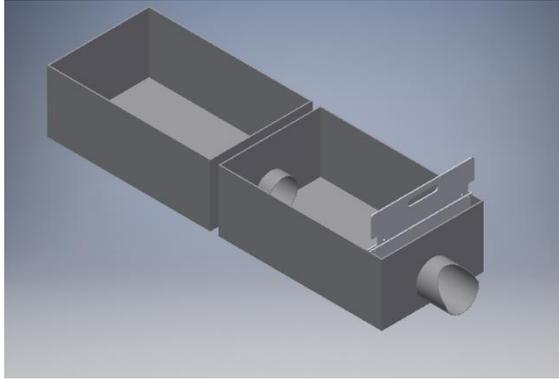


Gambar 3. 5 Perancangan Pipa Pesat

Gambar 3.5 menunjukkan perancangan dari pipa pesat. Pipa pesat pada lubang input bagian atas yang terhubung dengan bak penenang dirancang tertutup untuk mencegah keluarnya aliran air ketika *valve* dibuka. Pada keluaran *output* bawah yang terhubung dengan *casing* turbin dirancang terbuka untuk mengetahui aliran air yang menuju turbin. Panjang total dari turbin sendiri yaitu 60 cm dan diameter 12,5 cm.

3.2.4 Perancangan *Water Tank*

Perancangan *water tank* pada dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3. 6 Perancangan *Water tank*

Gambar 3.6 menunjukkan perancangan *water tank* 2 bak yang diletakkan diatas *chasis*. 2 bak tersebut berupa *reservoir tank* atas dan bak penenang. Kedua bak dihubungkan dengan pipa yang berdiameter 5 cm. *Reservoir tank* atas dan bak penenang keduanya memiliki ukuran yang sama yaitu 30 cm x 20 cm x 8 cm. Perancangan *valve* dipasang pada keluaran air bak penenang untuk mendapatkan debit air yang sesuai.

3.2 Fabrikasi Alat

Perancangan dilakukan dengan menggunakan *autodesk inventor 2017* selanjutnya diaplikasikan dengan menggunakan pembuatan alat. Berikut spesifikasi alat dan bahan PLTMH *Archimedean Screw* pada tugas akhir ini.

1. Besi siku, sebagai kerangka konstruksi.
2. Besi *assental*, sebagai penghubung antara turbin dengan *gearbox*

3. *3d printing* dengan bahan PLA pada turbin yang berbentuk screw.
4. Akrilik, sebagai bahan penyangga aliran air yang mengenai turbin. Selain itu pada *gearbox* juga memanfaatkan bahan akrilik.
5. Bak plastik, sebagai alat yang berperan pada bagian *open channel* sebagai bak penenang air, *reservoir tank* sebagai bak penerima keluaran air dari turbin yang selanjutnya dialirkan ke *water tank* .
6. Pompa, untuk mengalirkan air dari *reservoir tank* ke *water tank* .

3.3 Pengujian Alat

Pelaksanaan tahap pengujian alat merupakan tahap uji kelayakan pada alat. Seperti yang tertera pada Gambar 3.1, tahap ini menentukan langkah berikutnya apakah dapat dilanjutkan atau perlu adanya perbaikan. Pengujian didasarkan referensi-referensi yang ada. Pengujian alat ini meliputi kebocoran, ketepatan ukuran alat, kekuatan konstruksi, pengujian sistem dinamo, pengujian sistem turbin dan ketepatan aliran air. Apabila alat dapat dikatakan layak maka pada penelitian dapat dilanjut dengan tahap berikutnya.

3.4 Pengambilan Data

Pengambilan data yang dilakukan pada alat menggunakan debit sebesar 2,64 liter/detik. Pengukuran debit dilakukan dengan pengisian sebuah wadah yang telah diketahui ukurannya dan dicatat waktu yang diperlukan untuk mengisi wadah tersebut. Selain itu, kemiringan turbin yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 30°.

3.4.1 Pengukuran RPM

Pengukuran rpm pada tugas akhir dilakukan secara manual. Sesuai dengan definisi rpm adalah banyaknya putaran

suatu gerak melingkar terhadap porosnya selama 1 menit. Maka pada pengambilan data dilakukan dengan manual melalui penghitungan putaran turbin selama 1 menit. Penghitungan dapat dilakukan juga dengan pengkonversian sesuai pada Persamaan 2.20. Data rpm yang dibutuhkan yaitu putaran pada *gear* turbin dan putaran *gear* pada generator. Putaran pada *gear* turbin merupakan hasil asli dari putaran yang dihasilkan turbin. Sedangkan *gear* pada generator merupakan putaran target yang ditentukan sesuai dengan rasio yang telah ditetapkan.

3.4.2 Pengukuran Tegangan dan Arus Listrik

Pengukuran data tegangan dan arus listrik dilakukan dengan alat bantu yakni multimeter. Tegangan dan arus listrik yang diukur merupakan *output* yang dihasilkan dari generator. Data tegangan yang diambil merupakan tegangan listrik tanpa beban dan tegangan listrik dengan beban berupa resistor. Sedangkan data arus listrik yang diambil diberi pembebanan berupa resistor. Resistor yang digunakan yakni pada resistansi 1000 ohm, 2000 ohm, 3000 ohm, 4000 ohm dan 5000 ohm.

3.5 Analisa Data

Analisa data dapat dilakukan setelah didapatkan data-data yang telah diambil pada penelitian. Data yang diambil harus diolah untuk dianalisis untuk mengetahui pengaruh yang dihasilkan. Data yang di analisa yaitu hubungan antara variasi *gearbox* dengan *output* yang didapatkan seperti rpm, torsi, tegangan, arus dan daya listrik. Data yang telah dianalisis selanjutnya dituliskan dalam bentuk laporan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat beberapa analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini. Pada bab ini dibahas mengenai hasil dari analisis yang dilakukan.

4.1 Realisasi Rancang Bangun PLTMH *Archimedean Screw*

Realisasi perancangan dilakukan dengan penggabungan beberapa peralatan sesuai dengan desain perancangan yang telah dibuat. Secara keseluruhan prototipe PLTMH seperti pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 1 Realisasi Rancang Bangun *Archimedean Screw*

Gambar 4.1 menunjukkan hasil akhir dari pembuatan prototipe PLTMH *Archimedean Screw*. Pada realisasi pembuatan PLTMH terdapat beberapa bagian utama yaitu *reservoir tank* atas, bak

penenang, pipa pesat, *gearbox*, turbin dan *reservoir tank* bawah. Pada saat pengambilan data dibutuhkan bantuan dengan adanya pompa air untuk mengalirkan air dari *reservoir tank* bawah menuju *reservoir tank* atas untuk dialirkan kembali menuju turbin.

4.1.1 *Water Tank*

Pada tugas akhir ini terdapat 3 bagian untuk bak penampungan air yang digunakan. 3 bagian tersebut yaitu *reservoir tank* bawah, *reservoir tank* atas dan bak penenang. *Reservoir tank* bawah merupakan bak sebagai buangan air setelah melewati turbin sedangkan *reservoir tank* atas digunakan sebagai penerima air untuk dialirkan ke bak penenang. Bak penenang diperlukan bertujuan supaya air yang keluar melalui bak dapat memiliki debit yang lebih konstan.



Gambar 4. 2 *Valve*

Gambar 4.2 menunjukkan *valve* sebagai pengatur debit air yang dikeluarkan untuk menuju turbin melalui pipa pesat. *Valve* berada pada bak penenang dimana *valve* tersebut terbuat dari bahan akrilik. *Valve* tersebut memiliki fungsi untuk mengatur debit yang

keluar untuk dialirkan ke turbin melalui pipa pesat. Pada *valve* tersebut terdapat lubang-lubang sebagai penyangga yang dapat diatur sesuai dengan debit yang diperlukan.

4.1.2 Pipa Pesat

Pipa pesat pada PLTMH *Archimedean Screw* digunakan sebagai penyambung antara bak penenang menuju turbin. Realisasi pipa pesat pada rancang bangun seperti pada Gambar 4.3 berikut:

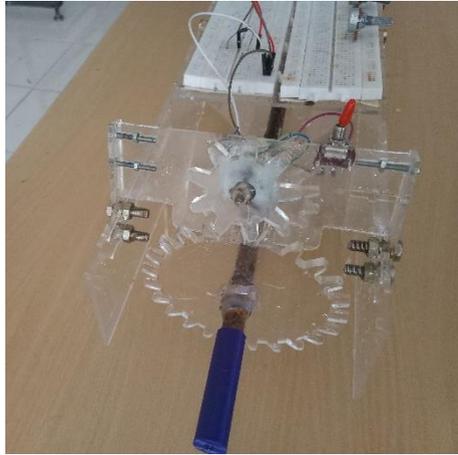


Gambar 4.3 Pipa Pesat

Gambar 4.3 menunjukkan realisasi pipa pesat pada prototipe. Pipa pesat digunakan sebagai penyearah aliran air untuk menggerakkan turbin dengan optimal. Pipa pesat pada realisasi rancang bangun ini menggunakan pipa PVC dengan panjang 60 cm dan diameter pipa 12,5 cm.

4.1.3 Gearbox & Generator

Gearbox yang digunakan pada PLTMH ini menggunakan 2 *gear* di setiap pemasangannya. *Gear* 1 yang memiliki gigi *gear* lebih banyak dihubungkan pada turbin, sedangkan *gear* 2 yang memiliki gigi *gear* lebih sedikit dihubungkan dengan generator. Hal tersebut bertujuan supaya rpm pada generator bertambah tinggi sesuai dengan rasionya. Pemasangan *gear* dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut:



Gambar 4. 4 Pemasangan *Gearbox*

Gambar 4.4 menunjukkan realisasi *gearbox* yang terpasang pada PLTMH. Pemasangan *Gearbox* dilakukan dengan beberapa perbandingan gigi *gear* di setiap rasionya sesuai pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4. 1 Pebandingan Gigi *Gear* Di setiap Rasionya

<i>Gearbox</i>	G1 : G2
Rasio 1	14:14
Rasio 1,4	14:10
Rasio 1,56	14:9
Rasio 2,33	14:6
Rasio 2,56	23:9

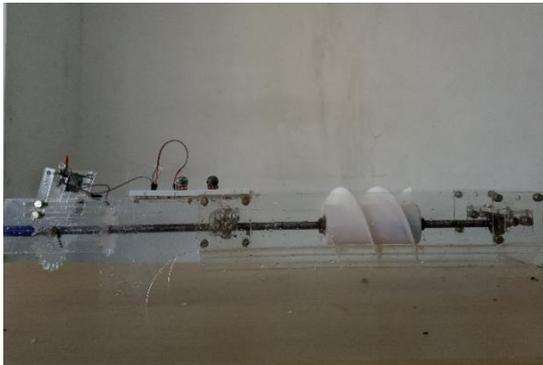
Tabel 4.1 menunjukkan rasio *gear* yang digunakan yaitu perbandingan jumlah gigi *gear* pada *gear* yang terhubung dengan turbin dan *gear* yang terhubung dengan generator. Pada tabel tersebut menunjukkan G1 yaitu jumlah gigi *gear* yang terhubung

dengan turbin. Sedangkan G_2 yaitu jumlah gigi *gear* yang terhubung pada generator.

Generator digunakan sebagai peubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator yang dipakai pada PLTMH dengan generator 3 fasa. Keluaran yang dihasilkan dari generator yaitu berupa arus AC atau bolak balik. Oleh karena itu untuk memperoleh tegangan DC perlu adanya penambahan dioda dan kapasitor untuk menyearahkan dari arus AC menjadi arus DC.

4.1.4 Turbin Archimedean Screw

Turbin yang digunakan pada PLTMH ini yaitu berupa turbin *Archimedean Screw* yang berbentuk ulir. Turbin ini sebagai penggerak generator dengan adanya aliran air yang mengenai sisi aktif dari turbin *Archimedean Screw*. Turbin dipasang dengan sebuah besi assental dengan panjang 1 meter. Besi assental tersebut selain sebagai penyangga dari turbin juga berfungsi untuk menghubungkan putaran ke generator. Penghubungan besi assental dengan generator dengan cara dikopel dengan 2 *gear* yang saling berhimpitan. Realisasi bentuk turbin sesuai pada gambar 4.5 sebagai berikut:



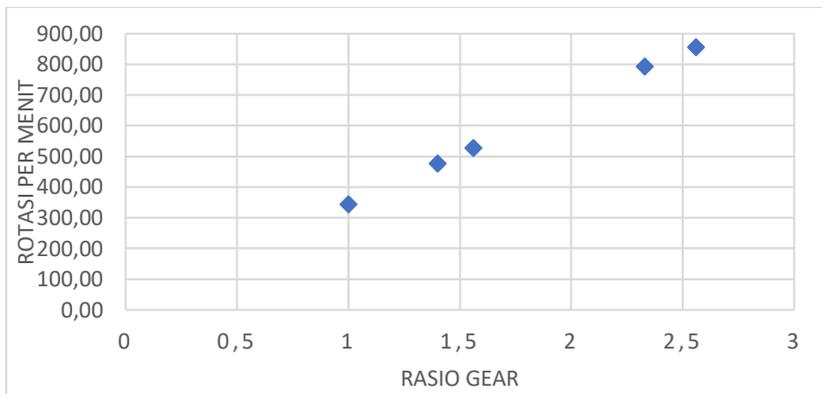
Gambar 4. 5 Realisasi Pembuatan Turbin

Gambar 4.5 menunjukkan realisasi pembuatan turbin. Turbin *Archimedean Screw* pada rancang bangun ini menggunakan *inner* dengan diameter 6,4 cm dan diameter *outer* 12 cm. Panjang total dari turbin *Archimedean Screw* sendiri sepanjang 20 cm. Pada pencetakannya turbin menggunakan cetakkan *3d printing* berbahan PLA.

4.2 Rotasi Per Menit

Besar atau kecilnya rpm juga dipengaruhi beberapa faktor seperti debit air yang mengenai turbin, kemiringan sudut dari turbin dan perancangan dari turbin *Archimedean Screw*. Tekanan dan kapasitas air apabila mengenai turbin semakin besar maka rotasi yang dihasilkan juga semakin besar, hal tersebut terjadi karena pengenaan sisi aktif *blade* pada turbin. Pada titik tertentu putaran turbin akan mulai mengalami penurunan. Titik tersebut merupakan titik efisiensi besarnya debit air yang diperlukan. Sama halnya dengan kemiringan dan perancangan turbin, faktor tersebut juga memiliki titik untuk menghasilkan rpm secara optimum.

Data rata-rata rpm disetiap rasionya dapat ditunjukkan pada Lampiran 1 Tabel 1.A. Data tersebut menunjukkan rata-rata rpm setiap rasio *gear* yang terhubung dengan generator. Rpm yang terhubung langsung dengan generator merupakan hasil konversi dari *gearbox* sesuai dengan rasionya. Rpm terbesar dimiliki oleh PLTMH *Archimedean Screw* menggunakan rasio *gear* 2,56 dengan rpm yang dihasilkan sebesar $(857,17 \pm 2,49)$ rotasi/menit. Sedangkan rpm terkecil yang dihasilkan oleh putaran dari *gear* rasio 1 dengan $(343,29 \pm 0,85)$ rotasi/menit. Data yang telah diambil didapatkan grafik seperti pada Gambar 4.6 berikut:



Gambar 4. 6 RPM Di Setiap Rasio Pada *Gearbox*

Gambar 4.6 menunjukkan adanya peningkatan perputaran apabila rasio dari *gearbox* semakin besar. Sesuai dengan Persamaan (2.25), hasil pengambilan data rpm memiliki hasil yang relevan. *Gear* dengan jumlah gigi yang banyak akan selalu berputar lebih lambat dari kecepatan roda gigi dengan jumlah yang lebih kecil. Data secara detail telah disajikan pada Lampiran 1.

Hasil pengambilan data pada rotasi per menit yang memiliki sedikit perbedaan apabila dibandingkan dengan perhitungan sesuai dengan persamaan. Persamaan (2.25) tersebut merupakan hal yang mendasar ketika kita menentukan rpm yang diinginkan. Perbedaan yang terjadi dikarenakan adanya selip pada gigi *gear*. Selain itu kemungkinan yang terjadi yakni adanya perbedaan waktu pengambilan data. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *stopwatch* secara manual memungkinkan adanya kesalahan perbedaan waktu tersebut. Oleh karena itu telah dilakukan pengulangan pengambilan data.

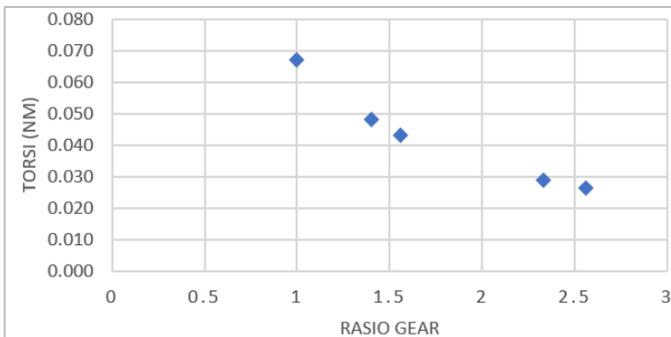
4.3 Torsi yang Dihasilkan

Torsi dibutuhkan untuk menggerakkan turbin *Archimedean Screw* dilakukan oleh air yang mengenai air itu

sendiri. Sesuai dengan Persamaan (2.36) dengan informasi diameter, konstanta pegas dan pertambahan panjang pegas saat dililitkan, maka nilai torsi pada *gear* 1 yang terhubung turbin didapatkan. Sedangkan torsi pada *gear* 2 yang terhubung dengan generator dapat didapatkan dengan perbandingan sesuai dengan Persamaan (2.24). Berdasarkan data yang telah diambil didapatkan hasil rata-rata torsi seperti pada Lampiran 2.

Nilai torsi rata-rata pada setiap rasionya pada *gear* yang terhubung dengan generator dapat ditunjukkan pada Lampiran 2 Tabel 2.A. Torsi yang terhubung generator memiliki nilai yang berbeda-beda setiap rasionya. Sedangkan torsi pada *gear* yang tergabung dengan turbin cenderung sama karena memiliki debit dan kemiringan sudut turbin yang sama. Berbeda dengan rpm, hasil nilai torsi konversi pada *gearbox* merupakan nilai *gear* yang terhubung turbin dibagi dengan rasio berdasarkan perbandingan jumlah gigi *gear*. Torsi terkecil yang dihasilkan setelah hasil konversi yaitu sebesar $(0,0263 \pm 0,0002)$ Nm pada rasio *gear* 2,56. Sedangkan Torsi terbesar dihasilkan pada rasio 1 dengan torsi sebesar $(0,0671 \pm 0,0004)$ Nm.

Sesuai dengan data torsi yang telah ada dapat direpresentasikan berupa grafik pada Gambar 4.7 berikut:



Gambar 4. 7 Grafik Data Torsi Setiap Rasionya

Gambar 4.7 tersebut menyatakan bahwa hasil dari data yang telah diambil sesuai dengan Persamaan (2.24). Dapat dikatakan bahwa semakin besar rasio yang diberikan pada pada *gearbox* maka torsi hasil konversi semakin kecil. Data nilai torsi secara lengkap telah ditampilkan pada lampiran.

Sama halnya dengan rpm, besarnya torsi yang dihasilkan dipengaruhi beberapa faktor seperti debit air, kemiringan turbin dan perancangan turbin. Pengenaan air yang bergerak kepusat bumi karena adanya gravitasi yang selanjutnya mengenai aktif turbin yang menimbulkan adanya gaya untuk memutar turbin. Sedangkan pada perancangan turbin erat hubungannya dengan blade dari turbin itu sendiri. Faktor-faktor tersebut dibuat pada perancangan PLTMH sesuai dengan keadaan dan hasil yang diinginkan.

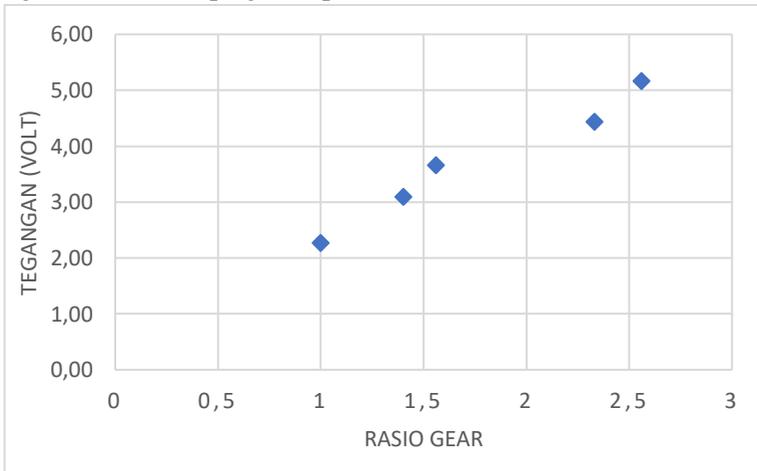
4.4 Data Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus

Tegangan dan arus dihasilkan karena adanya generator. Generator yang dipakai pada tugas akhir ini yaitu menggunakan generator 3 fasa. Keluaran dari generator didapatkan sumber listrik AC sehingga keluaran tegangan dan arus yang dihasilkan berupa AC. Untuk mendapatkan data yang lebih stabil maka perlu dikonversi menjadi sumber listrik DC. Pengonversian dilakukan dengan penambahan dioda dan kapasitor pada rangkaian. Pengukuran tegangan dan arus hasil keluaran dilakukan dengan menggunakan bantuan multimeter.

Generator yang berputar dihubungkan pada rangkaian dan dihubungkan dengan alat ukur multimeter sehingga tegangan dan arus yang dikeluarkan oleh generator dapat diukur langsung. Data tegangan rata-rata disetiap rasionya dapat ditampilkan pada Lampiran 3 Tabel 3.A. Tabel tersebut menunjukkan *output* tegangan yang dihasilkan oleh generator dengan tanpa beban. Generator listrik memproduksi energi listrik dari sumber energi

mekanik, dimana energi mekanik pada hal ini merupakan hasil putaran pada generator yang dikopel dengan turbin. Pada Tabel 3.A ditampilkan bahwa tegangan terbesar dihasilkan pada PLTMH *Archimedean Screw* dengan menggunakan *gearbox* rasio 2,56 dengan tegangan sebesar $(5,16 \pm 0,11)$ volt. Tegangan terkecil dihasilkan pada PLTMH *Archimedean Screw* dengan menggunakan *gearbox* rasio 1 dengan tegangan sebesar $(2,27 \pm 0,04)$ volt. Hasil tegangan *output* yang lebih terperinci dapat dilihat pada lampiran

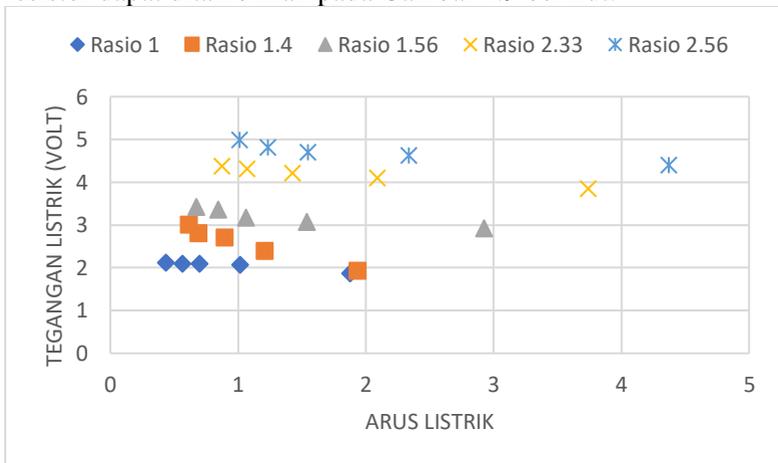
Data tegangan tanpa beban yang diperoleh dapat digambarkan berupa grafik pada Gambar 4.8 berikut:



Gambar 4. 8 Grafik Tegangan Di Setiap Rasio *Gearbox*

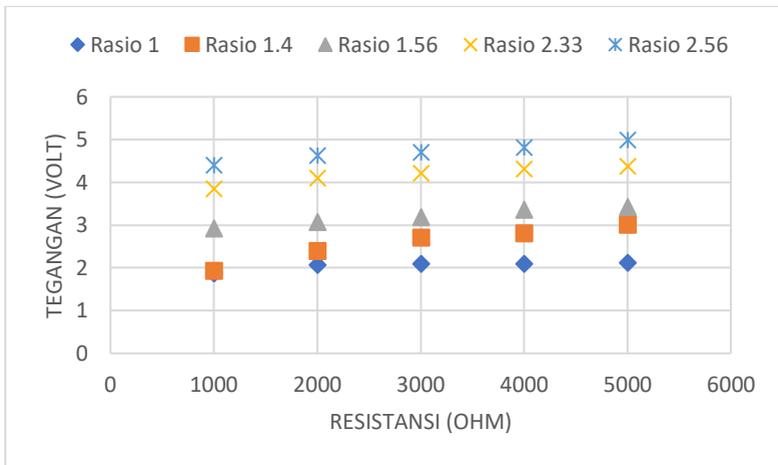
Gambar 4.8 menunjukkan hubungan rasio dengan tegangan *output* yang dihasilkan. Berdasarkan grafik tersebut semakin besar rasio *gearbox* yang dipakai maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan. Hal tersebut berkaitan dengan putaran yang terjadi pada generator, dengan rasio *gearbox* semakin besar maka hasil konversi putaran yang terjadi semakin besar oleh karena itulah hasil tegangan yang dihasilkan juga semakin besar.

Pengukuran arus listrik yang dihasilkan generator dilakukan dengan menggunakan beban. Beban yang dipakai pada rangkaian yaitu sebesar 1000 ohm, 2000 ohm, 3000 ohm, 4000 ohm dan 5000 ohm. Data arus listrik yang dihasilkan ditampilkan pada lampiran. Data tersebut pada arus terbesar didapatkan pada PLTMH *Archimedean Screw* dengan *gearbox* rasio 2,56 dan dengan resistansi sebesar 1000 ohm sebesar $(4,37 \pm 0,06)$ mA. Sedangkan nilai arus terkecil didapatkan pada PLTMH *Archimedean Screw* dengan *gearbox* rasio 1 dan dengan resistansi sebesar 5000 ohm sebesar $(0,43 \pm 0,01)$ mA. Untuk membandingkan arus dan tegangan dari pembebanan berupa resistor dapat ditambihkan pada Gambar 4.9 berikut:

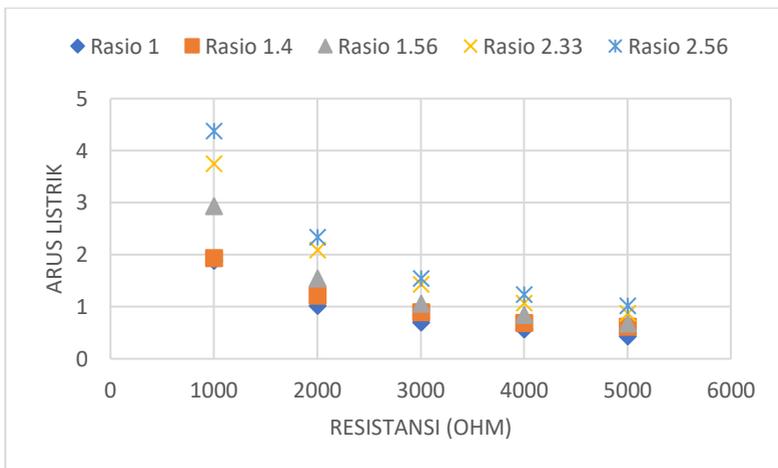


Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Kurva Pembebanan

Gambar 4.9 menunjukkan hubungan tegangan dengan arus arusnya dengan rasio yang berbeda-beda ketika dikenai beban berupa resistor. Pada grafik tersebut menyatakan bahwa semakin besar rasio dari *gearbox* maka tegangan dan arus yang dihasilkan semakin besar pula. Selain itu didapatkan pula grafik hubungan antara resistansi yang diberikan dengan tegangan dan arus listrik seperti pada Gambar 4.10 dan 4.11 berikut:



Gambar 4. 10 Grafik Tegangan Terhadap Resistansi



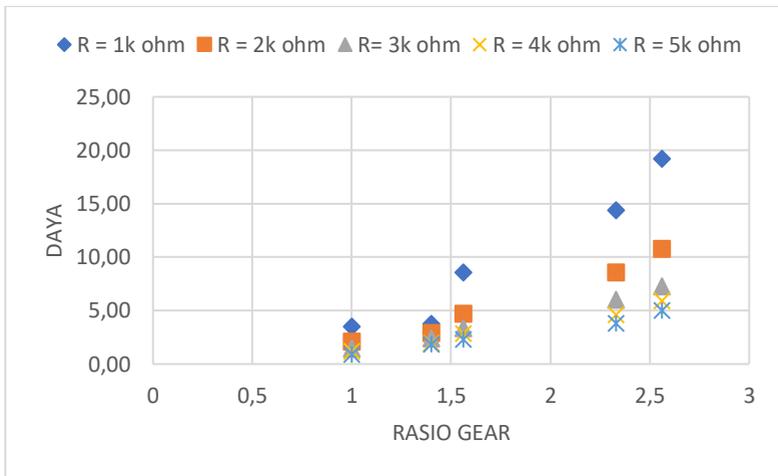
Gambar 4. 11 Grafik Arus Terhadap Resistansi

Gambar 4.10 dan Gambar 4.11 menunjukkan hubungan tegangan dan arus listrik dengan resistansi yang diberikan sebagai beban. Sesuai pada Gambar 4.10 apabila resistansi yang diberikan semakin besar maka tegangan yang dihasilkan pun juga semakin

besar. Sedangkan arus listrik yang dihasilkan berbeda dengan tegangan. Arus listrik yang dihasilkan akan mengalami penurunan ketika dikenai resistansi yang semakin besar. Kedua hubungan tersebut sesuai dengan kaidah hukum ohm.

4.5 Daya Keluaran Listrik

Jumlah energi yang diserap atau dihasilkan pada rangkaian disebut juga dengan daya listrik. Pada tugas akhir ini data daya listrik yang dihasilkan merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus listrik. Perhitungan tersebut dilakukan sesuai pada Persamaan (2.43). Daya yang dicari yaitu pada rasio 1, rasio 1,4, rasio 1,5, rasio 2,3 dan rasio 2,56 dan dengan menggunakan resistansi sebesar 1000 ohm, 2000 ohm, 3000 ohm, 4000 ohm dan 5000 ohm. Daya listrik rata-rata yang didapatkan ditunjukkan pada Lampiran 5 Tabel 5.A. Tabel tersebut menunjukkan besarnya daya listrik pada rangkaian dengan variasi rasio dan hambatannya. Pada data tersebut menunjukkan daya terbesar yaitu sebesar $(19.21 \pm 0,07)$ mwatt yang berada pada PTLMH *Archimedean Screw* dengan *gearbox* rasio 2,56. Sedangkan daya terkecil terjadi pada PTLMH *Archimedean Screw* dengan *gearbox* rasio 1 yaitu sebesar $(0.91 \pm 0,15)$ mwatt. Dari data pada tabel tersebut dapat ditampilkan berupa pada Gambar 4.12 sebagai berikut:



Gambar 4. 12 Grafik Daya Listrik Disetiap Rasionya

Gambar 4.12 merupakan grafik daya yang dihasilkan pada PLTMH *Archimedean Screw*. Grafik tersebut menyatakan hubungan daya yang dihasilkan terhadap rasio *gearbox* yang dipakai. Semakin besar rasio yang dipakai maka semakin besar pula daya yang dihasilkan. Namun berdasarkan grafik tersebut kurva daya dengan resistansi 1000 ohm, 2000 ohm, 3000, 4000 ohm dan 5000 ohm urut dari atas kebawah. Hal tersebut menunjukkan dengan resistansi yang semakin besar maka daya pada rangkaian tersebut semakin rendah. Data secara lengkap dapat dilihat pada lampiran.

4.6 Pengaruh *Gearbox* Pada PLTMH *Archimedean Screw*

Pada tugas akhir ini PLTMH *Archimedean Screw* menggunakan rasio sebagai variasinya. Rasio *gearbox* berpengaruh pada torsi dan putaran hasil konversinya setelah dikopel. Secara tidak langsung ketika berpengaruh pada hasil putaran konversinya maka berpengaruh pula pada keluaran daya yang dihasilkan oleh generator. Generator yang baik dengan

bekerja secara optimal apabila berputar sesuai dengan kebutuhannya. Penentuan rasio perbandingan *gear* tidak hanya berdasarkan pada kecepatan putar turbin dan generator, namun juga berdasarkan torsi turbin dan generator.

Generator yang terhubung dengan turbin dengan bantuan poros dan *gearbox*. Pemanfaatan putaran turbin untuk memutar kumparan magnet dalam generator sehingga terjadi pergerakan elektron yang menyebabkan arus AC. Perputaran itulah yang dapat diatur dengan menggunakan *gearbox*. Dilihat dari data sebelumnya dapat diketahui ketika semakin besar rasio *gear* pada *gearbox* maka torsi yang dihasilkan semakin menurun. Torsi yang dihasilkan dari tekanan air yang mengenai sisi aktif turbin yang dihubungkan dengan poros dan *gearbox* itulah yang menimbulkan putaran pada generator. Apabila torsi yang dihasilkan lebih kecil dari batas minimum untuk memutar generator maka tidak akan terjadi putaran generator sehingga juga tidak ada sumber listrik yang muncul. Namun hal tersebut berlaku sebaliknya untuk RPM, apabila rasio *gear* pada *gearbox* semakin besar maka RPM yang dihasilkan juga semakin besar. Pada generator apabila rotor berputar dengan rpm yang besar maka daya yang dihasilkan juga semakin besar, namun apabila rasio *gear* yang digunakan kecil maka daya listrik yang dihasilkan juga kecil. Hubungan tersebut merupakan prinsip dari generator yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Kedua parameter berupa torsi dan RPM itulah yang dipertimbangkan untuk menentukan generator yang cocok untuk suatu PLTMH.

(Halaman Sengaja Dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dari tugas akhir PLTMH *archimedean screw* yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Rpm dan torsi *gear* pada turbin cenderung sama karena debit air, kemiringan turbin dan bentuk turbin yang sama. Rpm *gear* generator memiliki rpm rata-rata terbesar yaitu $(857,17 \pm 2,49)$ rotasi/menit dengan rasio *gearbox* 2,56. Sedangkan torsi terbesar terjadi pada *gear* generator dengan rasio *gearbox* 1 sebesar $(0,0671 \pm 0,0004)$ Nm.
2. Tegangan listrik terbesar bernilai $(5,16 \pm 0,11)$ volt pada rasio *gearbox* 2,56 tanpa pembebanan. Arus terbesar diperoleh $(4,40 \pm 0,06)$ mA pada rasio *gearbox* 2,56 dengan resistansi 1000 ohm dan. Sedangkan daya terbesar bernilai $(19,208 \pm 1,55)$ mwatt pada rasio *gearbox* 2,56 dengan resistansi 1000 ohm.
3. *Gearbox* dapat mengkonversikan nilai rpm dan torsi dari *gear* yang terhubung generator ke *gear* yang terhubung dengan generator. Apabila rasio hasil bagi gigi *gear* turbin dengan gigi *gear* generator semakin besar maka rpm yang dihasilkan semakin besar sesuai hasil kali rasionya, sedangkan torsi semakin kecil sesuai dengan hasil bagi rasionya. Dengan rpm yang semakin besar maka voltase, arus dan daya listrik juga semakin besar.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, berikut ini beberapa saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya.

1. Penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh perancangan turbin *archimedean screw* dengan spesifikasi tertentu untuk mendapatkan daya maksimum.
2. Penyimpanan energi atau daya yang dihasilkan oleh generator pada sistem PLTMH *archimedean screw* pada penelitian selanjutnya.
3. Reservoir tank atas perlu diberi penambahan ukuran untuk mendapatkan debit air yang lebih besar dengan tujuan mendapatkan debit optimum untuk memutarakan turbin

DAFTAR PUSTAKA

- Budynas, R. G., Nisbett, J. K., & ` . (2011). *Mechanical Engineering Design Ninth Edition*. McGraw-Hill.
- Erinofiardi. (2019). Experimental Study of Screw Turbine Performance based on Different Angle of Inclination. *Energy Procedia, 110*, 8–13.
- Fauziah, N. (2017). *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Dengan Turbin Cross Flow Menggunakan Generator DC Magnet Permanen*.
- IESR. (2019). *Laporan Status Energi Bersih Indonesia: Potensi, kapasitas Terpasang, dan Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan 2019*.
- Kartasapoetra, A. (1991). *Teknologi Pengairan Pertanian Irigasi*. Badan Penerbit Bumi Aksara.
- Kozyn. (2015). Assessment of Archimedes screw power generation potential in Ontario. *Climate Change Technology Conference, 1570095585*.
- Lubitz. (2014). Performance model of Archimedes screw hydro turbines with variable fill level. *J Hydraulic Eng, 140 (10):0*.
- Notosudjono, D. (2002). *Perencanaan PLTMH di Indonesia*. BPPT.
- Nuridin, A. (2016). *Optimalisasi Trasmisi PLTA-Pico Hydro Sebagai Penunjang Konversi Energi Mekanik Menjadi Listrik*.
- P.Creager, W., & D.Justin, J. (1950). *Hydroelectric Handbook*. Second John Wiley & Sons, Inc.

- Penche, C., & Minas, I. (1998). *Layman's Guide Book on How to Develop a Small Hydro Site*. European Small Hydropower Association.
- Prianto, U. (2018). *BPPT: Indonesia Darurat Energi*. Humas BPPT. <https://www.bppt.go.id/teknologi-informasi-energi-dan-material/3296-bppt-indonesia-darurat-energi>
- Rorres, C. (2000). The Turn Of The Screw: Optimal Design Od An Archimedes Screw. *Journal of Hydraulic Engineering*.
- Serway, R. (2004). *Physics for Scientists and Engineers*. Thomson Brooks/Cole. Serway, R. (2004). *Physics for Scientists and Engineers*. Thomson Brooks/Cole.
- SKK Migas. (2016). *Laporan Tahunan SKK Migas*. Kementerian ESDM/SKK Migas.
- Sri, S., & Kuswanto, A. (2013). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTPh) Jantur Tabalas Kalimantan Timur. *Jurnal Teknik Elektro*, 5, 2.
- Subroto, I. (2002). *Perencanaan PLTM di Indonesia*. BPPT.
- Syahputra, T., Syakuri, M., & Sara, I. (2017). Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hydro Dengan Menggunakan Turbin Ulir. *Jurnal Teknik Elektro*, 2, 1.
- Theraja, B. (2005). *A Textbook Of Electrical Technology*. S. Chand & Company ltd.
- Wibawa, U. (2006). *Sumber Daya Energi*. Universitas Brawijaya.
- Williamson, S. J., Stark, B. H., & Booker, J. D. (2011). Low Head Pico Hydro Turbine Selection using a Multi-Criteria Analysis. *Journal of Renewable Energi*.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengukuran RPM Pada PLTMH Archimedean Screw

Tabel 1. A Data Rata-Rata RPM Disetiap Rasio Gear

Rasio Gear	RPM
Rasio 1	343,29 ± 0,85
Rasio 1,4	476,13 ± 1,48
Rasio 1,56	526,39 ± 1,55
Rasio 2,33	792,98 ± 2,13
Rasio 2,56	857,17 ± 2,49

Tabel 1. B Data RPM Disetiap Rasio Gear

Rasio Gearbox									
Rasio 2,56		Rasio 2,33		Rasio 1,56		Rasio 1,4		Rasio 1	
Gear 1	Gear 2	Gear 1	Gear 2	Gear 1	Gear 2	Gear 1	Gear 2	Gear 1	Gear 2
331	845	342	795	342	532	349	487	345	331
329	839	345	800	334	520	339	472	343	329
338	864	334	778	349	541	340	473	342	338
336	856	349	812	339	525	332	464	347	336
332	847	339	789	340	530	345	483	339	332
337	862	347	806	332	517	343	477	349	337
340	867	342	796	335	521	342	474	339	340
332	849	346	802	341	527	347	483	340	332
335	855	337	784	346	536	339	473	347	335
341	870	336	781	335	522	339	474	342	341
328	839	335	780	338	525	338	472	346	328
336	860	342	795	342	532	342	477	341	336
342	874	345	801	345	538	345	483	346	342
332	846	341	795	334	520	342	477	335	332
334	855	346	803	340	530	347	484	342	334
340	870	335	780	341	530	339	474	347	340
332	847	338	786	332	517	349	487	342	332
335	854	339	787	335	520	339	474	346	335
342	874	340	792	338	526	340	475	339	342
332	848	341	792	342	532	332	463	349	332

Lampiran 2 Hasil Pengukuran Torsi Pada PLTMH Archimedean Screw

Tabel 2. A Data Torsi Rata-Rata Disetiap Rasio

Rasio Gear	Torsi (Nm)
Rasio 1	$0,0671 \pm 0,0004$
Rasio 1,4	$0,0480 \pm 0,0002$
Rasio 1,56	$0,0431 \pm 0,0002$
Rasio 2,33	$0,0288 \pm 0,0002$
Rasio 2,56	$0,0263 \pm 0,0002$

Tabel 2. B Data Torsi Disetiap Rasio

Rasio Gearbox									
Rasio 2,56		Rasio 2,33		Rasio 1,56		Rasio 1,4		Rasio 1	
Gear 1	Gear 2	Gear 1	Gear 2	Gear 1	Gear 2	Gear 1	Gear 2	Gear 1	Gear 2
1,87	0,73	1,87	0,80	1,87	1,20	1,87	1,34	1,87	1,87
1,86	0,73	1,79	0,77	1,79	1,15	1,77	1,26	1,85	1,86
1,89	0,74	1,78	0,76	1,78	1,14	1,81	1,29	1,79	1,89
1,77	0,69	1,81	0,78	1,81	1,16	1,87	1,34	1,88	1,77
1,79	0,70	1,87	0,80	1,87	1,20	1,85	1,32	1,89	1,79
1,78	0,70	1,89	0,81	1,77	1,13	1,87	1,34	1,87	1,78
1,81	0,71	1,77	0,76	1,81	1,16	1,87	1,34	1,86	1,81
1,87	0,73	1,79	0,77	1,87	1,20	1,86	1,33	1,81	1,87
1,85	0,72	1,89	0,81	1,85	1,19	1,78	1,27	1,87	1,85
1,79	0,70	1,87	0,80	1,87	1,20	1,81	1,29	1,85	1,79
1,88	0,73	1,86	0,80	1,87	1,20	1,87	1,34	1,87	1,88
1,89	0,74	1,87	0,80	1,86	1,19	1,89	1,35	1,89	1,89
1,87	0,73	1,85	0,79	1,89	1,21	1,77	1,26	1,87	1,87
1,86	0,73	1,87	0,80	1,79	1,15	1,87	1,34	1,86	1,86
1,89	0,74	1,86	0,80	1,78	1,14	1,86	1,33	1,9	1,89
1,77	0,69	1,89	0,81	1,81	1,16	1,89	1,35	1,89	1,77
1,81	0,71	1,87	0,80	1,87	1,20	1,86	1,33	1,88	1,81
1,87	0,73	1,87	0,80	1,89	1,21	1,89	1,35	1,87	1,87
1,85	0,72	1,86	0,80	1,77	1,13	1,77	1,26	1,86	1,85
1,87	0,73	1,89	0,81	1,79	1,15	1,81	1,29	1,9	1,87

Lampiran 3 Data Tegangan Tanpa Beban

Tabel 3. A Data Tegangan Rata-Rata Setiap Rasionya

Rasio Gear	Tegangan (Volt)
Rasio 1	$2,27 \pm 0,04$
Rasio 1,4	$3,10 \pm 0,05$
Rasio 1,56	$3,66 \pm 0,06$
Rasio 2,33	$4,43 \pm 0,06$
Rasio 2,56	$5,16 \pm 0,11$

Tabel 3. B Data Tegangan Setiap Rasionya

Rasio Gearbox				
Rasio 2,56	Rasio 2,33	Rasio 1,56	Rasio 1,4	Rasio 1
5,18	4,38	3,71	3,01	2,28
5,25	4,44	3,8	3,11	2,31
5,12	4,52	3,68	3,1	2,24
5,26	4,39	3,69	3,06	2,31
4,98	4,43	3,65	3,12	2,3
5,15	4,51	3,58	3,09	2,23
5,22	4,31	3,54	3,14	2,22
5,21	4,38	3,61	3,11	2,3
5,27	4,46	3,66	3,09	2,24
4,95	4,37	3,58	3,04	2,28
5,21	4,47	3,69	3,16	2,25
5,13	4,5	3,7	3,11	2,24
5,29	4,42	3,72	3,03	2,27
5,12	4,48	3,64	3,14	2,22
5,17	4,4	3,66	3,1	2,28
5,19	4,38	3,71	3,13	2,26
5,14	4,39	3,7	3,17	2,31
4,91	4,48	3,58	3,12	2,24
5,29	4,51	3,65	3,01	2,28
5,22	4,45	3,69	3,06	2,37

Lampiran 4 Data Tegangan dan Arus Listrik dengan Pembebanan.

Tabel 4. A Data Rata-Rata Pengukuran Tegangan dan Arus Listrik dengan Pembebanan

Rasio	R = 1k ohm		R = 2k ohm		R= 3k ohm		R = 4k ohm		R = 5k ohm	
	V (Volt)	I (mA)								
1	1.87 ± 0,04	1.88 ± 0,04	2.07 ± 0,05	1.01 ± 0,03	2.10 ± 0,03	0.70 ± 0,01	2.09 ± 0,04	0.56 ± 0,01	2.11 ± 0,05	0.43 ± 0,01
1.4	1.93 ± 0,05	1.93 ± 0,05	2.39 ± 0,02	1.21 ± 0,01	2.70 ± 0,04	0.89 ± 0,01	2.80 ± 0,08	0.69 ± 0,02	3.01 ± 0,05	0.61 ± 0,01
1.56	2.92 ± 0,07	2.92 ± 0,07	3.07 ± 0,03	1.54 ± 0,01	3.18 ± 0,06	1.06 ± 0,02	3.36 ± 0,05	0.84 ± 0,04	3.43 ± 0,05	0.67 ± 0,01
2.33	3.84 ± 0,05	3.74 ± 0,05	4.10 ± 0,03	2.09 ± 0,02	4.21 ± 0,03	1.42 ± 0,01	4.31 ± 0,03	1.07 ± 0,01	4.37 ± 0,03	0.87 ± 0,01
2.56	4.40 ± 0,06	4.37 ± 0,06	4.62 ± 0,04	2.33 ± 0,05	4.70 ± 0,03	1.54 ± 0,05	4.81 ± 0,03	1.23 ± 0,03	4.98 ± 0,03	1.01 ± 0,03

Tabel 4. B Data Pengukuran Tegangan dan Arus Listrik dengan Pembebanan

Rasio Gearbox	R = 1000Ω		R = 2000Ω		R = 3000Ω		R = 4000Ω		R = 5000Ω	
	V (V)	I (mA)								
Rasio 2,56	4.1	4.15	4.61	2.31	4.71	1.61	4.75	1.17	4.91	0.91
	4.22	4.27	4.66	2.40	4.62	1.51	4.88	1.25	5.14	1.11
	4.28	4.21	4.65	2.33	4.66	1.62	4.89	1.28	5.01	1.01
	4.41	4.35	4.58	2.32	4.65	1.52	4.91	1.19	4.98	1.09
	4.45	4.35	4.55	2.28	4.74	1.56	4.75	1.22	5.04	1.03
	4.51	4.55	4.59	2.30	4.75	1.53	4.82	1.27	5.02	0.93
	4.38	4.43	4.65	2.33	4.71	1.54	4.84	1.24	5.11	0.98

	4.44	4.49	4.55	2.28	4.77	1.49	4.88	1.28	4.89	0.94
	4.48	4.4	4.71	2.40	4.72	1.47	4.81	1.29	5.04	1.12
	4.41	4.39	4.55	2.28	4.78	1.44	4.78	1.18	4.89	1.02
	4.5	4.53	4.58	2.30	4.65	1.59	4.75	1.17	5.04	1.01
	4.49	4.35	4.64	2.33	4.67	1.61	4.77	1.26	4.89	1.11
	4.38	4.33	4.67	2.34	4.67	1.64	4.75	1.17	4.91	1.01
	4.4	4.4	4.7	2.33	4.65	1.59	4.88	1.25	5.11	1.09
	4.44	4.41	4.57	2.29	4.72	1.61	4.78	1.28	4.91	0.98
	4.42	4.38	4.51	2.26	4.74	1.51	4.77	1.19	4.88	0.93
	4.29	4.32	4.63	2.41	4.69	1.47	4.88	1.28	5.04	0.98
	4.45	4.33	4.68	2.44	4.66	1.44	4.75	1.29	4.89	0.94
	4.47	4.42	4.68	2.42	4.71	1.56	4.78	1.18	5.11	1.04
	4.39	4.34	4.64	2.35	4.7	1.57	4.81	1.20	4.87	0.95
	3.85	3.81	4.10	2.10	4.21	1.41	4.33	1.10	4.35	0.84
	3.99	3.82	4.13	2.15	4.23	1.48	4.37	1.20	4.36	0.88
3.87	3.83	4.05	2.20	4.20	1.48	4.30	1.08	4.35	0.85	
3.89	3.88	4.14	2.05	4.25	1.40	4.31	1.09	4.34	0.90	
3.78	3.78	4.23	2.06	4.22	1.42	3.98	1.07	4.35	0.89	
3.67	3.85	4.10	2.08	4.19	1.39	4.33	1.12	4.40	0.84	
3.96	3.82	4.12	2.06	4.26	1.38	4.32	1.16	4.42	0.91	
3.88	3.84	4.08	2.09	4.22	1.45	4.29	0.98	4.33	0.90	
3.84	3.89	4.10	2.01	4.21	1.40	4.38	1.01	4.38	0.86	
3.76	3.86	4.07	2.10	4.19	1.41	4.33	1.12	4.36	0.88	
3.96	3.82	4.05	2.01	4.22	1.41	4.37	0.97	4.38	0.82	
3.78	3.85	4.13	2.07	4.21	1.38	4.32	1.05	4.40	0.83	
3.84	3.84	4.10	2.10	4.22	1.45	4.29	1.07	4.34	0.88	
3.78	3.78	4.05	2.15	4.19	1.48	4.33	1.04	4.36	0.90	
3.84	3.83	4.13	2.20	4.20	1.48	4.36	1.16	4.40	0.89	
3.85	3.85	4.08	2.05	4.19	1.40	4.29	0.98	4.38	0.84	
3.78	3.78	4.05	2.06	4.20	1.42	4.33	1.01	4.36	0.91	
3.87	3.87	4.10	2.09	4.21	1.41	4.32	1.12	4.38	0.90	
3.85	2.88	4.13	2.01	4.22	1.41	4.33	0.97	4.40	0.85	
3.84	2.89	4.05	2.09	4.21	1.38	4.37	1.09	4.36	0.90	
	2.95	2.95	3.10	1.55	3.29	1.10	3.34	0.84	3.45	0.67
	2.89	2.89	3.11	1.56	3.18	1.06	3.30	0.83	3.39	0.69
	2.94	2.94	3.13	1.57	3.14	1.05	3.35	0.84	3.47	0.66
	2.91	2.91	3.09	1.55	3.12	1.04	3.33	0.83	3.48	0.68
	2.91	2.91	2.94	1.47	3.22	1.07	3.46	0.87	3.37	0.71
	2.95	2.95	2.99	1.50	3.29	1.10	3.33	0.83	3.49	0.65
	2.82	2.82	3.20	1.60	3.20	1.07	3.44	0.86	3.42	0.66
	2.91	2.91	3.12	1.56	3.19	1.06	3.41	0.85	3.48	0.64
	2.87	2.87	3.06	1.53	3.21	1.07	3.30	0.83	3.37	0.66
	2.98	2.98	3.20	1.60	3.22	1.07	3.35	0.84	3.36	0.69
	2.93	2.93	2.99	1.50	2.99	1.00	3.29	0.82	3.35	0.65
	2.94	2.94	3.12	1.56	3.18	1.06	3.39	0.85	3.43	0.69
	2.95	2.95	2.99	1.50	3.21	1.07	3.41	0.85	3.45	0.68
	2.97	2.97	2.94	1.47	3.12	1.04	3.36	0.84	3.42	0.70
	2.91	2.91	3.12	1.56	3.21	1.07	3.41	0.85	3.36	0.62
	2.92	2.92	3.09	1.55	3.18	1.06	3.35	0.84	3.49	0.68
	2.95	2.95	2.94	1.47	2.99	1.00	3.34	0.84	3.45	0.69
	2.93	2.93	3.09	1.55	3.22	1.07	3.41	0.85	3.49	0.69
2.91	2.91	3.11	1.56	3.18	1.06	3.35	0.84	3.36	0.66	
2.95	2.95	3.12	1.56	3.21	1.07	3.34	0.84	3.45	0.68	
Rasio 1,4	1.94	1.95	2.39	1.22	2.61	0.88	2.71	0.68	2.92	0.55

	1.92	1.98	2.36	1.19	2.74	0.99	2.74	0.69	2.98	0.61
	1.89	1.93	2.22	1.15	2.88	0.96	2.86	0.70	2.95	0.62
	1.91	1.89	2.36	1.09	2.85	0.88	2.85	0.69	3.01	0.65
	1.97	1.87	2.46	1.29	2.76	0.82	2.78	0.68	3.08	0.57
	1.98	1.95	2.44	1.23	2.81	0.94	2.79	0.65	3.05	0.67
	1.93	1.99	2.39	1.19	2.79	0.87	2.84	0.68	2.99	0.65
	1.88	1.94	2.43	1.21	2.81	0.86	2.85	0.69	2.96	0.59
	1.87	1.85	2.37	1.22	2.89	0.82	2.83	0.70	3.10	0.62
	2.00	1.89	2.44	1.17	2.62	0.89	2.79	0.70	3.05	0.65
	2.06	1.89	2.39	1.20	2.61	0.86	2.78	0.70	2.99	0.57
	1.96	2.01	2.36	1.29	2.64	0.92	2.74	0.69	2.97	0.59
	1.94	2.06	2.37	1.19	2.66	0.83	2.83	0.69	3.01	0.60
	1.89	1.98	2.43	1.23	2.62	0.88	2.85	0.70	3.05	0.61
	1.94	1.99	2.36	1.19	2.61	0.82	2.81	0.69	2.99	0.60
	1.91	1.91	2.37	1.21	2.64	0.94	2.79	0.65	3.01	0.60
	1.89	1.89	2.44	1.20	2.66	0.87	2.83	0.71	3.05	0.61
	1.94	1.89	2.36	1.19	2.61	0.88	2.78	0.70	3.01	0.62
	1.91	1.87	2.39	1.22	2.64	0.99	2.83	0.71	3.07	0.65
	1.94	1.95	2.44	1.24	2.61	0.96	2.79	0.71	2.99	0.60
Rasio 1	1.83	1.88	2.06	1.09	2.10	0.66	2.11	0.54	2.09	0.42
	1.77	1.79	2.01	1.01	2.08	0.71	2.12	0.57	2.12	0.41
	1.86	1.82	2.05	1.04	2.09	0.67	2.09	0.49	2.19	0.44
	1.85	1.88	2.00	0.98	2.11	0.64	2.07	0.61	2.11	0.49
	1.89	1.89	2.02	1.05	2.12	0.69	2.13	0.54	2.15	0.47
	1.85	1.91	2.09	1.01	2.15	0.72	2.08	0.57	2.13	0.39
	1.83	1.85	2.10	0.93	2.03	0.78	2.00	0.55	2.08	0.41
	2.00	1.97	2.13	1.05	2.07	0.69	2.10	0.59	2.16	0.40
	1.97	1.88	2.05	1.08	2.11	0.61	2.09	0.58	2.10	0.47
	1.83	1.84	2.04	1.10	2.15	0.79	2.11	0.55	2.11	0.41
	1.97	1.94	2.06	0.99	2.07	0.71	2.07	0.51	2.08	0.42
	1.89	2.01	2.10	0.94	2.08	0.73	2.13	0.59	2.11	0.42
	1.85	1.82	2.13	0.98	2.06	0.69	2.09	0.56	2.13	0.44
	1.83	1.88	2.06	1.01	2.07	0.64	2.07	0.52	2.12	0.42
	1.89	1.89	2.04	1.04	2.15	0.69	2.11	0.57	2.08	0.49
	1.85	1.91	2.10	0.98	2.11	0.73	2.09	0.55	2.13	0.47
	1.83	1.88	2.04	1.05	2.08	0.78	2.13	0.59	2.07	0.39
	1.97	1.79	2.06	1.01	2.15	0.69	2.07	0.58	2.11	0.42
	1.85	1.82	2.10	0.93	2.07	0.61	2.11	0.59	2.08	0.41
	1.83	1.88	2.06	0.99	2.11	0.72	2.11	0.56	2.11	0.44

Lampiran 5 Data Pengukuran Daya Listrik

Tabel 5. A Data Rata-Rata Daya Listrik

	R = 1k ohm	R = 2k ohm	R= 3k ohm	R = 4k ohm	R = 5k ohm
Rasio 1	3,512 ± 0,272	2,091 ± 0,176	1,463 ± 0,075	1,173 ± 0,066	0,911 ± 0,069
Rasio 1,4	3,739 ± 0,269	2,879 ± 0,063	2,412 ± 0,078	1,930 ± 0,117	1,842 ± 0,061
Rasio 1,56	8,552 ± 0,297	4,720 ± 0,062	3,365 ± 0,084	2,827 ± 0,145	2,304 ± 0,046
Rasio 2,33	14,370 ± 0,129	8,551 ± 0,054	5,988 ± 0,040	4,612 ± 0,025	3,817 ± 0,024
Rasio 2,56	19,208 ± 0,155	10,776 ± 0,109	7,253 ± 0,110	5,928 ± 0,066	5,028 ± 0,067

Lampiran 6 Rumus Perhitungan nilai error

$$\Delta RPM = \frac{\partial RPM}{\partial Rotasi} \Delta Rotasi + \frac{\partial RPM}{\partial t} \Delta t$$

$$\Delta Rotasi = \sqrt{\frac{\sum |(rot - \bar{rot})^2|}{N}}$$

$$\Delta t = \sqrt{\frac{\sum |(t - \bar{t})^2|}{N}}$$

$$\Delta \tau = \frac{\partial \tau}{\partial r} \Delta r + \frac{\partial \tau}{\partial k} \Delta k + \frac{\partial \tau}{\partial x} \Delta x$$

$$\Delta r = \sqrt{\frac{\sum |(r - \bar{r})^2|}{N}}$$

$$\Delta k = \sqrt{\frac{\sum |(k - \bar{k})^2|}{N}}$$

$$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum |(x - \bar{x})^2|}{N}}$$

$$\Delta P = \frac{\partial P}{\partial V} \Delta V + \frac{\partial P}{\partial I} \Delta I$$

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum |(v - \bar{v})^2|}{N}}$$

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum |(I - \bar{I})^2|}{N}}$$

BIODATA PENULIS



Bachtiar Yusuf anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Tugimin Eko Anta Ma'ruf dan Rупingatin. Penulis lahir di Kediri pada tanggal 3 Juni 1998, Pendidikan formal penulis ditempuh di SD Negeri Sambu I, SMP Negeri 1 Ngadiluwih, dan SMA Negeri 1 Boyolangu Tulungagung, Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan formal di Program Studi Sarjana Departemen Fisika Fakultas Sains dan Analitika Data Institut Teknologi Sepuluh

Nopember. Selama perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi dan kepanitiaan. Penulis aktif sebagai Ketua Pelaksana Apresiasi Seni Unit Kegiatan Tari dan Karawitan ITS 2017/2018, Koor Pendampingan Rangkaian kaderisasi Himpunan Mahasiswa Fisika ITS 2017/2018, Kepala Departemen Event *American Association of Petroleum Geologists* Institut Teknologi Sepuluh Nopember - *Student Chapter* 2018, Staff Kementrian Perekonomian Badan Esekutif Mahasiswa ITS 2018 dan Kepala Departemen Kewirausahaan Himpunan Mahasiswa Fisika ITS 2018/2019. Selain aktif dalam organisasi dan kepanitiaan, penulis juga mengikuti perlombaan di beberapa bidang, Capaian prestasi penulis antara lain tercatat mendapatkan *Gold Medal Japan Design & Invention Expo (JDIE) 2020*, Semifinalis Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional MOCE Universitas Bengkulu 2020 dan Juara 1 Pendanaan Bisnis *ITS Youth Technopreneurship* 2019. Apabila pembaca ingin memberikan kritik dan saran serta diskusi lebih

lanjut mengenai Tugas Akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email bachtiaryus77@gmail.com atau nomor telepon 085687816164.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)