



TUGAS AKHIR – SF 184801

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MIKROHIDRO DENGAN VARIASI SUDUT ELEVASI
BERBASIS TURBIN ULIR ARCHIMEDES**

**Afif Mahrus Kurnia Putra
NRP 01111640000078**

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

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



TUGAS AKHIR – SF 184801

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA MIKROHIDRO DENGAN VARIASI SUDUT
ELEVASI BERBASIS TURBIN ULIR ARCHIMEDES**

Afif Mahrus Kurnia Putra
NRP 01111640000078

Dosen Pembimbing:
Drs. Bachtera Indarto, M.Si
M. Arief Bustomi, M.Si

Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



**FINAL PROJECT – SF 184801
DESIGN OF MICROHYDRO POWER PLANT WITH
ANGLE OF ELEVATION VARIATION BASED ON
ARCHIMEDEAN SCREW TURBINE**

Afif Mahrus Kurnia Putra
NRP 01111640000078

Advisor:

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

Departement of Physics
Faculty of Sciences and Data Analytics
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DENGAN VARIASI SUDUT ELEVASI BERBASIS TURBIN ULIR ARCHIMEDES

Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah

Tugas Akhir Program Strata I

Departemen Fisika,

Fakultas Sains dan Analitika Data

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Oleh:

AFIF MAHRUS KURNIA PUTRA

NRP 0111164000078

Disetujui oleh tim pembimbing Tugas Akhir

Dosen Pembimbing I

Drs. Bachtera Indarto, M.Si

NIP. 19610404 19102.1.002

(.....)

Dosen Pembimbing II

M. Arief Bustomi, M.Si.

NIP. 19730418 199802.1.001*

(.....)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DENGAN VARIASI SUDUT ELEVASI BERBASIS TURBIN ULIR ARCHIMEDES

Nama : Afif Mahrus Kurnia Putra
NRP : 01111640000078
Departemen : Fisika, Fakultas Sains dan Analitika
Data ITS
Pembimbing I : Drs. Bachtera Indarto, M.Si
Pembimbing II : M. Arief Bustomi, M.Si

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh). Berbasis Turbin Ulir Arhimedes menggunakan turbin 2 sudu dengan variasi sudut pada kemiringan 20° , 25° , 30° , 35° , dan 40° , debit yang tetap sebesar 2,64 l/s, dan generator bertipe BLDC. Nilai torsi dan rpm maksimum dari penelitian ini terdapat pada sudut 30° dengan nilai secara berurutan sebesar $(0,0237 \pm 0,0001)$ Nm dan $(839,85 \pm 2,36)$ rpm. Nilai tegangan, arus, dan daya maksimum dari penelitian ini terdapat pada sudut 30° dengan nilai secara berurutan sebesar $(5,44 \pm 0,01)$ V pada pembebanan 5k Ohm, $(5,34 \pm 0,01)$ mA, dan $(27,873 \pm 0,104)$ mW dengan pembebanan 1k Ohm. Dapat disimpulkan bahwa kurva yang didapatkan cenderung parabolik pada nilai Torsi, rpm, tegangan, arus, dan daya dengan puncaknya pada sudut 30° . Kemudian semakin besar sudut, efisiensi dari turbin semakin berkurang.

Kata kunci : Air, PLTMh, Sudut, Turbin Ulir Archimedes,

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DESIGN OF MICROHYDRO POWER PLANT WITH ANGLE OF ELEVATION VARIATION BASED ON ARCHIMEDEAN SCREW TURBINE

Name : Afif Mahrus Kurnia Putra
NRP : 01111640000078
Departemen : Physics, Faculty of Sciences and Data
Analytics ITS
Advisor I : Drs. Bachtera Indarto, M.Si
Advisor II : M. Arief Bustomi, M.Si

Abstract

Microhydro powerplant using 2 Blade of Archimedes Screw Turbine with variation of angle 20° , 25° , 30° , 35° , and 40° . constant flowrate of 2,64 l/s, and BLDC generator. Maximum torque and rpm of this experiment is $(0,0237 \pm 0,0001)$ N.m and $(839,85 \pm 2,36)$ rpm. Maximum voltage, current, and power of this experiment is $(5,449 \pm 0,01)$ V with the 5k Ohm load resistance, $(5,341 \pm 0,01)$ mA, and $(27,873 \pm 0,104)$ mW with the 1k Ohm load resistance. It can be concluded the curve is inclined to parabolic in torque, rpm, voltage, current, and power. The increasing value of angle affect efficiency decreased.

Key words : Angle, Archimedes Screw Turbine, Microhydro Powerplant, Water,

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, penulis panjatkan puja dan puji syukur atas kehadiran-Nya, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul:

" RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DENGAN VARIASI SUDUT ELEVASI BERBASIS TURBIN ULIR ARCHIMEDES"

Penulis mempersembahkan laporan tugas akhir ini kepada Indonesia khususnya di bidang teknologi sains. Penulisan laporan tugas akhir ini telah penulis susun dengan maksimal dan mendapat bantuan dari berbagai pihak sehingga dapat memperlancar pembuatan laporan tugas akhir ini. Untuk itu penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, baik dalam dukungan moral, materil dan pengertiannya dalam pembuatan tugas akhir ini:

1. Allah SWT atas rahmat dan karunia yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Kedua orang tua, beserta adik, yang telah memberikan segala yang terbaik kepada penulis. Atas doa, dukungan moral, dan kepercayaan yang telah diberikan.
3. Bapak Drs. Bachtera Indarto, M.Si dan Bapak M.Arief Bustomi, M.Si. sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membagi pengalaman, wawasan, dan memberikan bimbingan terbaiknya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
4. Bapak Dr. Gatut Yudoyono, MT. selaku Kepala Departemen dan seluruh Dosen Departemen Fisika FSAD ITS yang telah memberikan kemudahan sarana kepada

penulis selama kuliah sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.

5. Teman-teman SMA penulis yang telah memberikan hiburan selama pengerjaan Tugas Akhir ini
6. Teman-teman Sekelompok PLTMH Turbin Ulir Archimedes yang telah membantu dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari atas keterbatasan ilmu pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki, oleh karena itu penulis akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, baik dibidang penelitian maupun lainnya.

Surabaya, 30 Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	I
COVER PAGE	III
LEMBAR PENGESAHAN	V
ABSTRAK	VII
ABSTRACT	IX
KATA PENGANTAR.....	XI
DAFTAR ISI.....	XIII
DAFTAR GAMBAR.....	XV
DAFTAR TABEL	XVII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	2
1.3 TUJUAN	3
1.4 BATASAN MASALAH	3
1.5 MANFAAT.....	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 TURBIN ULIR ARCHIMEDES	5
2.2 PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR	6
2.3 KONVERSI ENERGI.....	7
2.4 KETINGGIAN AIR DIANTARA DUA HELIKS	8
2.5 TORSI	13
2.6 KECEPATAN SUDUT.....	15
2.7 TEKANAN HIDROSTATIK.....	15
2.8 RANGKAIAN ARUS SEARAH.....	16

2.9	DAYA LISTRIK	16
2.10	EFISIENSI	17
2.11	GENERATOR	17
BAB III METODOLOGI		21
3.1	TAHAP-TAHAP PENELITIAN	21
3.2	PERANCANGAN ALAT	22
3.3	PENGUJIAN ALAT	23
3.4	PENGAMBILAN DATA	25
3.4.1	Pengukuran torsi.....	25
3.4.2	Pengukuran rpm	25
3.4.3	Pengukuran tegangan dan arus	25
3.5	PENGOLAHAN DATA	26
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		27
4.1	REALISASI PERANCANGAN	27
4.2	TORSI	27
4.3	RPM.....	29
4.4	TEGANGAN DAN ARUS	30
4.5	EFISIENSI YANG DIHASILKAN.....	33
4.6	DAYA LISTRIK	34
4.7	HUBUNGAN TORSI, RPM, DAN DAYA LISTRIK	37
4.8	PENGARUH SUDUT.....	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		41
5.1	KESIMPULAN	41
5.2	SARAN	41
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN.....		45
BIODATA PENULIS.....		54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sketsa Turbin Ulir Archimedes dengan 2 bilah	5
Gambar 2.2 Gambar ideal dari Turbin Ulir Archimedes	7
Gambar 2.3 Gaya-gaya pada turbin.....	8
Gambar 2.4. Permukaan Air didalam <i>Bucket</i>	9
Gambar 2.5. Sistem Koordinat Turbin Ulir Archimedes	10
Gambar 2.6. Skema pengambilan data torsi.....	14
Gambar 2.7. Generator	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	21
Gambar 3.2 Skema alat PLTMh.....	22
Gambar 3.3 Desain Turbin Ulir Archimedes	23
Gambar 3.4 Rancang bangun PLTMh.....	24
Gambar 4.2 Grafik hubungan RPM Turbin terhadap Sudut.....	29
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara Tegangan dengan Sudut....	30
Gambar 4.4. Grafik Perbandingan Pembebanan PLTMh pada tiap variasi sudut.....	33
Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara Efisiensi terhadap Sudut ..	34
Gambar 4.6 Grafik hubungan daya dengan beban pada tiap variasi sudut	37

“Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Spesifikasi PLTMh berbasis Turbin Ulir Archimedes.....	40
---	----

“Halaman ini sengaja dikosongkan“

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi yang memadai sangatlah vital bagi kehidupan modern. Energi dibutuhkan dalam berbagai macam proses mulai dari pemanasan atau pendinginan, pencahayaan, hingga untuk kebutuhan transportasi. Sekarang, kebanyakan energi berasal dari bahan bakar fosil. Sumber energi primer dari bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, dan gas digunakan baik secara langsung maupun tidak langsung menjadi energi listrik. (Jenkins and Ekanayake, 2017)

Selama 25 tahun belakangan, kebutuhan akan energi, yang kebanyakan berasal dari bahan bakar fosil, bertambah sekitar 2,5 % setiap tahunnya. Pertambahan dari konsumsi ini tidak akan berkelanjutan karena cadangan dari bahan bakar fosil akan menipis, dan yang paling utama, yaitu dampak terhadap lingkungan dari pembakaran bahan bakar fosil. Cadangan dari batu bara, minyak, dan gas yang sekarang digunakan telah ditetapkan selama jutaan tahun, dan telah dieksploitasi sekurang-kurangnya selama 3 abad. (Jenkins and Ekanayake, 2017)

Di Indonesia sendiri, pasokan energi yang berasal dari bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, dan gas secara berurutan sebesar 483.336.000 BOE, 569.024,765 BOE, dan 288.310.815 BOE pada tahun 2018, meningkat bila dibandingkan dengan pasokan ada tahun 2008 yaitu sebesar 224.587.567 BOE untuk batu bara, 476.595.356 BOOE untuk minyak, dan 236.001.544 BOE untuk gas. Dengan nilai sebanyak itu, pasokan energi dari bahan bakar fosil berjumlah 87,40 % dari total pasokan sebesar 1.533.807.744 BOE, yang berarti pasokan energi yang berasal dari energi terbarukan hanya sebesar 12,60 %.

Dimana hanya 0,026 %-nya yang berasal dari tenaga air (*hydropower*). (Kementrian ESDM, 2019)

Padahal, potensi dari tenaga air, mini hidro maupun mikro hidro bila ditotal mencapai 115.464 MW atau sekitar 115,4 GW, sedangkan kapasitas pembangkitan yang berasal dari tenaga air, mini hidro, maupun mikro hidro per tahun 2018 baru sekitar 5,4 GW. Dan berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, Pemerintah menargetkan porsi energi baru dan energi terbarukan terus meningkat menjadi paling sedikit 23% pada tahun 2025. (Kementrian ESDM, 2019)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro atau yang biasa disebut dengan PLTMH memanfaatkan energi air yang terdapat pada air terjun, dan diubah menjadi daya yang berguna. Prinsip kerja dari PLTMH ini adalah menaikkan tinggi muka air dengan sebuah penghalang yang disebut bendung (*weir*). Kemudian air diarahkan melalui saluran pembawa (*channel*). Aliran air kemudian diperlambat dan ditampung di bak penenang, dan air akan menuju pipa pesat yang bertekanan dan mengalirkan air ke rumah pembangkit (*power house*) yang terdapat turbin pengubah tenaga didalamnya, untuk mengubah energi potensial dari air menjadi energi listrik. (Kementrian ESDM, 2019)

Archimedes Screw Turbine atau selanjutnya dapat disebut Turbin Ulir Archimedes digunakan karena memiliki beberapa keunggulan seperti terbukti desainnya bebas masalah dan kemampuannya untuk mengalirkan air limbah dan air penuh puing-puing (*debris-laden*) secara efektif. Selain itu, pemasangan dari turbin jenis ini juga ramah terhadap ekosistem air sehingga dampak terhadap ekosistem air dapat di minimalisir. (Rorres, 2000)

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Erinofiardi et al., 2017), Turbin Ulir Archimedes mendapatkan efisiensi maksimum pada sudut inklinasi 22° yaitu sebesar 49 %, akan tetapi hal ini masih perlu dipelajari lebih lanjut karena pada penelitian tersebut

Turbin Ulir Archimedes yang digunakan adalah Turbin dengan jenis 1 blade dengan variasi sudut inklinasi 22° , 30° , dan 40° .

Maka dari itu, penulis melakukan penelitian yang bertujuan untuk menentukan desain optimum dari Turbin Ulir Archimedes untuk keperluan pembangkitan energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dengan variasi sudut elevasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dibahas sebelumnya, penulis melakukan beberapa analisa kinerja dengan permasalahan yang ditemukan sebagai berikut:

1. Bagaimana cara membuat PLTMh berbasis Turbin Ulir Archimedes dengan sudut optimum?
2. Berapa rpm, torsi, tegangan, arus, daya, dan efisiensi maksimum dengan variasi sudut?
3. Bagaimana pengaruh dari sudut elevasi terhadap rpm, torsi, daya, dan efisiensi?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari Tugas Akhir ini adalah untuk:

1. Membuat rancang bangun PLTMh berbasis Turbin Ulir Archimedes dengan sudut optimum.
2. Menganalisa rpm, torsi, tegangan, arus, dan efisiensi maksimum dengan variasi sudut yang dihasilkan.
3. Mengetahui pengaruh dari sudut elevasi terhadap rpm, torsi, tegangan, arus, daya, dan efisiensi .

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Aliran air yang melalui turbin dianggap laminar.
2. Debit aliran air yang digunakan yakni: 2,64 liter/detik.

3. Motor yang digunakan sebagai generator pada penelitian ini adalah tipe BLDC dengan rasio gir 2,5:1.
4. Sudut elevasi yang diteliti pada penelitian ini adalah 20° , 25° , 30° , 35° , dan 40° .
5. Penelitian hanya dilakukan sampai tahap rancang bangun.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dalam Tugas Akhir ini adalah dapat menghasilkan sebuah alat Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro yang mampu menghasilkan tenaga listrik dengan bahan bakar air yang berbasis Turbin Ulir Archimedes dengan sudut yang optimum

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini, tersusun dalam lima bab yaitu: Bab 1: Pendahuluan, berisi latar belakang masalah, maksud dan tujuan, perumusan masalah dan manfaat tugas akhir. Bab 2: Tinjauan Pustaka, berisi tentang kajian pustaka yang digunakan pada tugas akhir. Bab 3: Metodologi Penelitian, berisi tentang metode dan tahap pengambilan data. Bab 4: Analisis Data dan Pembahasan, berupa hasil data yang diperoleh, serta analisis yang dilakukan. Bab 5: Kesimpulan, berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

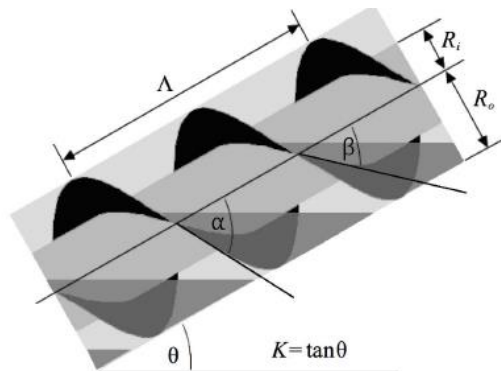
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Ulir Archimedes

Archimedes Screw Turbine atau selanjutnya dapat disebut Turbin Ulir Archimedes adalah salah satu model turbin yang merujuk pada desain yang dibuat oleh Archimedes, yang desainnya diperjelas oleh Vitruvius pada buku *De Architectura*. (Rorres, 2000)

Bentuk desain dari Turbin Ulir Archimedes dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Sketsa Turbin Ulir Archimedes dengan 2 bilah (*blade*) Sumber: (Rorres, C, 2000)

Gambar 2.1 menunjukkan salah satu desain dari Turbin Ulir Archimedes. Prinsip kerja dari Turbin Ulir Archimedes ini adalah ketika wadah pada turbin yang terbentuk dari 2 bilah yang saling berdampingan, menggerakkan turbin karena adanya putaran pada wadah tersebut. Turbin Ulir Archimedes memiliki parameter eksternal yaitu adalah R_o (Jari-jari luar turbin (m)), L (Panjang total dari turbin (m)), dan K (kemiringan turbin (\tan

θ), dan juga parameter internal yang berupa R_i (Jari-jari dalam turbin (m)), Λ (*Pitch* atau periode dari satu bilah (m)), dan N (jumlah bilah) (Rorres, 2000).

Parameter-Parameter tersebut sangat penting untuk membuat rancang bangun dari Turbin Ulir Archimedes itu sendiri. Rorres, (2000) dalam jurnal penelitiannya yang berjudul '*The Turn of The Screw : Optimal Design of an Archimedean Screw*' telah menghitung parameter-parameter tersebut agar rancang bangun dari Turbin Ulir Archimedes optimal. Jari-jari luar dan jari-jari dalam dihitung sebagai rasio yang selanjutnya disebut rasio jari-jari dengan simbol ρ seperti pada Persamaan (2.1).

$$\rho = \frac{R_i}{R_o} \quad (2.1)$$

Parameter selanjutnya adalah *pitch ratio* yang menunjukkan rasio dari ulir secara periodik yang dapat dituliskan dalam Persamaan (2.2).

$$\lambda = \frac{K\Lambda}{2\pi R_o} \quad (2.2)$$

Dengan K adalah ukuran kemiringan dari turbin yang bernilai $\tan\theta$, Λ adalah jarak antar bilah dalam satu frekuensi, dan R_o adalah jari-jari luar dari turbin

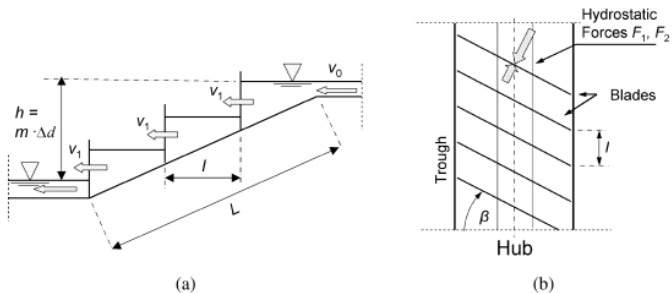
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit Listrik Tenaga Air atau dalam Bahasa Inggris disebut *hydropower* adalah Pembangkit yang menggunakan air sebagai sumber energi yang akan dikonversikan menjadi energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Air yang selanjutnya dapat disingkat menjadi PLTA menurut C.C. Warnick dalam bukunya yang berjudul *Hydropower Engineering* mengklasifikasikan PLTA berdasarkan output tegangannya, yaitu Pembangkit Mikrohidro dan Pembangkit Minihidro. Pembangkit Mikrohidro biasanya merujuk pada sistem hidrolis turbin yang kapasitasnya kurang dari 100 kW. Sedangkan pembangkit Minihidro merujuk

pada sistem hidrolik turbin yang kapasitasnya antara 100-1000 W. Sehingga dalam penelitian ini dapat diklasifikasikan kedalam Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Sistem yang terdapat dalam Pembangkit Listrik Tenaga Air ini terdiri atas Generator yang berfungsi untuk mengonversi energi kinetik dari air menjadi energi listrik, kemudian valve yang berfungsi untuk mengatur debit air yang mengalir pada turbin, selanjutnya ada turbin sebagai penggerak generatornya. Contoh yang diambil adalah pada Sistem PLTMh dengan turbin propeller tipe tubular. (Warnick, 1984)

2.3 Konversi Energi

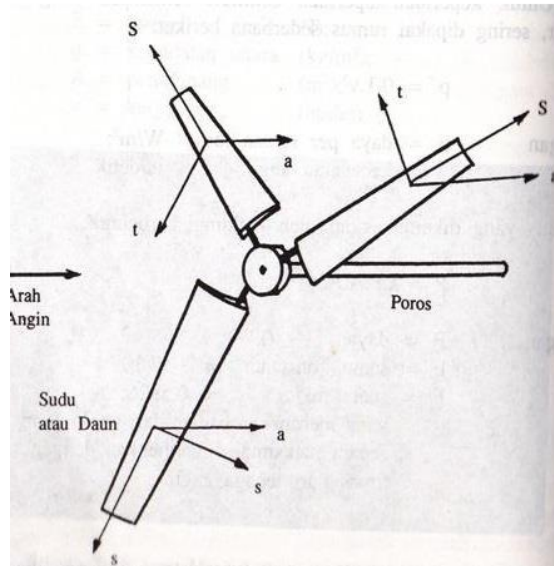
Proses konversi energi pada Turbin Ulir Archimedes dapat dilihat seperti Gambar 2.2



Gambar 2.2 Gambar ideal dari Turbin Ulir Archimedes ketika (a) Tampak samping, (b) Tampilan skema ketika bilah terendam. Sumber: (Muller and Senior, 2010)

Gambar 2.2 menunjukkan ketika air mengalir dengan kecepatan v_0 , maka air tersebut akan menabrak bilah dari turbin yang menyebabkan kecepatan air menjadi v_1 , kemudian mengenai bilah-bilah selanjutnya. Gaya-gaya yang bekerja pada sistem ini adalah gaya hidrostatik dari aliran hulu dan hilir (*upstream* dan *downstream*) yang akan menyebabkan gaya tangensial pada turbin sehingga turbin berputar. (Muller and Senior, 2010)

Gaya-gaya yang bekerja pada turbin Archimedes dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Gaya-gaya pada turbin

Gambar 2.3 menjelaskan bahwa ketika angin atau fluida bergerak menuju poros dari turbin yang menyebabkan gaya berupa gaya aksial seperti ditunjukkan oleh huruf a akan menyebabkan gaya tangensial yang arahnya tegak lurus poros sehingga turbin berotasi atau berputar. Dan kemudian terdapat gaya sentrifugal yang arahnya meninggalkan poros.

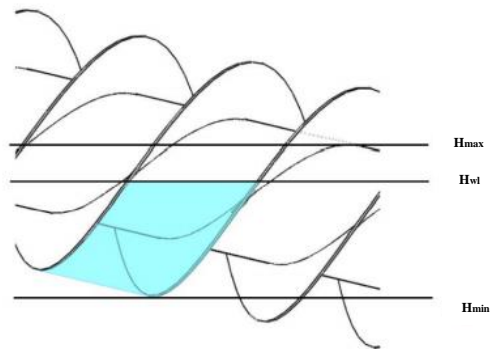
2.4 Ketinggian air diantara dua heliks

Pada Turbin Ulir Archimedes ketinggian isi air dalam *bucket* diantara dua heliks turbin sangat berpengaruh terhadap perputaran turbin. Perhitungan volume *bucket* air diantara heliks dapat digunakan untuk menemukan daya listrik yang dihasilkan oleh PLTMH Turbin Ulir Archimedes. Besar ketinggian isi air

dalam *bucket* diantara dua heliks ditulis pada Persamaan (2.3) (Lubitz et al., 2014)

$$f = \frac{H_{wl} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \quad (2.3)$$

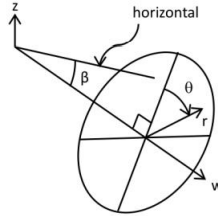
H_{min} adalah titik minimum air yang terletak pada sudu turbin bagian luar, sedangkan H_{max} adalah ketinggian air ketika tingkat maksimum pengisian air atau tempat permukaan air dalam *bucket* ($\theta = 2\pi$), yang mana $f = 1$. Sedangkan H_{wl} merupakan ketinggian sebenarnya dari air. Ketinggian air dalam *bucket* diantara dua heliks dapat ditunjukkan pada Gambar 2.4. (Kozyn et al., 2015).



Gambar 2.4. Permukaan Air didalam *Bucket* (Sumber: (Kozyn et al., 2015))

Gambar 2.4. menggambarkan letak H_{min} dan H_{max} diantara heliks pada Turbin Ulir Archimedes yang ditentukan dengan menggunakan koordinat silinder.

Koordinat Turbin Ulir Archimedes ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Sistem Koordinat Turbin Ulir Archimedes (Sumber: (Kozyn et al., 2015))

Gambar 2.5. merupakan sistem koordinat Turbin Ulir Archimedes, 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 terhadap z yang berorientasi pada sumbu Kartesius. (Kozyn et al., 2015).

Penentuan ketinggian isi air diantara dua heliks, berdasarkan penentuan volume air dalam *bucket* berdasarkan aliran air yang masuk. Volume air dalam *bucket* diasumsikan tepi heliks pertama yang berada di bagian atas Turbin Ulir Archimedes. Sepanjang sumbu w , posisi radial dan angular dari bidang utama didefinisikan pada Persamaan (2.4) dan Persamaan (2.5) (Lubitz et al., 2014).

$$r(w) = r \quad (2.4)$$

$$\theta(w) = 2\pi\left(\frac{w}{\lambda}\right) \quad (2.5)$$

Dapat dikatakan pada titik di mana pun (r, θ) permukaan bidang heliks H_1 dan bidang heliks dengan aliran paling atas H_2 dituliskan pada Persamaan (2.6) dan Persamaan (2.7) (Lubitz et al., 2014).

$$H_1 = r \cos(\theta) \cos(\beta) - \frac{A\theta}{2\pi} \sin(\beta) \quad (2.6)$$

$$H_2 = r \cos(\theta) \cos(\beta) - \left(\frac{S\theta}{2\pi} - \frac{A}{N}\right) \sin(\beta) \quad (2.7)$$

Hal tersebut digunakan untuk menentukan titik minimum dan maksimum dalam *bucket* yang berada di $\theta = \pi$, $r = \frac{D_0}{2}$ 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 (2.8) dan Persamaan (2.9) (Lubitz et al., 2014).

$$H_{\min} = \frac{-D_0}{2} \cos(\theta) - \frac{S}{2} \sin(\beta) \quad (2.8)$$

$$H_{\max} = \frac{D_i}{2} \cos(\theta) - S \sin(\beta) \quad (2.9)$$

Oleh karena itu, ketinggian air di antara heliks dapat dijelaskan dalam arah vertikal dalam hal ketinggian isian yang dituliskan pada Persamaan (2.10.) (Lubitz et al., 2014).

$$H_{wl} = H_{\min} + f(H_{\max} - H_{\min}) \quad (2.10)$$

Volume ember dapat dimisalkan sebagai geometri yang digeser ke bawah sumbu w, yang dituliskan pada Persamaan (2.11.) (Lubitz et al., 2014).

$$dV = \int_{r=D_i/2}^{r=D_0/2} \int_{\theta=0}^{\theta=2\pi} \quad (2.11)$$

$$dV \begin{cases} 0 & H_2 > H_{wl}, H_1 > H_{wl} \\ \left(\frac{H_{wl} - H_1}{H_2 - H_1}\right) \frac{\Lambda}{N} r dr d\theta & H_2 \geq H_{wl}, H_1 \\ \frac{\Lambda}{N} r dr d\theta & H_2 < H_{wl}, H_1 > H_{wl} \end{cases} \quad (2.12)$$

Volume ini juga digunakan untuk menghitung aliran air yang melewati *bucket*. Aliran air tersebut dapat dihitung dengan Persamaan (2.13.) (Lubitz et al., 2014)

$$Q_b = \frac{NV\omega}{2\pi} \quad (2.13)$$

Dengan 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 mekanik yang dihasilkan oleh PLTMh Turbin Ulir Archimedes. Tekanan air yang mengenai sudu turbin dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.14) (Lubitz et al., 2014).

$$P = \rho g(H_{wl} - H) \quad (2.14)$$

Perbedaan tekanan antara bagian bawah dan atas sudu turbin dapat digunakan untuk menentukan torsi area permukaan pada Persamaan (2.15) dan torsi untuk bucket penuh pada Persamaan (2.16) (Lubitz et al., 2014).

$$d\tau = (p_1 - p_2) \frac{\Lambda}{2\pi} r dr d\theta \quad (2.15)$$

$$\tau = \int_{r=D_i/2}^{r=D_o/2} \int_{\theta=0}^{\theta=2\pi} d\tau \quad (2.16)$$

Diperoleh torsi total dari Persamaan (2.17.) (Lubitz et al., 2014).

$$\tau_{total} = \tau \left(\frac{NL}{\Lambda} \right) \quad (2.17)$$

Dengan τ adalah torsi yang didapatkan dari Persamaan (2.16), N adalah banyaknya sudu atau heliks dari turbin, L adalah panjang tari turbin, dan Λ adalah jarak antar bilah dalam satu frekuensi pada turbin

2.5 Torsi

Torsi adalah aksi untuk memutar atau membelokkan gaya. Satuan SI dari torsi adalah newton-meter (N.m). Torsi menggerakkan benda dengan gaya F yang menyebabkan perputaran pada benda seperti pada Persamaan (2.18)

$$\tau = \vec{F} \times r \quad (2.18)$$

F adalah gaya yang mengenai objek yang biasa disebut dengan garis gaya dan r adalah jarak dari titik pusat garis gaya menuju titik lain pada benda atau biasa disebut dengan lengan gaya. Untuk dapat memutar, garis gaya F harus tegak lurus dengan r . (Walker et al., 2014)

Tugas Akhir ini menggunakan F dari pegas yang berlawanan arahnya dengan arah putar dari turbin seperti dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6. Skema pengambilan data torsi

Gambar 2.6 menunjukkan ketika turbin berputar maka pegas yang memiliki konstanta k akan mengalami pertambahan panjang sebesar Δx yang memutar poros dengan jari-jari r sesuai pada Persamaan (2.19)

$$\tau = -k \cdot \Delta x \cdot r \quad (2.19)$$

Torsi pada proses pengambilan data berlawanan arah dengan arah putar dari turbin sehingga dapat dinamakan sebagai torsi pengereman.

2.6 Kecepatan Sudut

Dimisalkan suatu objek bergerak pada posisi sudut θ_1 pada waktu t_1 menuju posisi sudut θ_2 pada waktu t_2 . Maka kecepatan sudut dapat didefinisikan seperti pada Persamaan (2.20)

$$\omega = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} \quad (2.20)$$

Kecepatan sudut dapat didefinisikan sebagai perpindahan posisi sudut pada tiap satuan waktu. Arah perputaran dari kecepatan sudut biasanya didefinisikan dalam searah jarum jam (*clockwise*) atau sebaliknya (*counter-clockwise*). Satuan dari kecepatan sudut yang sering digunakan adalah radian per detik (rad/s) atau putaran (*revolution*) per menit (rpm). (Walker et al., 2014)

2.7 Tekanan Hidrostatik

Setiap wadah yang berisi fluida, baik pada cairan maupun gas, diketahui bahwa semakin dalam suatu fluida dari permukaan wadah, maka tekanannya akan lebih besar. Tekanan inilah yang dinamakan tekanan hidrostatik. Tekanan hidrostatik dipengaruhi oleh tekanan atmosfer dan gaya gravitasi. Tekanan hidrostatik dapat dituliskan dalam Persamaan (2.21)

$$p = p_0 + \rho gh \quad (2.21)$$

P adalah tekanan hidrostatik fluida dalam suatu wadah, p_0 adalah tekanan awal fluida pada suatu wadah, ρ adalah massa jenis zat fluida, g adalah percepatan gravitasi, dan h adalah kedalaman objek dari permukaan wadah yang berisi fluida. Satuan dari tekanan hidrostatik yang umum digunakan adalah Pascal atau Newton per meter persegi (N/m^2). (Walker et al., 2014)

2.8 Rangkaian Arus Searah

Rangkaian sederhana yang terdiri atas catu daya, tahanan, dan kapasitor dapat disebut juga dengan rangkaian DC (*Direct Current*) karena arus yang mengalir pada tiap komponen di rangkaian ini memiliki arah yang sama. Jika pada rangkaian tersebut diberi saklar, medan listrik mulai terbentuk pada setiap elemen dalam rangkaian tersebut, menyebabkan perubahan yang rumit ketika arus dan muatan mulai terbentuk pada setiap titik dalam rangkaian. Namun, karena medan listrik bergerak mendekati kecepatan cahaya, maka kesetimbangan pun tercapai dengan cepat. Ketika tercapai kesetimbangan, maka arus yang terbentuk menjadi stabil. (Tipler, 1994)

2.9 Daya Listrik

Ketika arus listrik berada dalam konduktor, energi listrik diubah menjadi energi panas di dalam konduktor. Medan listrik dalam konduktor mempercepat gerakan setiap elektron bebas dalam waktu yang singkat, membuat peningkatan energi kinetik yang ditransfer menjadi energi termal konduktor melalui tumbukan antar elektron dan ion-ion kisi konduktor.

Ketika muatan positif mengalir dalam konduktor, muatan ini mengalir dari potensial tinggi ke potensial yang lebih rendah yang searah medan listrik. Muatan kemudian kehilangan energi potensial yang selanjutnya muncul sebagai energi kinetik pembawa muatan yang dapat dituliskan dalam Persamaan (2.22)

$$P_L = I \times V \quad (2.22)$$

Kehilangan energi per satuan waktu adalah daya P_L yang didisipasikan, I adalah arus dalam satuan ampere, dan V adalah tegangan dalam satuan volt. (Tipler, 1994)

2.10 Efisiensi

Secara umum, total daya yang dapat mampu dilakukan oleh turbin atau dapat dikatakan sebagai daya potensial air dapat dirumuskan dengan Persamaan (2.23)

$$P_p = \rho Qgh \quad (2.23)$$

Dengan ρ adalah massa jenis zat fluida, Q adalah debit aliran fluida, g adalah percepatan gravitasi, dan h adalah *head* atau ketinggian dari turbin. Sedangkan itu, total energi mekanik yang terjadi pada *shaft* turbin dapat dihitung dengan mengukur torsi τ pada kecepatan sudut ω seperti yang terdapat pada Persamaan (2.24)

$$P_m = \tau\omega = \tau \frac{2\pi n}{60} \quad (2.24)$$

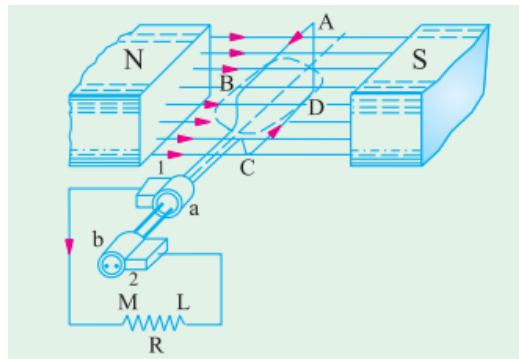
Sehingga efisiensi mekanik yang menjabarkan seberapa efektif energi kinetik dari air berubah menjadi gerakan turbin per satuan waktu seperti pada Persamaan (2.25)

$$\eta_t = \frac{P_m}{P_p} \quad (2.25)$$

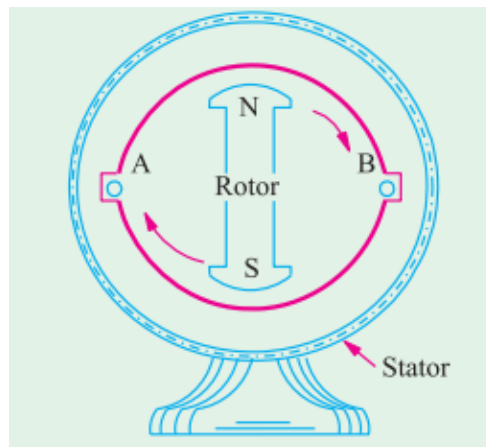
(Erinofiardi et al., 2017)

2.11 Generator

Generator adalah alat yang berfungsi untuk membangkitkan listrik yang umumnya dialirkan dalam sistem AC (Alternating Current) / Arus bolak-balik seperti pada Gambar 2.7



(a)



(b)

Gambar 2.7. Generator dengan tipe (a) kumparan memutar magnet dan (b) magnet memutar kumparan (Sumber: Theraja et al, 2010)

Gambar 2.7 menunjukkan bahwa ketika kondisi (a) kumparan sebagai rotor dan magnet sebagai stator dan kondisi (b) ketika medan magnet sebagai rotor dan kumparan sebagai stator. Pada generator, ketika rotor mengitari stator, maka akan terjadi

perubahan fluks magnetik yang kemudian menyebabkan ggl induksi sesuai dengan hukum faraday tentang e.m.f seperti dituliskan pada Persamaan (2.26)

$$e = -\frac{d}{dt}(N\Phi) = -N \frac{d}{dt}(\Phi_m \cos \omega t) = -N\Phi_m \omega(-\sin \omega t)$$

$$e = \omega N\Phi_m \sin \omega t \text{ volt} \quad (2.26)$$

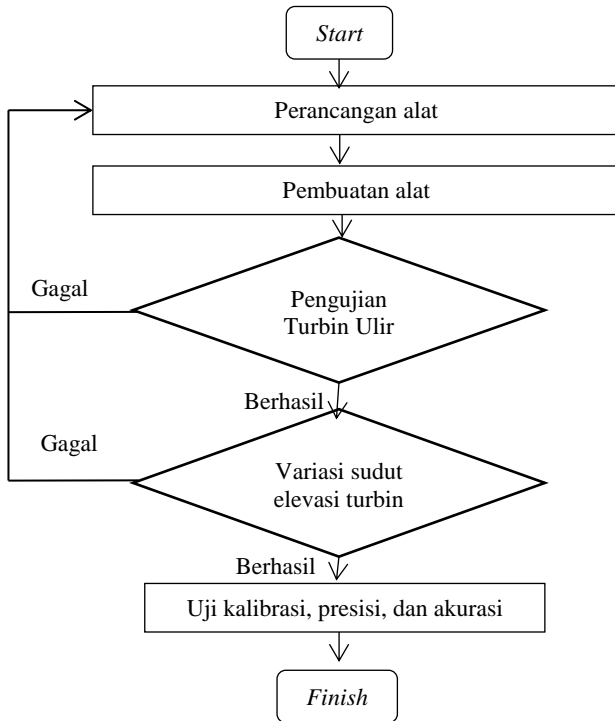
ω adalah kecepatan angular dari rotor, N adalah banyaknya lilitan pada kumparan, dan Φ_m adalah flux magnetic dari generator.(Theraja et al., 2010)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Tahap-tahap Penelitian

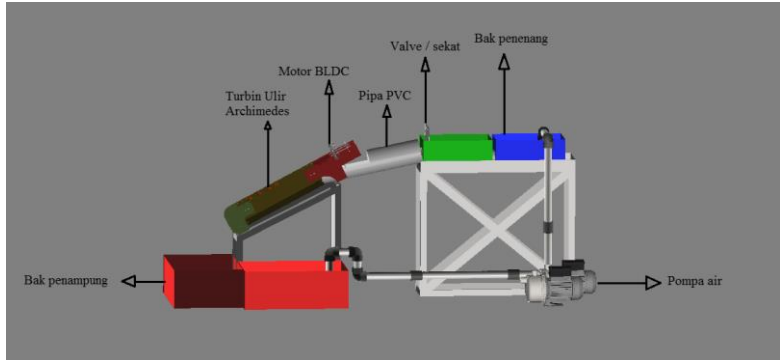
Tugas Akhir ini dilakukan dengan beberapa langkah yang digambarkan pada diagram alir penelitian seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Perancangan Alat

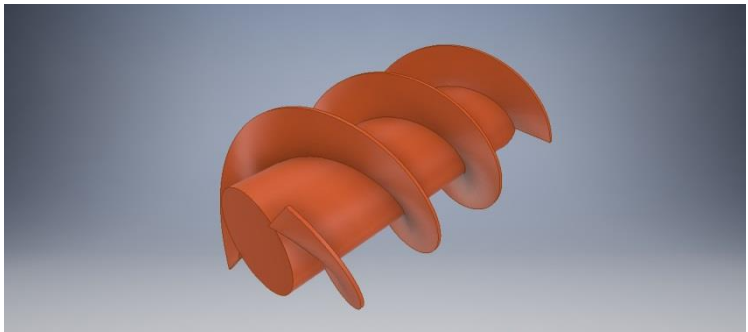
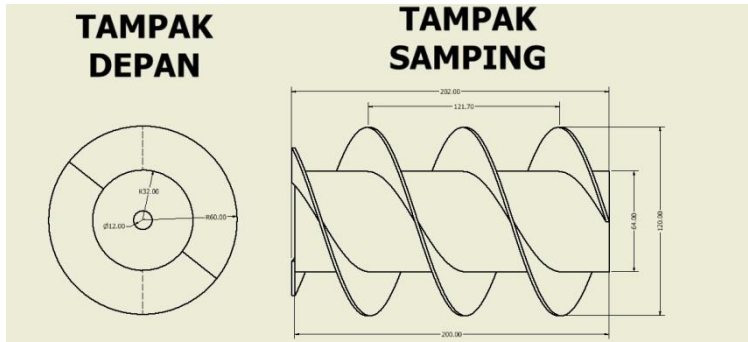
Perancangan alat pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro berbasis Turbin Ulir Archimedes dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Skema alat PLTMh

Gambar 3.2 menunjukkan bahan dasar dari alat adalah besi *hollow* sebagai penyangga dari PLTMh berbasis Turbin Ulir Archimedes. Komponen utama dari alat PLTMh adalah Turbin Ulir Archimedes dengan 3 sudu, Pipa PVC sebagai penampung dari turbin, Bak penenang, bak penampung, Generator sebagai pengonversi energi potensial menjadi energi listrik, dan Pompa air.

Perancangan turbin yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Desain Turbin Ulir Archimedes dalam (a) 2D dan (b) 3D

Gambar 3.3 menunjukkan Turbin memiliki spesifikasi sudu yang berjumlah 2, jari-jari dalam 3,2 cm, jari-jari luar 6 cm, panjang 20 cm, dan jarak antar *pitch* sebesar 12,17 cm

3.3 Pengujian alat

Pengujian alat ini dilaksanakan untuk memastikan apakah sistem pembangkit listrik berjalan dengan baik, untuk setelah itu dapat dilakukan pengambilan data. Pengujian ini meliputi pengujian sistem turbin, pengujian kebocoran, pengujian

ketepatan, dan pengujian pada motor yang digunakan. Pengujian ini dilakukan setelah rancang bangun PLTMh ini selesai dirangkai dan sudah siap untuk digunakan. Realisasi dari rancang bangun PLTMh dapat dilihat seperti Gambar 3.4



Gambar 3.4 Rancang bangun PLTMh

Gambar 3.4 adalah realisasi rancang bangun PLTMh dengan menggunakan turbin ulir Archimedes. Rancangan ini telah disesuaikan dengan dimensi desain rancang bangun dan siap untuk dilakukan pengujian serta pengambilan data. Pada proses pengambilan data aliran air menggunakan pompa dengan debit sebesar 2,64 liter/detik. Nilai debit tersebut didapatkan melalui pengukuran dengan pengisian bak yang memiliki volume 10,5 liter, kemudian dihitung dengan persamaan 2.6 yang selanjutnya dikonversikan menjadi satuan liter/detik

3.4 Pengambilan Data

Setelah alat selesai diuji, langkah selanjutnya adalah melakukan pengambilan data. Data yang diperoleh pada penelitian ini adalah berupa torsi dan rpm yang dihasilkan oleh turbin serta tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator. Pada penelitian ini variasi yang dilakukan adalah sudut, yaitu 20^0 , 25^0 , 30^0 , 35^0 , dan 40^0 diukur dari permukaan penampang.

3.4.1 Pengukuran torsi

Pengukuran torsi pada turbin dilakukan dengan cara torsi pengereman yang menggunakan pegas untuk mendapatkan nilai torsi yang dihasilkan oleh turbin. Prinsipnya adalah pegas digunakan sebagai rem yang memanjang pada poros turbin. Perubahan panjang pegas inilah yang digunakan untuk mendapatkan nilai torsi yang dihasilkan oleh turbin melalui Persamaan 2.3.

3.4.2 Pengukuran rpm

Pengukuran rpm pada turbin dilakukan dengan menggunakan metode konvensional yaitu dengan analisa perputaran menggunakan waktu, dimana dihitung perputaran turbin selama 20 detik yang kemudian akan dikonversikan menjadi nilai rpm menggunakan Persamaan 2.4

3.4.3 Pengukuran tegangan dan arus

Pengambilan data untuk tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator. Generator yang digunakan adalah motor tipe BLDC, output dari generator ini adalah tegangan dan arus AC yang kemudian dikonversi menggunakan rangkaian penyearah sehingga data yang didapat adalah tegangan dan arus tipe DC. tegangan dan arus disearahkan agar didapatkan tegangan dan arus yang stabil, karena karakteristik dari tegangan dan arus AC yang sinusoidal sehingga apabila data yang diambil dalam

rangkaian AC datanya fluktuatif. Selain itu, hal tersebut juga berguna dalam aplikasi data selanjutnya agar dapat disimpan dalam baterai. Pengukuran dilakukan menggunakan multimeter digital. Pengulangan pada pengambilan data untuk tiap arus dan tegangan adalah 20 data yang kemudian diambil rata-ratanya berdasarkan variasi sudut yang telah ditentukan. adalah dengan menggunakan multimeter digital. Nilai yang terbaca pada multimeter adalah nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh PLTMh

3.5 Pengolahan data

Setelah data-data penelitian didapatkan melalui proses pengambilan data, kemudian dilakukan analisa data dan pembuatan laporan hasil dari penelitian yang telah dilakukan. Kemudian dilakukan perhitungan daya dari data tegangan dan arus yang telah didapatkan. Data-data yang diperoleh kemudian diolah untuk mendapatkan kesimpulan dari Tugas Akhir yang dilakukan.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi Perancangan

Setelah dilakukan perancangan pada desain PLTMh, kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari agar desain dari Turbin Ulir Archimedes menjadi optimum dengan menggunakan perhitungan yang telah dilakukan oleh C. Rorres pada tahun 2001 dalam Jurnalnya yang berjudul *The turn of the screw: Optimal design of Archimedes Screw* dengan menggunakan Persamaan 2.1 dan Persamaan 2.2 sehingga didapatkan Turbin dengan spesifikasi desain seperti dapat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Spesifikasi PLTMh berbasis Turbin Ulir Archimedes

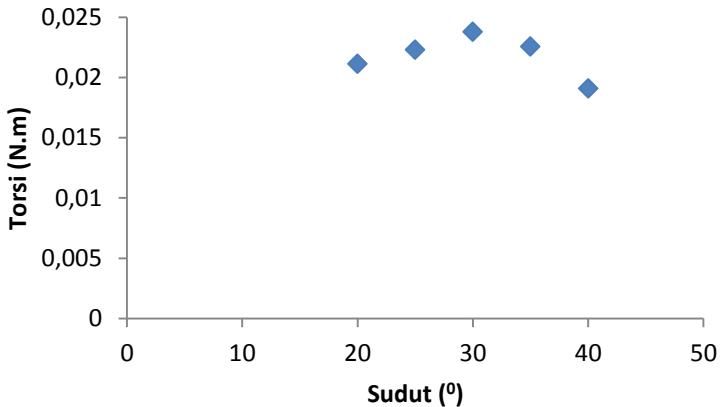
No	Parameter	Dimensi
1	Jumlah Sudu	2
2	Jarak antar Bilah	12,16 cm
3	Jari-jari dalam	3,2 cm
4	Jari-jari luar	6 cm
5	Panjang turbin	20 cm
6	Sudut hitung	30 ⁰
7	Rasio gearbox	2,5 : 1

4.2 Torsi

Nilai torsi pada turbin didapatkan dengan cara seperti yang telah dituliskan pada bab 3, yaitu dengan menggunakan pegas yang dililitkan dengan tali pada poros turbin yang berputar hingga pegas bertambah panjang dan kemudian menghentikan poros turbin

Pegas yang digunakan pada penelitian ini memiliki koefisien sebesar 28,245 N/m, dan jari-jari poros turbin sebesar 6 mm (0,006 m). Dengan menggunakan Persamaan 2.3 maka didapatkan nilai torsi turbin seperti pada Lampiran 1 Tabel 1.A.

Seperti terlihat pada Tabel 1.A. yang terdapat pada Lampiran 1 dengan menggunakan variasi sudut 20° , 25° , 30° , 35° , dan 40° didapatkan perbedaan hasil yang cukup signifikan. Nilai torsi pada sudut 30° memiliki nilai terbesar yaitu $(0,0237 \pm 0,0001)$ N.m. Kemudian nilai terkecil ada pada sudut 40° yaitu senilai $(0,0191 \pm 0,0001)$ N.m dan nilai selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik hubungan Torsi terhadap Sudut

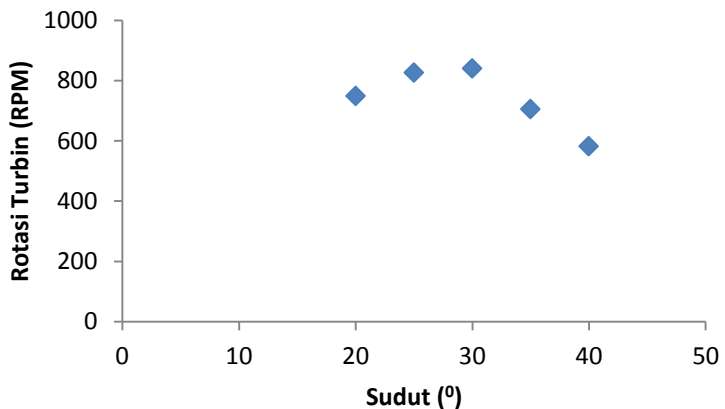
Gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai torsi yang dihasilkan PLTMh dengan variasi sudut secara umum adalah semakin besar sudut maka semakin besar torsi yang dihasilkan. Hal yang memengaruhi torsi pada PLTMh ini adalah gaya hidrostatis yang berbeda karena ketinggian yang berbeda. Menurut Persamaan 2.5 semakin besar *head* (ketinggian) maka semakin besar pula gaya hidrostatisnya. *Head* (ketinggian) tersebut dipengaruhi oleh besar sudut yang ada. Semakin besar sudut maka semakin tinggi pula *head* -nya. Sehingga bila dilihat pada Gambar 4.1 semakin besar Sudutnya maka semakin besar pula torsi yang dihasilkan turbin. Namun, terdapat anomali pada data 35° dan 40° . Hal ini dikarenakan pada saat pengambilan data, ketika sudut turbin diatur pada sudut 35° dan 40° , air hanya

mengalir menuju satu titik pada bilah, sehingga air yang mengenai turbin hanya sebagian dan menyebabkan *losses* pada turbin dan energi dari air tidak terkonversi seluruhnya.

4.3 RPM

Nilai kecepatan rotasi turbin yang telah diukur dapat dilihat pada Lampiran 1 Tabel 1.B. dengan variasi sudut sebesar 20° , 25° , 30° , 35° , dan 40° .

Dari data yang terdapat pada Tabel 1.B. Lampiran 1 dapat dilihat nilai rpm pada turbin yang memiliki nilai terbesar pada sudut 30° yaitu sebesar $(839,85 \pm 2,35)$ rpm. Sedangkan nilai terkecil terdapat pada sudut 40° yaitu sebesar $(581,25 \pm 2,18)$ rpm. Rpm berarti kecepatan sudut dari objek yang berputar terhadap porosnya. Hasil Tugas Akhir ini menunjukkan terdapat hubungan antara kecepatan rotasi turbin dengan sudut yang terbentuk, seperti dapat dilihat pada Gambar 4.2.

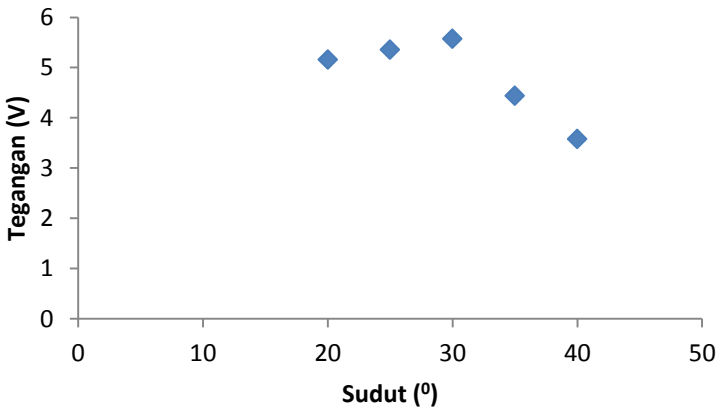


Gambar 4.2 Grafik hubungan RPM Turbin terhadap Sudut

4.4 Tegangan dan Arus

Tegangan dan arus yang didapatkan pada Tugas Akhir ini berasal dari generator. Data tegangan dan arus dapat dilihat pada Lampiran 2 Tabel 2.A. yang menunjukkan data tegangan dan arus DC yang dihasilkan oleh generator.

Hasil yang telah didapatkan menunjukkan bahwa nilai tegangan terbesar yang mampu dihasilkan oleh turbin sebesar $(5,57 \pm 0,02)$ V pada sudut 30^0 seperti dapat dilihat pada Gambar 4.3

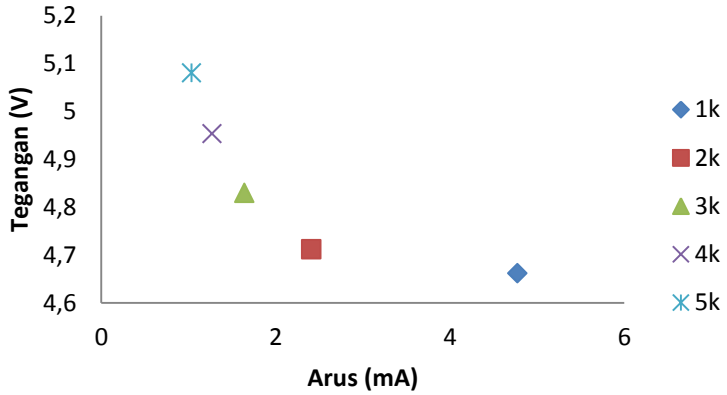


Gambar 4.3 Grafik hubungan antara Tegangan dengan Sudut

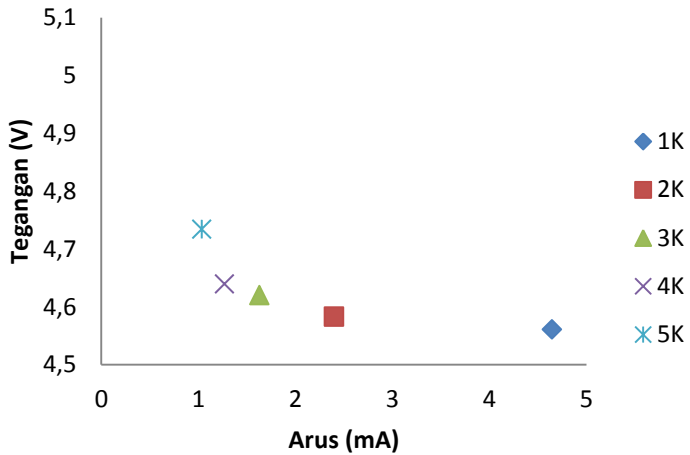
Gambar 4.3 menjelaskan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan pada tegangan ketika sudut diatur antara 20^0 - 30^0 kemudian tegangan yang diperoleh menurun ketika sudut diatur 35^0 dan 40^0 .

Setelah itu pada generator ditambahkan beban dengan variasi resistansi mulai dari 1K Ohm, 2K Ohm, 3K Ohm, 4K Ohm dan 5K Ohm yang kemudian diukur kembali menggunakan multimeter digital sehingga didapatkan data seperti pada Lampiran 2 Tabel 2.B. dan 2.C. Dari hasil pengukuran didapatkan nilai arus terbesar yang dihasilkan adalah sebesar $(5,341 \pm 0,01)$ mA dengan beban (*load*) yang diberikan sebesar 1k Ohm. Dan

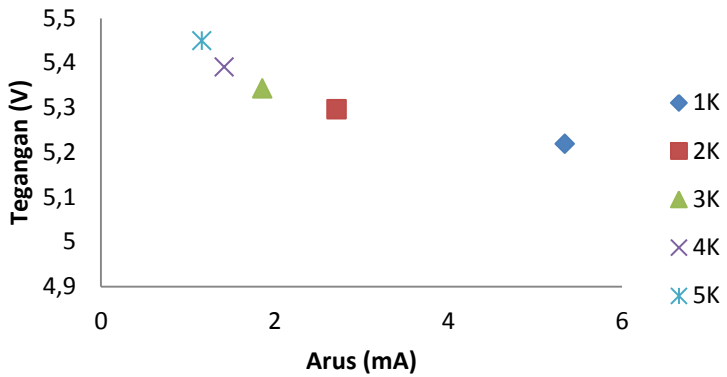
untuk data-data lain disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.4 berikut.



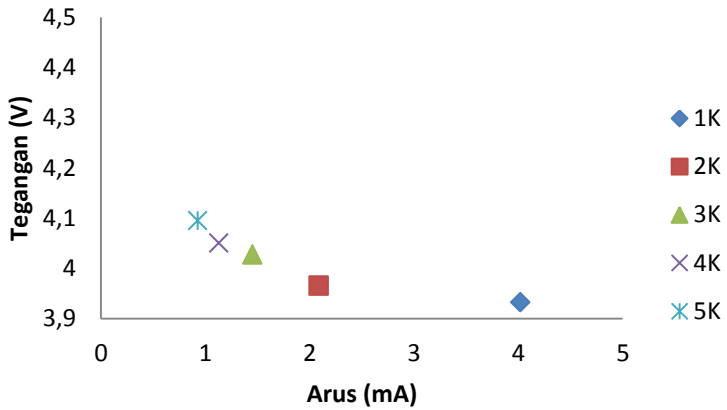
(a)



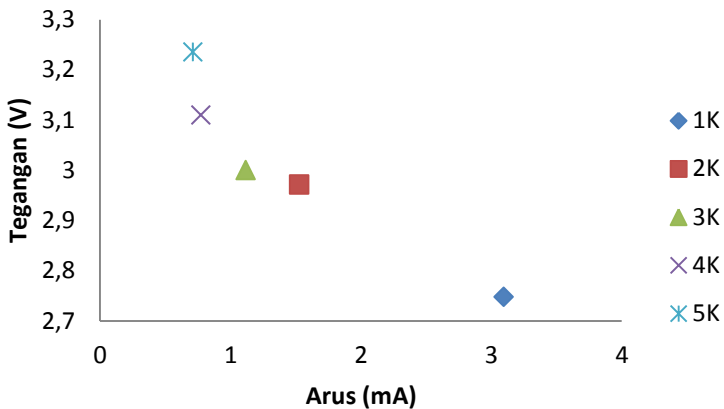
(b)



(c)



(d)



(e)

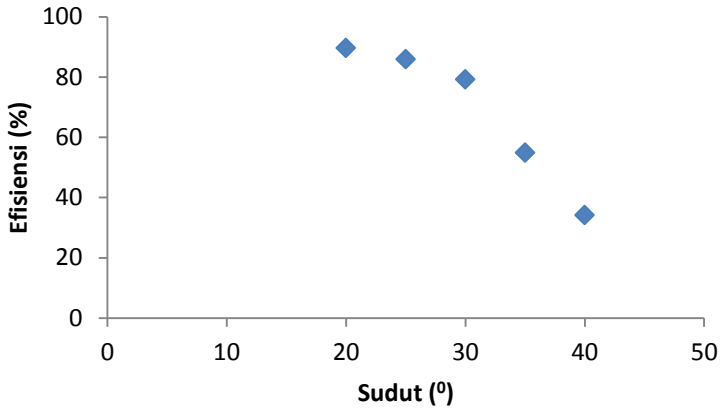
Gambar 4.4. Grafik Perbandingan Pembebanan PLTMh pada variasi sudut (a) 20^0 , (b) 25^0 , (c) 30^0 , (d) 35^0 , dan (e) 40^0

Gambar 4.4 adalah grafik perbandingan pembebanan PLTMh pada variasi sudut 20^0 , 25^0 , 30^0 , 35^0 , dan 40^0 . Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa apabila beban resistansi bertambah maka arusnya akan berkurang dan tegangannya sedikit bertambah.

4.5 Efisiensi yang dihasilkan

Data rpm dan torsi yang telah didapatkan melalui pengambilan data kemudian dilakukan perhitungan nilai efisiensi yang dihasilkan oleh turbin. Nilai efisiensi didapatkan dengan menggunakan Persamaan 2.9. Nilai efisiensi dihitung pada variasi tiap-tiap sudutnya yaitu 20^0 , 25^0 , 30^0 , 35^0 , dan 40^0 yang dapat dilihat pada Lampiran 2 Tabel 2.C.

Kemudian didapatkan nilai efisiensi terbesar adalah pada PLTMh dengan variasi sudut sebesar 20^0 yaitu sebesar 90,1 % dan untuk data lainnya dapat dilihat pada Gambar 4.5



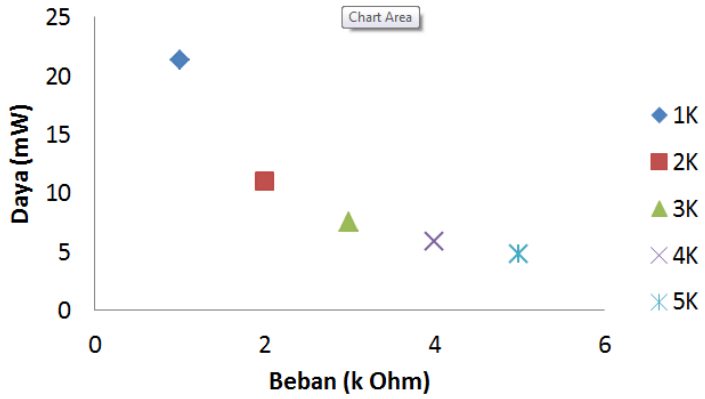
Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara Efisiensi terhadap Sudut

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa hubungan Antara sudut dengan efisiensi yaitu ketika sudutnya semakin besar, maka terjadi penurunan efisiensi. Menurut (Siswantara et al., 2019) Pertambahan sudut menyebabkan kecepatan aliran air pada *bucket* bertambah dan mengakibatkan pusaran air pada turbin sehingga efisiensi dari turbin berkurang. Hal ini berbahaya bagi turbin karena dapat menyebabkan korosi

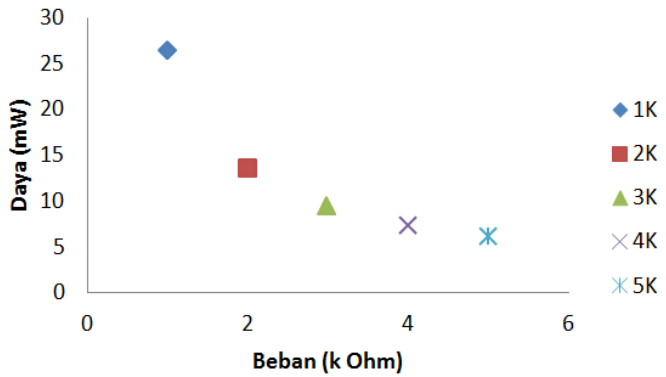
4.6 Daya Listrik

Data tegangan dan arus yang telah didapatkan melalui pengambilan data, selanjutnya dihitung nilai daya listrik yang dihasilkan oleh generator. Nilai daya listrik dihitung menggunakan persamaan 2.6. Nilai daya yang dihasilkan oleh PLTMh dihitung seperti tegangan dan arus menggunakan variasi pembebanan 5 resistor yaitu 1 k Ω , 2 k Ω , 3 k Ω , 4 k Ω , dan 5 k Ω seperti dapat dilihat pada Lampiran 2 Tabel 2.D.

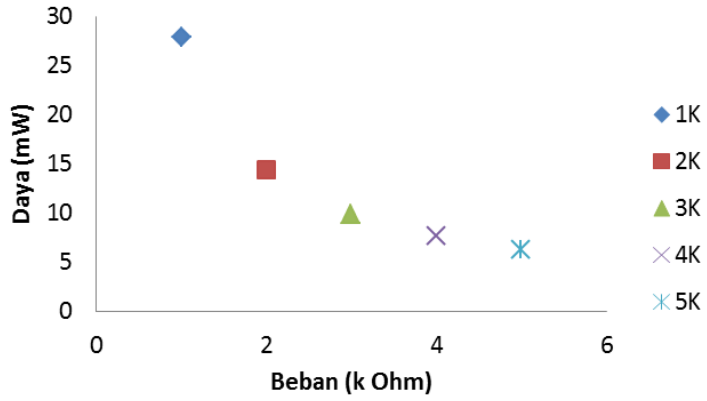
Didapatkan nilai daya terbesar pada sudut 30⁰ beban 1K dengan nilai daya sebesar (27,873 \pm 0,104) mW, sedangkan untuk nilai daya terkecil sebesar dan kemudian untuk data-data lainnya dapat dilihat pada Gambar 4.6



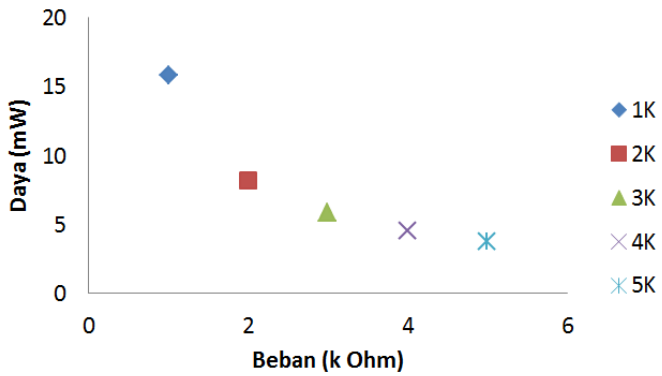
(a)



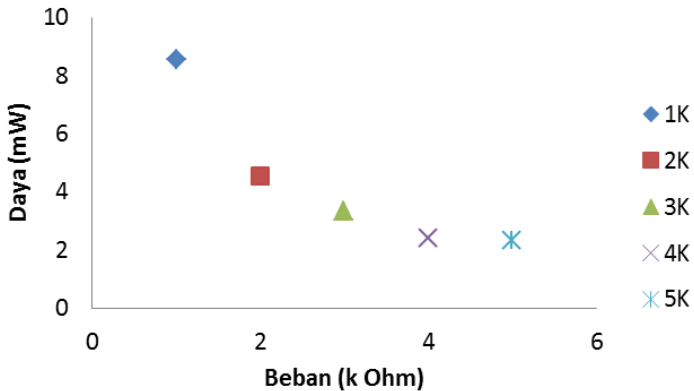
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4.6 Grafik hubungan daya dengan beban pada variasi sudut (a) 20^0 , (b) 25^0 , (c) 30^0 , (d) 35^0 , dan (e) 40^0

Gambar 4.6 menjelaskan bahwa pembebanan resistansi sangat berpengaruh terhadap nilai daya yang dihasilkan. Dari gambar tersebut didapat nilai terbesar dari daya ada pada sudut 30^0 dengan beban 1 k Ω . Kemudian grafik hubungan daya terhadap beban linier pada tiap variasi seiring dengan kenaikan resistansi.

4.7 Hubungan Torsi, Rpm, dan Daya Listrik

Setelah melalui proses pengambilan data, didapatkan data-data seperti torsi, rpm, dan daya listrik. Ketiga data tersebut memiliki hubungan yang saling memengaruhi. Seperti dapat dilihat pada data sebelumnya, ketika nilai torsi yang dihasilkan semakin tinggi, maka nilai rpm yang dihasilkan oleh turbin akan semakin tinggi pula, dan berlaku sebaliknya. Hal ini dikarenakan secara umum torsi dan rpm berbanding lurus, sehingga data yang diperoleh sesuai dengan teori dalam penelitian. Rpm yang berarti

kecepatan turbin berputar tiap menit sendiri dipengaruhi oleh banyaknya volume air yang mengenai turbin atau dalam istilah lain adalah volume *bucket*, semakin besar volume bucketnya maka rpm yang dihasilkan akan semakin besar, begitu pula dengan torsi-nya.

Sementara itu untuk daya listrik yang dihasilkan oleh generator nilainya-pun berbanding lurus dengan rpm dari turbin. Semakin cepat turbin berputar maka akan semakin besar pula daya yang dihasilkan oleh generator dan sebaliknya, semakin lambat turbin berputar maka daya yang dihasilkan oleh generator akan semakin kecil. Hubungan ini terjadi karena energi turbin yang memengaruhi kecepatan putaran dari generator sehingga memberikan pengaruh terhadap daya yang dihasilkan oleh generator. Prinsip kerja dari generator sendiri adalah konversi energi listrik yang berupa arus dan tegangan dari energi mekanik yang dihasilkan oleh putaran turbin. Pada penelitian ini perbandingan gear turbin dan generator adalah 12:5,5 yang bertujuan untuk mempercepat perputaran generator sehingga didapatkan daya yang lebih besar.

4.8 Pengaruh Sudut

Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh dari sudut elevasi terhadap rpm, torsi, daya, dan efisiensi dari PLTMh berbasis Turbin Ulir Archimedes. Sehingga akan didapatkan hasil yang lebih optimal dari penentuan sudut yang digunakan. Dari data yang telah diperoleh didapatkan bahwa sudut 30^0 memiliki nilai yang lebih besar bila dibandingkan sudut 20^0 , 25^0 , 35^0 , dan 40^0 dengan debit air dan dimensi turbin yang sama.

Penggunaan sudut 30^0 memiliki nilai yang lebih besar pada variable torsi, rpm, dan daya karena gaya hidrostatis yang lebih besar dibandingkan sudut 20^0 dan 25^0 . Namun, secara matematis gaya hidrostatis dari sudut 35^0 dan sudut 40^0 lebih besar dari sudut 30^0 , hasil pengambilan data tidak menunjukkan hal tersebut. Hal ini dikarenakan, air tidak mengalir seluruhnya

menuju turbin sehingga sebagian air terbuang dan memengaruhi volume *bucket* dari turbin. Sehingga volume bucket dari turbin pun berkurang dan menyebabkan nilai torsi, rpm, dan daya pada sudut 30° lebih besar dibandingkan sudut 20° , 25° , 35° , dan 40° . Sedangkan pada nilai efisiensi, efisiensi dari turbin semakin menurun seiring dengan bertambahnya sudut. Pertambahan sudut menyebabkan kecepatan aliran air pada *bucket* bertambah dan mengakibatkan pusaran air pada turbin sehingga efisiensi dari turbin berkurang. Namun, hasil Tugas Akhir ini masih perlu diteliti lebih lanjut dikarenakan penulis menggunakan rentang variasi sudut tiap 5° . Untuk hasil yang lebih akurat, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk rentang sudut yang lebih sedikit agar data yang diperoleh semakin akurat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pembahasan, dapat disimpulkan hal-hal berikut.

1. Torsi dan rpm maksimum dihasilkan pada variasi sudut 30^0 dengan nilai secara berurutan sebesar $(0,0237 \pm 0,0001)$ N.m dan $(839,85 \pm 2,35)$ rpm
2. Nilai tegangan, arus, dan daya maksimum yang dihasilkan sebagai berikut
 - Pada sudut 30^0 tegangan maksimum sebesar $(5,44 \pm 0,01)$ V dengan pembebanan $5 \text{ k}\Omega$
 - Pada sudut 30^0 arus maksimum sebesar $(5,34 \pm 0,01)$ mA dengan pembebanan $1 \text{ k}\Omega$
 - Pada sudut 30^0 daya maksimum sebesar $(27,873 \pm 0,104)$ mW dengan pembebanan $1 \text{ k}\Omega$
3. Grafik menunjukkan kurva yang cenderung parabolik untuk nilai Torsi, Rpm, Tegangan, Arus, dan Daya dengan puncaknya pada sudut 30^0
4. Semakin besar sudut, efisiensi dari turbin semakin berkurang.

5.2 Saran

Saran dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengukuran dengan menggunakan panjang turbin yang berbeda.
2. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan perbandingan hasil pengukuran dengan hasil simulasi.
3. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengaruh suhu turbin terhadap performa dari PLTMh berbasis Turbin Ulir Archimedes.
4. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan variasi sudut dengan rentang variasi yang lebih kecil

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Erinofiardi, Nuramal, A., Bismantolo, P., Date, A., Akbarzadeh, A., Mainil, A.K., Suryono, A.F., 2017. Experimental Study of Screw Turbine Performance based on Different Angle of Inclination. *Energy Procedia* 110, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.094>
- Jenkins, N., Ekanayake, J., 2017. *Renewable energy engineering*, 2017th ed. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Kementrian ESDM, 2019. *Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional*.
- Kozyn, A., Ash, S., WD, L., 2015. Assessment of Archimedes Screw Power Generation Potential in Ontario, in: *Climate Change Technology Conference*, Montreal.
- Lubitz, W.D., Lyons, M., Simmons, S., 2014. Performance model of Archimedes screw hydro turbines with variable fill level. *J. Hydraul. Eng.* 140, 04014050.
- Muller, G., Senior, J., 2010. Simplified theory of Archimedean screws. *J. Hydraul. Res.* September 2009, 666–669. <https://doi.org/10.3826/jhr.2009.3475>
- Rorres, C., 2000. The Turn of the Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw. *J. Hydraul. Eng.* 126, 72–80. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2000\)126:1\(72\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2000)126:1(72))
- Siswantara, A.I., Warjito, Budiarmo, Harmadi, R., Gumelar S., M.H., Adanta, D., 2019. Investigation of the α angle's effect on the performance of an Archimedes turbine. *Energy Procedia* 156, 458–462. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.084>

- Theraja, B.L., Theraja, B.L., Theraja, A.K., 2010. A textbook of electrical technology. S. Chand & Co., Ram Nagar, New Delhi, India.
- Tipler, P.A., 1994. Physics: for scientists and engineers, Extended ed., 3. ed., 4. pr. ed. Worth, New York NY.
- Walker, J., Halliday, D., Resnick, R., 2014. Fundamentals of physics, 10th edition, extended. ed. Wiley, Hoboken, NJ.
- Warnick, C.C. (Ed.), 1984. Hydropower Engineering. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Torsi dan RPM PLTMh

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

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

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

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

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

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

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

Tabel 1.A. Torsi Hasil Pengukuran

Sudut	Torsi (N.m)
20	0,0211 ± 0,0001
25	0,0222 ± 0,0001
30	0,0237 ± 0,0001
35	0,0225 ± 0,0001
40	0,0191 ± 0,0001

Tabel 1.B. RPM Hasil Pengukuran

Sudut	RPM
20	748,5 ± 1,87
25	825,60 ± 1,86
30	839,85 ± 2,36
35	705,30 ± 1,85
40	581,25 ± 2,18

Tabel 1.C. Hasil Pengambilan data Torsi pada PLTMh

Sudut No	Torsi				
	20	25	30	35	40
1	0,0207	0,0230	0,0238	0,0228	0,0191
2	0,0216	0,0225	0,0240	0,0220	0,0199
3	0,0216	0,0229	0,0232	0,0229	0,0183
4	0,0214	0,0218	0,0239	0,0227	0,0188
5	0,0216	0,0218	0,0242	0,0227	0,0191
6	0,0207	0,0220	0,0239	0,0223	0,0187
7	0,0206	0,0219	0,0239	0,0220	0,0185
8	0,0205	0,0223	0,0239	0,0229	0,0191
9	0,0215	0,0218	0,0230	0,0229	0,0197
10	0,0216	0,0227	0,0239	0,0220	0,0183
11	0,0204	0,0226	0,0241	0,0230	0,0198
12	0,0213	0,0220	0,0233	0,0225	0,0192
13	0,0206	0,0224	0,0239	0,0220	0,0187
14	0,0216	0,0227	0,0234	0,0228	0,0187
15	0,0206	0,0220	0,0235	0,0226	0,0193
16	0,0209	0,0224	0,0235	0,0220	0,0191
17	0,0212	0,0218	0,0241	0,0225	0,0189

18	0,0208	0,0216	0,0233	0,0223	0,0195
19	0,0214	0,0228	0,0236	0,0228	0,0189
20	0,0209	0,0217	0,0240	0,0228	0,0192

Tabel 1.D. Hasil Pengambilan Data RPM

Sudut No	RPM				
	20	25	30	35	40
1	747	828	834	699	585
2	762	825	831	714	573
3	759	834	828	705	573
4	735	834	834	696	585
5	747	834	828	717	573
6	744	840	855	705	573
7	750	822	843	708	588
8	750	816	855	720	570
9	741	825	825	699	588
10	753	822	840	696	573
11	753	822	846	702	582
12	756	840	831	708	582
13	741	822	855	708	570
14	738	822	831	702	600
15	741	834	852	702	579
16	741	819	846	720	597
17	747	822	852	696	570
18	765	813	825	708	600
19	753	828	843	690	585
20	747	810	843	711	579

Lampiran 2. Data Tegangan dan Arus PLTMh

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

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

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

Tabel 2.A. Tegangan Hasil Pengukuran

Sudut	Tegangan (V)
20	5,16 ± 0,02
25	5,36 ± 0,02
30	5,57 ± 0,02
35	4,44 ± 0,03
40	3,58 ± 0,02

Tabel 2.B. Tegangan dan Arus Pembebanan Hasil Pengukuran

Sudut	Arus (mA)					Tegangan (V)				
	1k	2k	3k	4k	5k	1k	2k	3k	4k	5k
20	4,77 ± 0,03	2,41 ± 0,01	1,64 ± 0,01	1,26 ± 0,01	1,03 ± 0,01	4,66 ± 0,03	4,71 ± 0,02	4,82 ± 0,06	4,95 ± 0,02	5,08 ± 0,01
25	4,65 ± 0,03	2,40 ± 0,02	1,63 ± 0,01	1,27 ± 0,02	1,03 ± 0,01	4,56 ± 0,04	4,58 ± 0,03	4,62 ± 0,06	4,64 ± 0,03	4,74 ± 0,04
30	5,34 ± 0,01	2,71 ± 0,01	1,85 ± 0,02	1,41 ± 0,01	1,16 ± 0,01	5,22 ± 0,01	5,29 ± 0,01	5,34 ± 0,06	5,39 ± 0,01	5,44 ± 0,01
35	4,02 ± 0,02	2,08 ± 0,02	1,45 ± 0,01	1,45 ± 0,02	0,93 ± 0,01	3,93 ± 0,02	3,96 ± 0,01	4,03 ± 0,06	4,05 ± 0,03	4,09 ± 0,03
40	3,09 ± 0,02	1,52 ± 0,02	1,11 ± 0,02	0,77 ± 0,01	0,71 ± 0,01	2,74 ± 0,02	2,97 ± 0,03	3,00 ± 0,06	3,10 ± 0,03	3,24 ± 0,02

Tabel 2.C. Daya Hasil Perhitungan

Sudut R	Daya (mW)				
	1k	2k	3k	4k	5k
20	22,269 $\pm 0,143$	11,343 $\pm 0,092$	7,936 \pm 0,088	6,284 \pm 0,081	5,275 \pm 0,074
25	21,301 $\pm 0,318$	11,001 $\pm 0,164$	7,542 \pm 0,101	5,899 \pm 0,107	4,901 \pm 070
30	27,873 $\pm 0,104$	14,371 $\pm 0,082$	9,915 \pm 0,065	7,652 \pm 0,079	6,321 \pm 0,069
35	15,811 $\pm 0,134$	8,274 \pm 0,084	5,842 \pm 0,064	4,573 \pm 0,085	3,804 \pm 0,075
40	8,511 \pm 0,168	4,540 \pm 0,075	3,349 \pm 0,059	2,407 \pm 0,041	2,299 \pm 0,042

Tabel 2.D. Hasil Pengambilan Data Tegangan

Sudut No	Tegangan				
	20	25	30	35	40
1	5,1	5,27	5,56	4,41	3,71
2	5,2	5,5	5,5	4,39	3,6
3	5,28	5,21	5,4	4,22	3,51
4	5,16	5,46	5,71	4,65	3,4
5	5,01	5,3	5,59	4,2	3,55
6	5,05	5,24	5,47	4,65	3,57
7	5,07	5,23	5,57	4,37	3,46
8	5,18	5,49	5,69	4,46	3,65
9	5,09	5,42	5,56	4,41	3,61
10	5,19	5,31	5,66	4,4	3,57
11	5,07	5,38	5,53	4,52	3,68
12	5,29	5,31	5,67	4,37	3,45
13	5,19	5,28	5,71	4,61	3,44

14	5,23	5,44	5,65	4,4	3,59
15	5,16	5,37	5,48	4,32	3,53
16	5,28	5,37	5,56	4,46	3,67
17	5,04	5,27	5,59	4,58	3,55
18	5,2	5,37	5,6	4,51	3,66
19	5,1	5,47	5,53	4,49	3,64
20	5,29	5,47	5,41	4,31	3,68

Tabel 2.E. Hasil Pengambilan Data Arus dan Tegangan dengan beban

R Sudut	Arus (mA)					Tegangan (V)				
	1k	2k	3k	4k	5k	1k	2k	3k	4k	5k
20	4,79	2,46	1,68	1,25	1,05	4,62	4,73	5,02	4,86	5,2
	5,03	2,32	1,65	1,26	1,03	4,87	4,61	4,85	5,02	5
	4,56	2,36	1,67	1,31	1,04	4,53	4,7	4,96	5,1	5,06
	4,67	2,49	1,64	1,26	1,05	4,51	4,78	4,78	4,89	5,19
	4,76	2,43	1,62	1,28	1,03	4,71	4,84	4,73	4,91	5,08
	4,94	2,38	1,71	1,29	1,03	4,77	4,68	4,96	5,06	5,06
	4,89	2,32	1,66	1,25	1,01	4,84	4,61	4,8	4,81	4,99
	4,53	2,37	1,65	1,27	1,02	4,5	4,6	4,78	4,94	5,07
	4,64	2,44	1,71	1,27	1,02	4,59	4,67	5,06	4,93	5
	4,76	2,38	1,59	1,27	1,05	4,64	4,68	4,72	4,88	5,05
	4,93	2,38	1,69	1,24	1,06	4,76	4,61	4,96	4,83	5,13
	4,8	2,42	1,60	1,32	1,06	4,63	4,72	4,72	5,15	5,15
	4,63	2,43	1,59	1,27	1,02	4,59	4,83	4,7	5,05	5
	4,71	2,44	1,61	1,24	1,03	4,56	4,71	4,83	4,82	5
	4,77	2,54	1,58	1,29	1,05	4,63	4,98	4,7	4,99	5,1
	4,85	2,43	1,69	1,29	1,04	4,71	4,72	4,94	5,13	5,07
	5	2,39	1,59	1,23	1,02	4,82	4,67	4,71	4,85	5,04
	4,55	2,39	1,64	1,29	1,04	4,53	4,71	4,76	5,02	5,13
	4,74	2,39	1,67	1,26	1,07	4,65	4,73	4,83	4,92	5,17
	4,93	2,43	1,60	1,26	1,03	4,77	4,65	4,78	4,9	5,12

25	4,52	2,47	1,59	1,29	1	4,45	4,8	4,73	4,48	4,9
	4,56	2,19	1,54	1,22	1,08	4,52	4,3	4,6	4,6	4,79
	4,39	2,31	1,64	1,23	1,12	4,31	4,46	4,86	4,32	4,68
	4,41	2,42	1,76	1,37	0,95	4,24	4,5	4,96	4,7	4,65
	4,53	2,34	1,7	1,24	0,96	4,33	4,28	4,71	4,72	4,7
	4,92	2,49	1,61	1,35	1	4,73	4,60	4,45	4,92	4,48
	4,72	2,39	1,71	1,35	1,04	4,69	4,71	4,65	4,76	4,53
	4,87	2,34	1,59	1,14	0,99	4,80	4,54	4,61	4,51	4,69
	4,68	2,52	1,66	1,25	1,07	4,55	4,77	4,59	4,56	4,75
	4,86	2,44	1,63	1,23	0,97	4,75	4,66	4,59	4,61	4,81
	4,8	2,55	1,67	1,33	1,07	4,62	4,73	4,52	4,74	4,75
	4,63	2,44	1,67	1,37	0,95	4,45	4,51	4,52	4,71	4,67
	4,62	2,27	1,55	1,22	1,02	4,61	4,52	4,52	4,79	4,82
	4,62	2,36	1,67	1,2	1,08	4,60	4,67	4,59	4,58	4,65
	4,86	2,45	1,74	1,23	1	4,79	4,76	4,69	4,79	4,70
	4,6	2,38	1,59	1,36	1,13	4,46	4,47	4,66	4,72	4,81
	4,77	2,31	1,62	1,14	1,05	4,70	4,48	4,53	4,49	4,89
	4,72	2,48	1,6	1,21	1,09	4,55	4,61	4,66	4,53	4,76
	4,77	2,53	1,53	1,37	1,09	4,60	4,71	4,48	4,79	4,91
	4,47	2,29	1,56	1,31	1,05	4,46	4,57	4,48	4,46	4,58
4,52	2,47	1,59	1,29	1	4,45	4,8	4,73	4,48	4,9	
30	5,38	2,68	1,91	1,39	1,15	5,24	5,31	5,49	5,41	5,5
	5,4	2,74	1,85	1,42	1,14	5,25	5,31	5,15	5,45	5,38
	5,3	2,83	1,84	1,38	1,08	5,16	5,29	5,31	5,34	5,47
	5,45	2,77	1,84	1,43	1,09	5,25	5,29	5,4	5,35	5,45
	5,29	2,85	1,88	1,50	1,16	5,27	5,35	5,36	5,43	5,38
	5,32	2,61	1,84	1,49	1,11	5,19	5,24	5,49	5,44	5,43
	5,44	2,64	1,81	1,50	1,17	5,26	5,28	5,43	5,36	5,46
	5,36	2,76	1,87	1,36	1,13	5,19	5,28	5,39	5,34	5,41
	5,34	2,72	1,90	1,36	1,11	5,17	5,31	5,24	5,43	5,46
	5,23	2,74	1,91	1,35	1,19	5,20	5,34	5,17	5,35	5,48
	5,31	2,64	1,79	1,47	1,16	5,18	5,32	5,37	5,41	5,43
	5,41	2,71	1,89	1,40	1,21	5,26	5,31	5,40	5,31	5,48
	5,38	2,64	1,83	1,33	1,20	5,22	5,29	5,41	5,42	5,35
	5,39	2,62	1,87	1,49	1,24	5,20	5,32	5,46	5,37	5,5
	5,33	2,66	1,80	1,52	1,13	5,18	5,34	5,25	5,37	5,43
	5,32	2,72	1,86	1,47	1,24	5,25	5,28	5,45	5,4	5,5
	5,37	2,76	1,85	1,35	1,08	5,26	5,24	5,24	5,44	5,49
5,29	2,73	1,82	1,35	1,13	5,23	5,23	5,21	5,37	5,41	
5,19	2,68	1,96	1,48	1,25	5,17	5,33	5,28	5,4	5,48	
35	4,04	2,02	1,5	1,18	0,84	4,01	3,93	4,05	4,39	4,01
	4,11	2,03	1,47	1,11	1,02	4	3,84	4,16	4,3	4,44
	4,06	2,16	1,43	1,20	0,97	3,97	3,98	4,07	4,1	4,26
	3,86	1,97	1,38	1,24	0,91	3,85	3,91	4,11	4,26	4,34
	4,16	1,99	1,48	1,16	1	3,99	3,83	3,88	4,22	4,45
	4,10	2,17	1,5	1,15	0,94	4,00	3,96	4,09	3,93	3,98

	3,98	2,21	1,43	1,08	0,93	3,96	4,09	3,91	3,91	4,09
	4,01	2,07	1,42	1,22	0,94	3,87	3,98	3,93	4,08	4,1
	4,09	2,19	1,49	1,20	0,89	3,98	4,05	4,07	4,01	3,91
	4,07	2,14	1,4	1,03	0,92	4,00	3,95	4,03	3,93	4,09
	4,05	2,05	1,44	1,12	0,97	4,00	3,95	3,95	3,92	4,08
	4,05	2,09	1,43	1,17	0,94	3,89	3,93	4,10	3,92	4,02
	4,06	1,99	1,45	1,02	1	4,00	3,93	4,05	4,00	4,05
	3,84	2,14	1,56	1,08	0,81	3,83	3,96	4,08	3,91	4,01
	4,06	2,07	1,43	1,14	0,97	3,90	3,98	3,96	4,05	4,1
	3,85	2,1	1,55	1,05	0,94	3,84	4,03	4,09	3,93	3,99
	3,99	2,13	1,43	1,11	0,98	3,88	4,01	3,96	4,09	3,92
	3,93	2,07	1,51	1,05	0,85	3,83	3,94	4,07	3,95	4,07
	3,98	2,08	1,35	1,20	0,88	3,86	4,08	4,01	4,09	3,93
	4,11	2,05	1,36	1,05	0,86	3,98	3,98	3,97	4,01	4,06
	4,04	2,02	1,5	1,18	0,84	4,01	3,93	4,05	4,39	4,01
40	2,74	1,61	1,16	0,76	0,66	2,66	3,21	3,1	3,06	3,08
	2,7	1,64	1,25	0,77	0,68	2,62	3,28	3,2	3,1	3,36
	2,6	1,45	1,13	0,69	0,74	2,59	2,9	2,9	2,77	3,2
	2,8	1,43	1,07	0,76	0,67	2,79	2,86	3	3,05	3,29
	2,96	1,43	1,07	0,8	0,72	2,84	2,85	3,04	3,2	3,36
	3,23	1,46	1,03	0,76	0,76	2,77	3,05	2,92	3,06	3,34
	3,09	1,48	1,02	0,78	0,80	2,81	3,03	2,98	3,15	3,12
	3,18	1,64	1,26	0,8	0,78	2,84	2,93	2,98	3,21	3,34
	3,14	1,59	1,04	0,81	0,73	2,71	2,96	3,02	3,27	3,12
	3,4	1,57	1,19	0,73	0,64	2,83	2,93	2,94	2,93	3,16
	3,06	1,56	1,11	0,79	0,65	2,82	2,92	2,99	3,18	3,18
	3,19	1,60	1,02	0,77	0,68	2,78	2,99	2,94	3,1	3,13
	3,1	1,62	1,15	0,81	0,70	2,73	2,98	2,97	3,25	3,33
	3,38	1,46	1,12	0,73	0,62	2,82	3	2,95	2,95	3,27
	3,02	1,47	1,08	0,81	0,75	2,84	2,86	2,94	3,25	3,28
	3,2	1,49	1,2	0,76	0,68	2,74	3	3,05	3,06	3,26
3,33	1,55	1,18	0,78	0,72	2,73	2,92	3,02	3,13	3,18	
3,38	1,46	1,05	0,78	0,81	2,63	2,85	2,96	3,14	3,27	

Lampiran 3. Data Efisiensi

Tabel 3.1 Data Efisiensi pada PLTMh

Sudut	Efisiensi
20	89,60%
25	85,87%
30	79,22%
35	54,89%
40	34,12%

Tabel 3.2 Data Perhitungan Gaya Hidrostatik pada turbin

No	Sudut	Pw (N)	Ps
1	20	1,85	1,66
2	25	2,24	1,93
3	30	2,64	2,10
4	35	3,04	1,67
5	40	3,40	1,16

BIODATA PENULIS



Penulis yang semasa kuliahnya akrab dipanggil Apip ini lahir di Jakarta pada tanggal 8 November 1998. Memiliki nama lengkap Afif Mahrus Kurnia Putra aseorang anak kedua dari Bapak Kholil dan Ibu Binti. Dengan satu adik Laki-laki bernama Aufa. Penulis bertempat tinggal di kota Jakarta Barat. Setelah lulus dari SMAN 78 Jakarta, penulis melanjutkan pendidikan formal di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengambil program sarjana Fisika dan tertarik pada bidang Instrumentasi Elektronika. Penulis merupakan salah satu anggota dari Laboratorium Instrumentasi Elektronika Departemen Fisika ITS. Selama menjalani masa kuliah, penulis cukup aktif dalam kegiatan dan organisasi. Beberapa diantaranya adalah staff Hubungan Luar Himasika ITS 2017-2018 dan Ketua Departemen Hubungan Luar Himasika ITS 2018-2019, Penulis juga aktif dalam kegiatan di dalam kampus seperti panitia keamanan dan perizinan ITS Basketball League 2017 dan *Instructor Committee* Radiasi Himasika ITS 2018-2019. Dalam keseharian sehari-hari penulis tertarik dalam berbagai macam hal, seperti musik, film, *game*, fotografi, *traveling* dan diskusi. Penulis berharap karya ini dapat bermanfaat bagi setiap orang yang membacanya (afifmkp@gmail.com)