



**ANALISA VARIASI DEBIT AIR TERHADAP KINERJA
TURBIN ULIR (TURBIN ARCHIMEDES SCREW)**

SKRIPSI

Oleh:

Yosy Putra Kurniawan

191910101119

PROGRAM STUDI STRATA I TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2021



**ANALISA VARIASI DEBIT AIR TERHADAP KINERJA
TURBIN ULIR (TURBIN ARCHIMEDES SCREW)**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:

Yosy Putra Kurniawan

191910101119

PROGRAM STUDI STRATA I TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2021

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kehadiran Allah SWT, laporan skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Orang tua saya Bapak Misto Sriwibowo dan Ibu Holifah, terimakasih atas pengorbanan, doa, dukungan, kasih sayang, nasehat, dan air mata yang menetes dalam setiap setiap untaian doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah bagi perjuangan dan keberhasilan penulis;
2. Saudara dan kerabat dekat, terimakasih atas bantuan, motivasi, dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis;
3. Guru yang telah mengajarkan saya di SDN 01 Yosowilangun Kidul, SMPN 1 Yosowilangun, SMAN 2 Lumajang, serta Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Terimakasih atas ilmu dan didikan yang telah diberikan kepada penulis;
4. Teman dan sahabat dari masa sekolah saya yang telah memberikan bantuan, dukungan dan motivasi kepada penulis;
5. Teman-teman saya di Fakultas Teknik Universitas Jember, khususnya DIII dan S1 Teknik Mesin angkatan 2016, yang memberikan pengalaman hidup yang sangat berharga bagi penulis selama masa perkuliahan;
6. Teman-teman tim riset turbin ulir (Anang, Gigih, Robby, Aldio), yang telah membantu dan memberi masukan dalam penyusunan skripsi ini.
7. Almamater Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

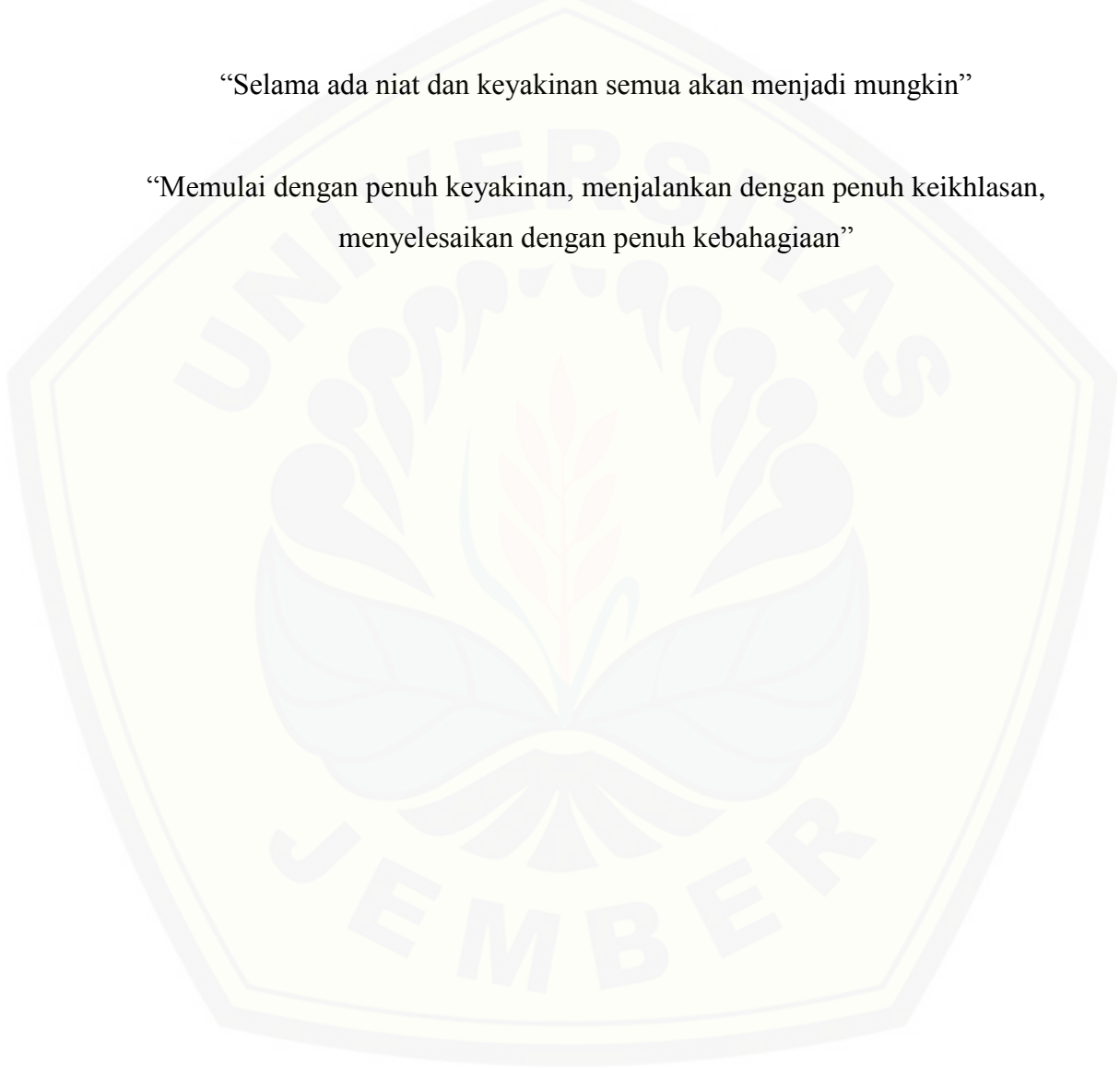
MOTTO

”Barang siapa yang bersungguh sungguh, sesungguhnya keniatan tersebut untuk
kebaikan dirinya sendiri”

(Surat Al-Ankabut Ayat 6)

“Selama ada niat dan keyakinan semua akan menjadi mungkin”

“Memulai dengan penuh keyakinan, menjalankan dengan penuh keikhlasan,
menyelesaikan dengan penuh kebahagiaan”



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yosy Putra Kurniawan

NIM : 191910101119

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir (skripsi) yang berjudul “**Analisa Variasi Debit Air Terhadap Kinerja Turbin Ulir (Turbin Archimedes Screw)**” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 29 Juli 2021

Yang menyatakan,

Yosy Putra Kurniawan

NIM 191910101119

SKRIPSI

**“ANALISA VARIASI DEBIT AIR TERHADAP KINERJA
TURBIN ULIR (TURBIN ARCHIMEDES SCREW)”**

Oleh

Yosy Putra Kurniawan

191910101119

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Ir. Agus Triono, S.T., M.T

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Skripsi yang berjudul “Analisa Variasi Debit Air Terhadap Kinerja Turbin Ulir (Turbin Archimedes Screw)” akan diuji dan disahkan pada :

Waktu : Jumat, 30 Juli 2021

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji,

Dosen Penguji I,

Dosen Penguji II,

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.
NIP. 196008121998021001

Dr. Muh. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T
NIP.196911221997021001

Mengetahui,

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T
NIP. 198501172012121009

Dr. Ir. Agus Triono, S.T., M.T
NIP. 197008072002121001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 197008261997021001

RINGKASAN

“ANALISA VARIASI DEBIT AIR TERHADAP KINERJA TURBIN ULIR (TURBIN ARCHIMEDES SCREW)”; Yosy Putra Kurniawan., 191910101119; 69 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Energi air merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dalam skala kecil maupun skala besar. Pembangkit listrik skala kecil disebut sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), dimana tenaga penggerakannya menggunakan aliran air yang memanfaatkan tinggi *head* dan debit aliran air seperti sungai, saluran irigasi dan air terjun. Daerah di Indonesia yang tidak semuanya berada di dataran tinggi, maka turbin air yang cocok untuk daerah dataran rendah yang memiliki *head* rendah yaitu turbin ulir atau archimedes *screw*, karena turbin ini dapat beroperasi pada ketinggian *head* 1-15 m.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja turbin ulir dengan memvariasikan debit air, cara untuk memvariasikan debit air yaitu menggunakan bukaan stop kran sebesar $\frac{1}{4}$ (lebar 28 mm), $\frac{1}{2}$ (lebar 57 mm), $\frac{3}{4}$ (lebar 85 mm) dengan masing-masing menghasilkan debit air $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$. Sudut kemiringan turbin yang digunakan sebesar 30° dan *head* turbin 1,25 m. Proses pengujian alat dilakukan di samping aliran sungai, tujuannya yaitu agar lebih mudah dalam pengisian air tandon menggunakan pompa air. Setelah dilakukan pengujian dan perhitungan data, didapatkan hasil maksimum putaran poros sebesar 423,3 rpm dengan daya *output* 0,78 watt pada debit $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$, torsi maksimum yang dihasilkan 0,024 Nm pada debit $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$ dan efisiensi maksimum sebesar 13,1% pada debit $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisa Variasi Debit Air Terhadap Kinerja Turbin Ulir (Turbin Archimedes Screw)” Laporan Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (SI) pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Bapak Ir. Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T dan Dr. Ir. Agus Triono, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini.
2. Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T dan Dr. Muh. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T selaku dosen penguji yang tak lelah memberikan kritik dan saran sehingga penelitian dan penulisan ini menjadi lebih baik.
3. Bapak Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama kuliah.
4. Bapak Misto Sriwibowo dan Ibu Holifah yang telah menjadi orang tua yang sangat baik dalam mendidik, memberi nasehat demi kehidupan penulis menjadi lebih baik, selalu memberikan kasih sayang, perhatian, materi, dan serta doa yang selalu dihaturkan setiap saat untuk penulis .
5. Semua pihak yang telah membantu,

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Jember, 29 Juli 2021

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.3.1 Tujuan Penelitian	3
1.3.2 Manfaat Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	5
2.2 Turbin Air	6
2.2.1 Klasifikasi Turbin Air	7
2.3 Turbin Ulir (Archimedes Screw)	8
2.4 Dimensi Turbin Ulir	11
2.5 Kemiringan Turbin Archimedes Screw	13
2.6 Parameter Turbin Archimedes Screw	14
2.6.1 Debit Air dan Daya Hidrolis	14
2.6.2 Daya Generator	15

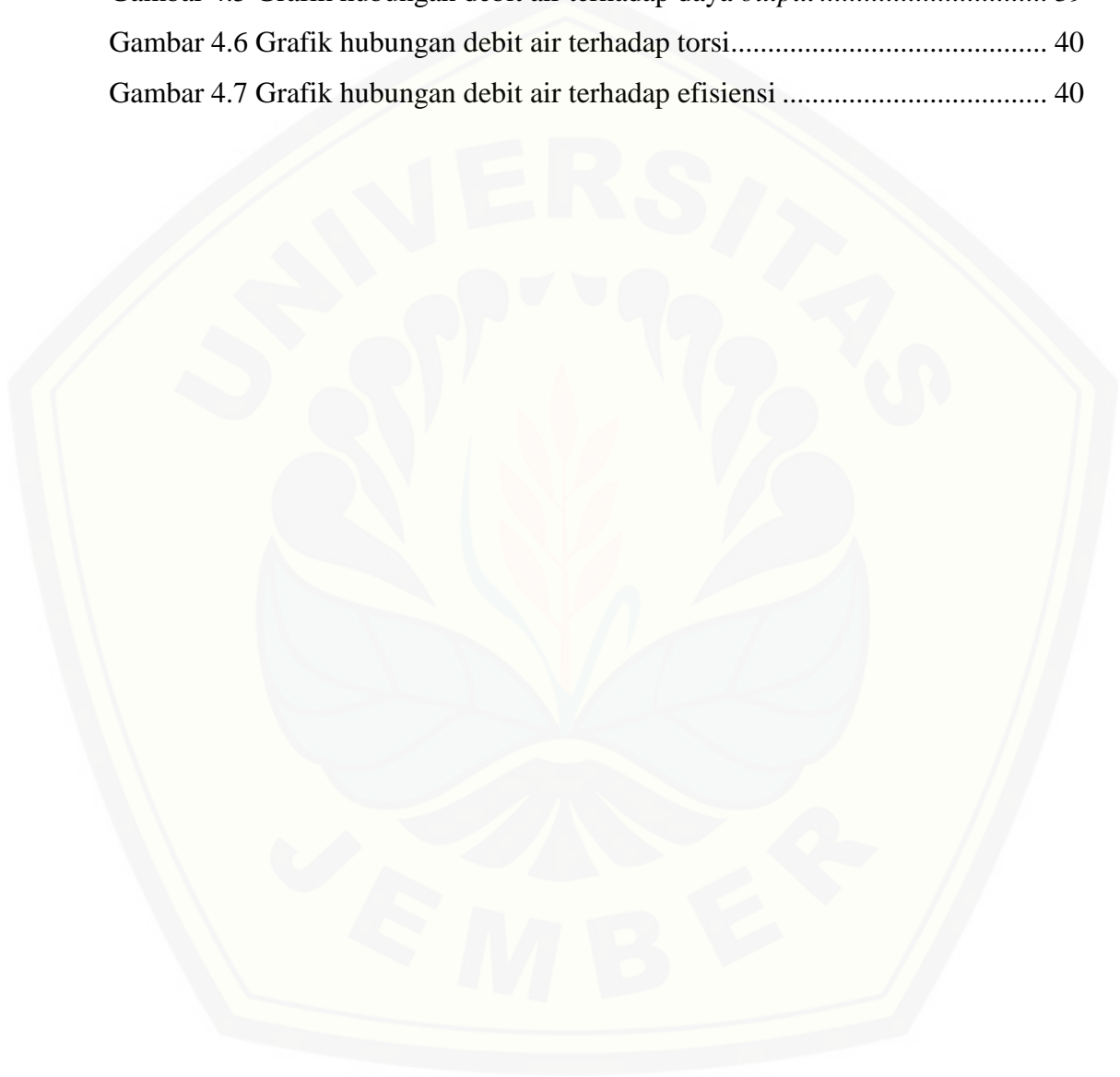
2.6.3 Torsi	15
2.6.4 Efisiensi Turbin.....	15
2.7 Tachometer	16
2.8 Multimeter.....	16
2.9 Metode Analysis Of Variance (ANOVA).....	17
2.10 Penelitian Sebelumnya	18
2.11 Hipotesis	20
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Metode Penelitian	21
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2.1 Tempat Penelitian.....	21
3.2.2 Waktu Penelitian	21
3.3 Alat dan Bahan	22
3.3.1 Alat Penelitian.....	22
3.3.2 Bahan Penelitian.....	26
3.4 Skema Alat	26
3.4.1 Skema Sudu Ulir	26
3.4.2 Skema Kompenan pada Rotor	27
3.4.3 Skema Pengujian Turbin Ulir.....	27
3.5 Prosedur Penelitian	28
3.6 Pelaksanaan Penelitian	29
3.6.1 Variabel Penelitian	29
3.6.2 Pemilihan dan Pengukuran Nilai Debit Air	30
3.6.3 Pengambilan Data	31
3.6.4 Pengolahan Data.....	31
3.6.5 Perencanaan Analisa Data	32
3.7 Diagram Alir Penelitian	35
BAB 4. PEMBAHASAN	36
4.1 Pengujian Turbin Ulir.....	36
4.2 Hasil Pengukuran dan Pengolahan Data	37
4.2.1 Data hasil pengukuran.....	37

4.2.2 Hasil Pengolahan Data	38
4.3 Analisa Pembahasan Data	38
4.3.1 Hubungan debit air terhadap putaran poros turbin ulir	38
4.3.2 Hubungan debit air terhadap daya <i>output</i> turbin ulir	39
4.3.3 Hubungan debit air terhadap torsi turbin ulir	40
4.3.4 Hubungan debit air terhadap efisiensi turbin ulir.....	40
4.4 Analisis Data	41
4.4.1 Uji Normalitas	41
4.4.2 Uji Homogenitas	42
4.4.3 Uji ANOVA <i>One Way</i>	43
BAB 5. PENUTUP.....	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	51
Lampiran A. Data Hasil Pengukuran dan Pengujian	53
Lampiran B. Perhitungan	54
Lampiran C. <i>Output</i> analisis menggunakan SPSS.....	56
Lampiran D. Dokumentasi Penelitian.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema PLTMH	6
Gambar 2.2 Turbin <i>impuls</i>	7
Gambar 2.3 Turbin reaksi	8
Gambar 2.4 Klasifikasi turbin berdasarkan <i>head</i> dan daya <i>output</i>	8
Gambar 2.5 Skema turbin archimedes <i>screw</i>	9
Gambar 2.6 Skema prinsip kerja turbin archimedes <i>screw</i>	10
Gambar 2.7 profil ulir 2 sudu	11
Gambar 2.8 Kemiringan <i>head</i> turbin archimedes <i>screw</i>	13
Gambar 2.9 Cara menggunakan <i>tachometer</i>	16
Gambar 2.10 Alat ukur <i>multimeter</i>	16
Gambar 2.11 Grafik debit air terhadap daya <i>output</i> dan efisiensi.....	18
Gambar 3.1 Turbin ulir	22
Gambar 3.2 <i>Tachometer</i>	22
Gambar 3.3 <i>Multimeter</i> DT-9205A.....	23
Gambar 3.4 alat pengukur kemiringan.....	24
Gambar 3.5 Gelas ukur	24
Gambar 3.6 Pompa air.....	24
Gambar 3.7 <i>Stopwatch</i>	25
Gambar 3.8 Kran.....	25
Gambar 3.9 Generator.....	26
Gambar 3.10 Skema sudu ulir.....	26
Gambar 3.11 Kompenan pada rotor	27
Gambar 3.12 Alat turbin ulir.....	27
Gambar 3.13 Skema pengujian	28
Gambar 3.14 Grafik debit air terhadap putaran poros.....	33
Gambar 3.15 Grafik debit air terhadap torsi	33
Gambar 3.16 Grafik debit air terhadap daya <i>output</i>	33
Gambar 3.17 Grafik debit air terhadap efisiensi	34
Gambar 3.18 Diagram alir penelitian.....	35

Gambar 4.1 Pengujian turbin ulir.....	36
Gambar 4.2 Sudut kemiringan turbin.....	36
Gambar 4.3 Proses pengukuran putaran poros.....	37
Gambar 4.4 Grafik hubungan debit air terhadap putaran poros.....	38
Gambar 4.5 Grafik hubungan debit air terhadap daya <i>output</i>	39
Gambar 4.6 Grafik hubungan debit air terhadap torsi.....	40
Gambar 4.7 Grafik hubungan debit air terhadap efisiensi	40



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan efisiensi turbin air terhadap tingkat rendaman.....	10
Tabel 2.2 Data eksperimen dan hasil perhitungan	19
Tabel 2.3 Data pengujian dan hasil perhitungan.....	19
Tabel 3.1 Jadwal kegiatan pelaksanaan	21
Tabel 3.2 Spesifikasi <i>multimeter</i> DT-9205A	23
Tabel 3.3 Pengambilan data nilai debit air.....	30
Tabel 3.4 Pengukuran putaran poros, tegangan listrik, arus listrik.....	31
Tabel 3.5 Data daya <i>input</i>	32
Tabel 3.6 Data torsi.....	32
Tabel 3.7 Data daya <i>output</i>	32
Tabel 3.8 Data efisiensi.....	32
Tabel 4.1 Hasil data pengukuran putaran poros, tegangan, arus listrik	38
Tabel 4.2 Data hasil pengujian kinerja turbin ulir.....	38
Tabel 4.3 Uji Normalitas.....	42
Tabel 4.4 Uji Homogenitas	43
Tabel 4.5 Uji ANOVA Debit Air terhadap Putaran Poros.....	44
Tabel 4.6 Uji Lanjut Tukey terhadap Putaran Poros.....	44
Tabel 4.7 Uji ANOVA Debit Air terhadap Daya <i>Output</i>	45
Tabel 4.8 Uji Lanjut Tukey terhadap Daya <i>Output</i>	46
Tabel 4.9 Uji ANOVA Debit Air terhadap Torsi.....	47
Tabel 4.10 Uji Lanjut Tukey terhadap Torsi.....	47
Tabel 4.11 Uji ANOVA Debit Air terhadap Efisiensi	48
Tabel 4.12 Uji Lanjut Tukey terhadap Efisiensi	48

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berbagai negara salah satunya Indonesia, masyarakat sangat membutuhkan energi listrik, mulai dari masyarakat perkotaan hingga pedesaan. Hal ini karena energi listrik berguna untuk menunjang aktifitas sehari-hari seperti sebagai sumber penerangan, untuk memasak, dan masih banyak manfaat lainnya. Kebutuhan listrik yang semakin lama menjadi semakin besar, mengakibatkan sumber energi berbahan minyak bumi dan batu bara menjadi semakin menipis (Juliana dkk, 2018). Sumber energi berupa air memiliki energi potensial pada kondisi air jatuh dan pada kondisi air mengalir termasuk dalam energi kinetik. Dalam kaidah kekekalan energi menjelaskan bahwa bentuk energi dapat diubah bentuknya menjadi energi lain (Yandra dan Djufri, 2019). Energi listrik bisa didapatkan dari lingkungan sekitar misalnya pemanfaatan energi air, energi panas matahari, dan energi angin. Ketiga energi tersebut merupakan bagian dari sumber energi terbarukan, dimana energi tersebut dapat diproduksi kembali oleh alam.

Energi air merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dalam skala kecil maupun skala besar. Pembangkit listrik skala kecil disebut sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), dimana tenaga penggeraknya menggunakan aliran air yang memanfaatkan tinggi *head* dan debit aliran air seperti sungai, saluran irigasi dan air terjun (Putra dkk, 2018). Daerah di Indonesia yang tidak semuanya berada di dataran tinggi, maka turbin air yang cocok untuk daerah dataran rendah yang memiliki *head* rendah yaitu turbin ulir atau archimedes *screw*, karena turbin ini dapat beroperasi pada ketinggian *head* 1-15 m. (Irwansyah dkk, 2019)

Pada zaman dahulu archimedes *screw* dipergunakan sebagai pompa, dimana pada bagian porosnya memiliki sudu berbentuk *screw* yang dipergunakan untuk mengangkut air ke atas. Seiring berjalannya waktu dan kebutuhan manusia terhadap potensi energi air terhadap turbin yang memiliki

head rendah, maka archimedes *screw* dipergunakan sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro atau turbin air (Harja dkk, 2014). Secara umum prinsip kerjanya yaitu aliran air masuk kedalam sudu ulir (*bucket*) dan keluar menuju aliran bagian bawah, dalam hal ini posisi turbin memiliki sudut kemiringan tertentu sehingga terjadi tekanan hidrostatik akibat gaya gravitasi yang menimbulkan air mengalir kebawah mendorong sudu dan memutar poros yang terhubung dengan generator sehingga menghasilkan energi listrik.

Dalam turbin ulir ini sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian yaitu memvariasikan debit air untuk mengetahui daya dan efisiensi terbaik pada turbin. Menurut Saefudin dkk (2017) bahwa variasi debit yang masuk ke turbin diatur menggunakan papan ukur yang bukaannya masing-masing sebesar 0,15 m menghasilkan debit air 0,143 m³/s, 0,20 m sebesar 0,211 m³/s, dan 0,25 m sebesar 0,277 m³/s dengan sudut kemiringan turbin sebesar 35⁰. Setelah dilakukan pengujian dan perhitungan, pada debit air sebesar 0,277 m³/s menghasilkan daya maksimum turbin sebesar 521.84 watt dan efisiensi maksimum pada generator turbin sebesar 17,82 %.

Menurut Irwansyah dkk (2019) bahwa peneliti melakukan variasi debit air sebesar 0,02 m³/s, 0,009 m³/s, dan 0,003 m³/s dengan sudut kemiringan turbin sebesar 30⁰. Setelah dilakukan pengujian dan perhitungan maka didapatkan hasil bahwa nilai debit air terbesar sebesar 0,02 m³/s yang menghasilkan putaran poros turbin sebesar 236,40 rpm dengan daya sebesar 116,10 watt dan efisiensi maksimum sebesar 57%.

Menurut Maulana dkk (2019) bahwa penelitian variasi debit yang digunakan yaitu sebesar debit air 0,025 m³/s, 0,013 m³/s, 0,0044 m³/s. Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil putaran poros masing-masing sebesar 295 rpm, 236 rpm, dan 177 rpm. Daya yang dihasilkan sebesar 116,1 watt, 67,06 watt, dan 21,74 watt. Peneliti juga menyimpulkan bahwa untuk memperoleh torsi dan daya maksimum, kondisi aliran harus dijaga pada tingkat tertinggi.

Dalam paparan penelitian terdahulu maka, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian yang memvariasikan debit air yang masuk kedalam *bucket* turbin dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh debit air terhadap kinerja turbin ulir,

nantinya debit air divariasikan menggunakan bukaan kran dari air tandon sebelum mengalir masuk ke dalam rotor turbin. Nantinya setelah dilakukan pengujian, akan menghitung parameter-parameter dan mendapatkan hasil yang maksimal dari salah satu variasi debit air tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada laporan proposal ini yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan, antara lain :

- a. Bagaimana pengaruh variasi debit air terhadap putaran poros turbin ulir?
- b. Bagaimana pengaruh variasi debit air terhadap torsi turbin ulir?
- c. Bagaimana pengaruh variasi debit air terhadap daya turbin ulir?
- d. Bagaimana pengaruh variasi debit air terhadap efisiensi turbin ulir?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang didapat dari rumusan masalah tersebut, antara lain :

- a. Untuk mengetahui pengaruh variasi debit air terhadap putaran poros turbin ulir.
- b. Untuk mengetahui pengaruh variasi debit air terhadap torsi turbin ulir.
- c. Untuk mengetahui pengaruh variasi debit air terhadap daya turbin ulir.
- d. Untuk mengetahui pengaruh variasi debit air terhadap efisiensi turbin ulir.

1.3.2 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang nantinya akan didapat dari melakukan penelitian ini, antara lain :

- a. Turbin ulir nantinya dapat direalisasikan di sungai dan bermanfaat bagi masyarakat sekitar.
- b. Dapat dijadikan referensi untuk penelitian berikutnya yang berhubungan dengan turbin ulir.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang terdapat pada penelitian ini agar tidak terjadi perluasan topik pembahasan, antara lain :

- a. Suhu air dan lingkungan pada saat pengujian diasumsikan sama.
- b. Kondisi air pada saat pengujian diasumsikan sama.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Pembangkit listrik dalam skala kecil yang memanfaatkan energi air sebagai tenaga penggerak disebut dengan turbin air atau Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Mikrohidro ini umumnya diaplikasikan pada aliran sungai, saluran irigasi dan air terjun yang memanfaatkan tinggi *head* air dan debit aliran air. Secara umum, pembangkit listrik mikrohidro mempunyai komponen utama antara lain air sebagai tenaga penggerak, turbin meliputi poros dan sudu, dan generator sebagai penghasil listrik. Mikrohidro memanfaatkan tinggi *head*, dalam hal ini semakin tinggi *head* air maka energi listrik yang didapatkan dari energi potensial air maka semakin besar (Apriansyah dkk, 2016). Prinsip kerja PLTMH pada intinya yaitu memanfaatkan debit aliran air yang ada di sungai, air terjun, serta memanfaatkan ketinggian yang berbeda pada aliran air. Sudu turbin terkena benturan aliran air yang selanjutnya poros turbin ditransmisikan ke generator berputar, kemudian menghasilkan energi listrik (Putra dkk, 2018).

Dalam proses pemanfaatan PLTMH sebagai pembangkit listrik sangat dibutuhkan identifikasi yang tepat pada suatu wilayah mengenai potensi dalam proses perancangan pembangkit listrik yang cocok dengan lingkungan tersebut. Proses identifikasi dan perancangan yang baik adalah dengan tidak mengganggu aliran sungai dan tidak menyebabkan dampak buruk pada lingkungan sekitar (Nasir, 2014).

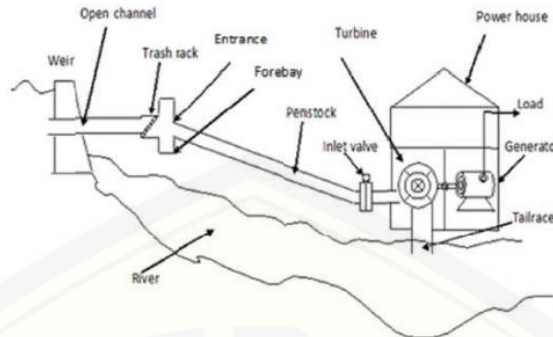
Kelebihan dari PLTMH, antara lain :

- a. Biaya operasional yang cukup terjangkau, karena memanfaatkan energi terbarukan yang memiliki jangka waktu penggunaan yang cukup lama.
- b. Proses perawatan yang baik dan benar dapat memperpanjang usia turbin.
- c. Energi air yang digunakan sebagai tenaga penggerak tidak menyebabkan pencemaran air dan udara.

Sedangkan, kekurangan dari PLTMH, antara lain:

- a. Pada awal perancangan memerlukan waktu yang cukup lama, serta biaya pembuatan yang cukup mahal.

- b. Air yang sebagai tenaga penggerak dipengaruhi oleh cuaca atau curah hujan.



Gambar 2.1 Skema PLTMH (Nasir, 2014)

Pada umumnya, pembangkit listrik tenaga mikrohidro memiliki komponen utama, antara lain (Mafrudin, 2016):

- 1) Bendungan pengalih atau *intake*, berfungsi untuk mengarahkan aliran air melewati *intake* di sisi sungai menuju bak pengendap.
- 2) Bak pengendap, berfungsi untuk memisahkan kotoran (kerikil, pasir) sebelum air masuk ke dalam rotor turbin.
- 3) Saluran pembawa, berfungsi untuk menjaga elevasi dari air yang akan disalurkan dan mengikuti kontur dari sisi bukit.
- 4) Pipa pesat atau *penstock*, menghubungkan sebuah elevasi yang lebih rendah ke rotor turbin.
- 5) Turbin, memiliki fungsi mengubah energi potensial serta energi kinetik air menjadi energi mekanik.
- 6) Generator, memiliki fungsi mengubah energi mekanik dari putaran rotor menjadi energi listrik.

2.2 Turbin Air

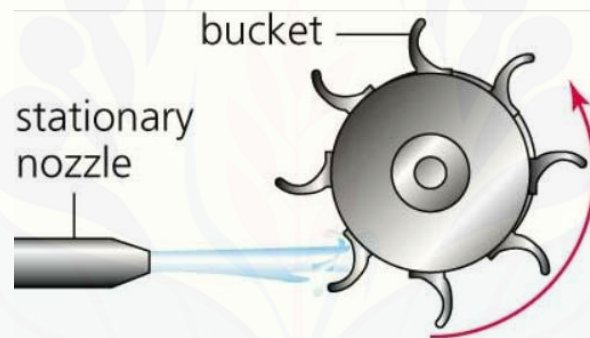
Turbin yang menggunakan tenaga penggerak air disebut turbin air. Turbin air pada umumnya memiliki komponen berupa poros, sudu, dan generator. Prinsip kerja dari turbin air secara sederhana yaitu fluida air mengalir melalui poros dan sudu turbin sehingga rotor turbin berputar (Mafrudin, 2016).

2.2.1 Klasifikasi Turbin Air

Berikut ini adalah klasifikasi turbin air yang dijadikan sebagai pembangkit listrik yaitu turbin *impuls* dan turbin reaksi.

a. Turbin *Impuls*

Turbin *impuls* merupakan turbin yang memiliki tekanan yang sama antara tekanan aliran keluar pada *nozzle* dengan tekanan atmosfer disekitarnya. Secara umum prinsip kerjanya yaitu air masuk melalui *nozzle*, kemudian air keluar dari *nozzle* dengan kecepatan tinggi sehingga membentur sudu turbin. Akibat terjadinya benturan pada sudu, sehingga arah kecepatan aliran menjadi berubah yang mengakibatkan perubahan momentum (*impuls*), yang kemudian terjadi putaran pada rotor turbin. Turbin *impuls* ini diklasifikasikan lagi menjadi turbin *crossflow*, turbin turgo dan turbin pelton. (Mafrudin, 2016)

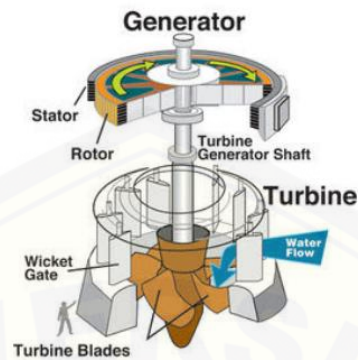


Gambar 2.2 Turbin *impuls* (pintarelektro.com)

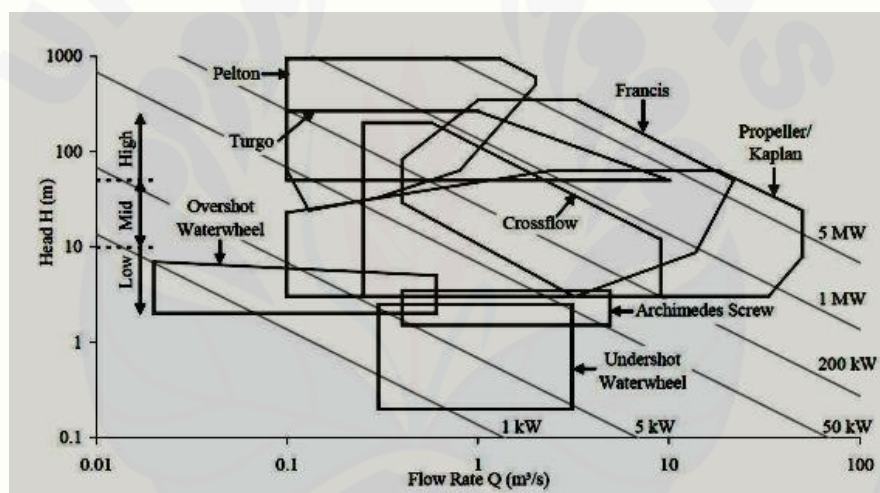
b. Turbin Reaksi

Turbin reaksi memiliki bentuk khusus pada bagian sudunya yang mengakibatkan penurunan tekanan air ketika melewati sudu tersebut. Perbedaan tekanan pada sudu yang menghasilkan sehingga *runner* dapat berputar. Prinsip kerjanya yaitu ketika air mengalir masuk ke rotor turbin melewati sudu pengarah yang bertekanan tinggi, saat air yang memiliki tekanan mengalir pada sudu, maka terjadi putaran rotor turbin. Energi air akan berkurang saat air mulai keluar dari sudu, karena energi tersebut telah dikonversi menjadi energi mekanik oleh rotor turbin. Klasifikasi turbin reaksi yaitu turbin francis, turbin kaplan dan turbin ulir (*archimedes screw*). Turbin ulir termasuk turbin reaksi karena terjadi tekanan

hidrostatik didalam rotor yang mendorong sudu dan memutar rotor. (Mafrudin, 2016)



Gambar 2.3 Turbin reaksi (duniapembangkitlistrik.com)

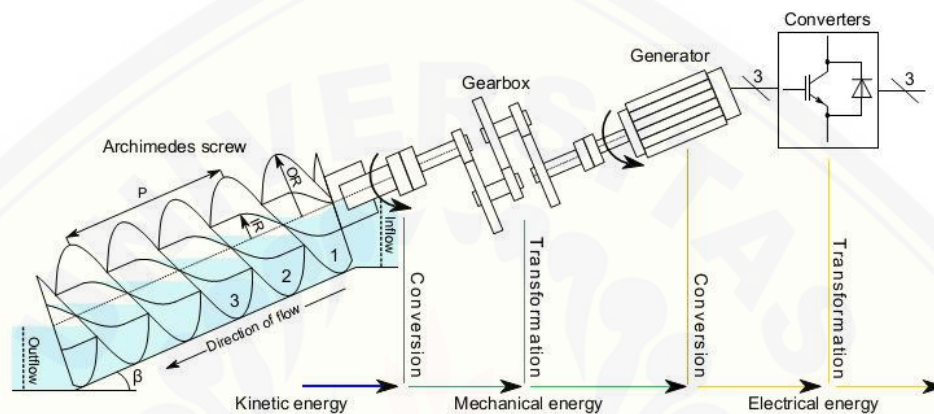


Gambar 2.4 Klasifikasi turbin berdasarkan head dan daya output (Irwansyah dkk ,2019)

2.3 Turbin Ulir (Archimedes Screw)

Turbin ulir (archimedes screw) merupakan jenis turbin air yang memiliki sudu berbentuk ulir. Pada zaman dahulu, archimedes screw digunakan sebagai pompa untuk mengalirkan air di taman. Pompa ini dulunya sangat diperlukan oleh kalangan insinyur romawi. Pada awalnya, pompa archimedes diciptakan dengan tujuan untuk mengeluarkan air dan menaikkan air dari sungai menuju taman. Seiring berjalannya waktu dan terbatasnya energi potensial air yang memiliki head tinggi, sehingga pada tahun 2007 seorang insinyur menyampaikan ide bahwa apabila pompa dibiarkan berputar dalam kondisi terbalik dan membiarkan air

mengendalikan pompa tersebut, yang kemudian dipasang generator maka akan menghasilkan energi listrik. Jadi prinsip turbin archimedes *screw* merupakan pembalikan dari fungsi pompa ulir tersebut. (Havendri dan Arnif, 2010). Turbin archimedes *screw* dapat beroperasi pada *head* yang sangat rendah yaitu dengan ketinggian *head* antara 1-15 m. Sudut kemiringan terbaik untuk archimedes *screw* berkisar antara 30° - 60° . (Irwansyah dkk, 2019)



Gambar 2.5 Skema turbin archimedes *screw* (Irwansyah dkk, 2019)

Air berfungsi sebagai penggerak utama poros dan sudu turbin atau *screw*, dimana kecepatan putaran rotor yang dihasilkan bergantung pada debit air dan ketinggian *head* dalam menghasilkan energi potensial. Debit air adalah banyaknya jumlah air (volume) yang mengalir pada turbin per satuan waktu (m^3/s) dan ketinggian *head* air pada turbin merupakan jarak antara titik air dengan turbin. Energi potensial yang dihasilkan oleh air selanjutnya dikonversi menjadi energi mekanik berupa putaran poros dengan sudu ulir turbin. Sehingga putaran rotor yang terhubung dengan generator dapat menghasilkan energi listrik. (Saleh dan Syafitra, 2016)

Adapun kelebihan dari turbin archimedes *screw* dibandingkan dengan jenis turbin lainnya, antara lain (Havendri dan Arnif, 2010):

- Biaya pembuatan konstruksinya lebih terjangkau.
- Pintu air dan konstruksi bendungan yang sederhana.
- Tidak berdampak buruk pada ekosistem sungai.
- Perawatan yang mudah dan biayanya murah.

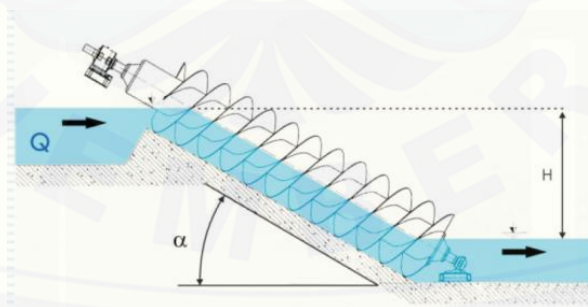
- e. Efisiensinya yang tinggi, dengan variasi debit yang kecil maupun besar.
- f. Pengoperasiannya mudah.
- g. Tidak membutuhkan *draft tube*.
- h. Menggunakan peralatan unit yang standar dan generator standar sehingga menekan biaya operasionalnya.

Berdasarkan tabel 2.1 berikut ini, ditunjukkan perbandingan efisiensi turbin ulir (*archimedes screw*), turbin kaplan, turbin francis dan turbin banki (*crossflow*) terhadap tingkat rendaman sudu dalam air. Tabel tersebut menunjukkan bahwa turbin ulir (*archimedes screw*) memiliki nilai efisiensi yang lebih baik daripada jenis turbin lain untuk seluruh kondisi rendaman. Pada tingkat rendaman 10% efisiensi 25% dan pada tingkat rendaman 100% efisiensinya 87%.

Tabel 2.1 Perbandingan efisiensi turbin air terhadap tingkat rendaman

<i>Water engine type</i>	<i>Water engine filling (%)</i>									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Archimedean screw	25	74	77	79	82	83	84	85	86	87
Kaplan turbine	15	70	85	88	90	90	90	90	88	85
Francis turbine	-	-	15	58	72	78	82	82	82	80
Banki turbine	-	40	60	68	72	74	75	74	72	70
	<i>Water engine efficiency (%)</i>									

Sumber : Harja dkk, 2014



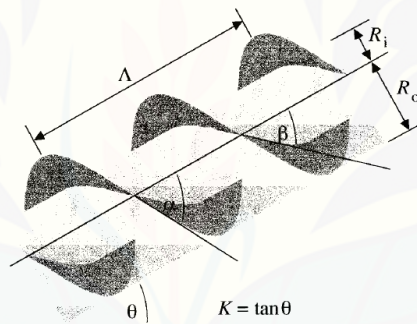
Gambar 2.6 Skema prinsip kerja turbin archimedes screw (Harja dkk, 2014)

Dilihat dari gambar di atas, turbin archimedes *screw* memiliki prinsip kerja yang cukup sederhana yaitu (Harja dkk, 2014)

- 1) Air mengalir dari ujung atas masuk ke rotor turbin dan keluar menuju bawah ;
- 2) Terjadi gaya berat air dan tekanan hidrostatis sepanjang rotor sehingga mendorong sudu dan memutar rotor;
- 3) Sehingga generator berputar karena disambungkan dengan poros atau rotor turbin ulir.

2.4 Dimensi Turbin Ulir

Geometri dalam merancang turbin ulir (*Archimedes screw*) ditentukan oleh dimensi luar dan dimensi dalam turbin.



Gambar 2.7 profil ulir 2 sudu (Harja dkk, 2014)

Keterangan :

R_i	= jari-jari dalam sudu ulir	(m)
R_o	= jari-jari luar sudu turbin	(m)
Λ	= kisar ulir sudu turbin	(m)
K	= jarak ujung rotor terhadap <i>head</i>	(m)
θ	= sudut kemiringan poros turbin	($^{\circ}$)
β	= sudut ulir (pada posisi R_i)	($^{\circ}$)
α	= sudut ulir (pada posisi R_o)	($^{\circ}$)
N	= jumlah sudu (1,2,...)	

Dimensi luar turbin terdiri jari-jari terluar sudu ulir R_o , kisar ulir Λ , dan sudut kemiringan poros θ . Dimensi luar ditentukan oleh lokasi penempatan ulir, material ulir yang digunakan dan debit air. Sudut kemiringan poros θ turbin umumnya antara 30° sampai 60° . Sedangkan dimensi bagian dalam turbin diantaranya jari-jari dalam R_i , jumlah sudu N , dan jarak antar sudu bila $N > 1$. Dimensi dalam turbin bebas dipilih, sehingga pengoptimasian turbin ulir dapat dilakukan dengan mengubah dan memvariasikannya (Harja, 2014). Adapun panjang poros ulir L dapat dihitung mengingat hubungan

$$L = \sqrt{K^2 + H^2} \quad (2.1)$$

Keterangan :

- L = panjang poros (m)
 H = *head* atau ketinggian (m)
 K = jarak ujung rotor terhadap *head* (m)

Didalam penelitiannya Rorres menawarkan formulasi untuk menentukan dimensi ulir archimedes berdasarkan perhitungan pemaksimalan volume air diantara kisar sudu, volume maksimum dinyatakan dalam persamaan :

$$v = \frac{V_t}{\pi R_o^2 \Lambda} \quad (2.2)$$

Keterangan :

- v = volume *ratio* ($0 \leq v \leq 1$)
 V_t = volume air ketika melewati turbin (m^3)
 Λ = kisar ulir / *pitch* ulir (m)
 R_o = jari-jari luar sudu turbin (m)

Pada volume maksimum tersebut, diameter dalam R_i dapat diperoleh dari persamaan :

$$R_i = \rho \cdot R_o \quad (2.3)$$

Keterangan :

- R_i = jari-jari dalam sudu ulir (m)
 R_o = jari-jari luar sudu turbin (m)

ρ = radius ratio $(0 \leq \rho \leq 1)$

Kisar ulir pada volume maksimum tersebut dinyatakan oleh persamaan :

$$\Lambda = \frac{2\pi R_o \lambda}{K} \quad (2.4)$$

Keterangan :

Λ = kisar ulir / *pitch* ulir (m)

R_o = jari-jari luar sudu turbin (m)

K = jarak ujung rotor terhadap *head* (m)

λ = *pitch* ratio $(0 \leq \lambda \leq 1)$

Jumlah kisanan m yang diperlukan pada panjang poros turbin ulir L untuk panjang kisar optimum Λ dapat dihitung dengan persamaan :

$$m = \frac{L}{\Lambda} \quad (2.5)$$

Keterangan :

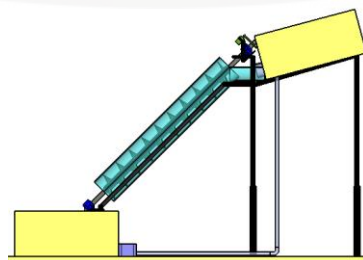
L = panjang poros (m)

Λ = kisar ulir / *pitch* ulir (m)

m = jumlah kisanan

2.5 Kemiringan Turbin Archimedes Screw

Pada turbin archimedes *screw* sudut kemiringan merupakan hal yang sangat berpengaruh terhadap kinerja turbin, karena sudut kemiringan yang kecil atau tajam dapat menghasilkan kecepatan air dan tekanan air yang tinggi dalam memutar turbin. Maka semakin besar kecepatan dan tekanan air maka putaran rotor yang dihasilkan akan semakin cepat dan sangat berpengaruh terhadap daya *output* yang dihasilkan generator. (Juliana dkk, 2018)



Gambar 2.8 Kemiringan *head* turbin archimedes *screw* (Juliana dkk, 2018)

Derajat kemiringan dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\tan \alpha = \frac{y}{x} \text{ atau } \alpha = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad (2.6)$$

Dimana : $\tan \alpha$ = derajat kemiringan ($^{\circ}$)

y = jarak vertical (m)

x = jarak horizontal (m)

2.6 Parameter Turbin Archimedes Screw

2.6.1 Debit Air dan Daya Hidrolis

Debit air yaitu banyaknya air yang mengalir dalam satuan volume per satuan waktu, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini (Juliana dkk, 2018) :

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.7)$$

Dimana : Q = debit air (m³/s)

V = volume (m³)

t = waktu (s)

Daya hidrolis yaitu daya yang dihasilkan dari aliran air yang mengalir dari suatu ketinggian. Daya hidrolis yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Saputra dkk, 2019) :

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \quad (2.8)$$

Dimana : P = daya hidrolis (watt)

ρ = massa jenis air (kg/m³)

g = gaya gravitasi (m/s²)

Q = debit air (m³/s)

h = tinggi *head* (m)

2.6.2 Daya Generator

Daya generator merupakan daya yang dihasilkan oleh generator karena putaran rotor turbin. Daya yang dihasilkan pada turbin ulir dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Juliana dkk, 2018) :

$$P_{out} = V \cdot I \quad (2.9)$$

Dimana : P_{out} = daya generator (watt)

V = tegangan listrik (volt)

I = arus listrik (ampere)

2.6.3 Torsi

Untuk memutar generator diperlukan torsi turbin yang sama dengan torsi generator. Besarnya nilai torsi dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Juliana dkk, 2018) :

$$P = T \cdot 2\pi \cdot \frac{N}{60} \quad (2.10)$$

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{N}{60}} \quad (2.11)$$

Dimana : T = torsi rotor (Nm)

P = daya generator (watt)

N = putaran poros (rpm)

2.6.4 Efisiensi Turbin

Efisiensi merupakan kemampuan pembangkit listrik dalam mengubah energi kinetik aliran air menjadi energi listrik. Nilai efisiensi dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Saputra dkk, 2019) :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \quad (2.12)$$

Dimana : η = efisiensi turbin (%)

P_{out} = daya generator (watt)

P_{in} = daya hidrolis (watt)

2.7 Tachometer

Tachometer yaitu sebuah alat ukur yang berfungsi untuk mengukur putaran poros atau kecepatan rotasi dari suatu objek, salah satu contohnya adalah *tachometer* pada sebuah mobil yang berfungsi untuk mengukur putaran per menit (rpm) pada poros engkol mesin. Saat ini, telah diproduksi *tachometer* digital sehingga member kemudahan pengguna dalam membaca hasil pengukuran, serta hasil pengukurannya tepat dan akurat. Batas ukuran terkecil pada *tachometer* yaitu 0,011/min. (Enny, 2017)



Gambar 2.9 Cara menggunakan *tachometer* (Enny, 2017)

2.8 Multimeter

Alat ukur *multimeter* sering disebut dengan *multitester* atau AVOMeter karena memiliki fungsi dan kegunaan yang berbeda-beda, seperti untuk mengukur tegangan AC maupun DC, kuat arus, resistensi. Cara penggunaannya tidak sulit yaitu pertama jarum penunjuk *multimeter* diposisikan pada skala DCmA, DCV atau ACV. Pemilihan batas ukur tegangan ataupun kuat arus harus memperhatikan factor keamanan dan ketelitian, mulai dari skala yang besar untuk keamanan alat ukur, kemudian turunkan batas ukur sedikit demi sedikit hingga didapatkan nilai hasil pengukuran yang paling dekat dengan skala maksimum. (Martias, 2017)



Gambar 2.10 Alat ukur *multimeter* (Martias, 2017)

2.9 Metode *Analysis Of Variance* (ANOVA)

Anova merupakan singkatan dari “*analysis of varian*” adalah salah satu uji komparatif yang digunakan untuk menguji perbedaan *mean* (rata-rata) data lebih dari dua kelompok. Prosedur analisis varians menggunakan variabel numerik tunggal (*single numerical variable*) yang diukur dari sejumlah sampel untuk menguji hipotesis nol dari populasi yang (diperkirakan) memiliki rata-rata hitung (*mean*) sama. (Sugiharto, 2009)

Ada dua jenis Anova, yaitu analisis varian satu arah (*one way anova*) dan analisis varian dua arah (*two ways anova*). Berikut adalah asumsi dasar yang harus terpenuhi dalam analisis varian yaitu :

a. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk menentukan apakah data yang didapat berasal dari populasi yang berdistribusi normal atau tidak (Trihendradi, 2005).

Adapun hipotesis uji adalah sebagai berikut:

H_0 : Data tidak berasal dari populasi yang berdistribusi normal

H_1 : Data berasal dari populasi yang berdistribusi normal

Uji normalitas data dilakukan dengan menggunakan *Test Normality Kolmogorov-Smirnov* apabila jumlah data > 50 data dan apabila < 50 data maka menggunakan *Shapiro-Wilk*. Dasar pengambilan keputusan dilakukan berdasarkan probabilitas (*Asymtotic Significanted*), yaitu:

- 1) Jika probabilitas $> 0,05$ maka data berasal populasi yang berdistribusi normal.
- 2) Jika probabilitas $< 0,05$ maka data tidak berasal dari populasi yang berdistribusi normal.

b. Uji Homogenitas

Uji homogenitas variansi dilakukan untuk mengetahui apakah kedua kelompok data memiliki varians yang homogen atau tidak. Uji homogenitas variansi maka dilakukan uji Levene. Adapun hipotesis untuk uji ini adalah:

H_0 : (kedua kelompok populasi memiliki varians yang tidak homogen)

H_1 : (kedua kelompok populasi memiliki varians yang homogen).

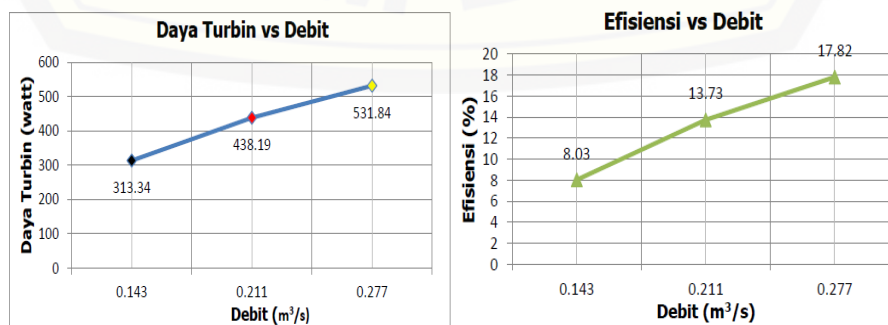
Jika signifikansi atau nilai probabilitas $> 0,05$ maka data berasal dari populasi yang mempunyai varians yang sama. Jika signifikansi atau nilai probabilitas $< 0,05$ maka data berasal dari populasi yang mempunyai varians tidak sama.

Dalam penelitian ini menggunakan analisis varian satu arah (*one away*), dikarenakan data memlik 1 faktor. Jenis data yang tepat untuk anova adalah nominal ataupun ordinal pada variabel bebasnya, jika data pada variabel bebasnya dalam bentuk interval atau ratio maka harus diubah dulu dalam bentuk ordinal atau nominal. Sedangkan responnya adalah data interval atau ratio. Adapun asumsi dasar yang harus terpenuhi dalam analisis varian adalah :

- 1) Populasi yang diuji harus berdistribusi normal,
- 2) Sampel tidak berhubungan satu dengan yang lain,
- 3) Varians atau ragam dan populasi yang diuji sama.

2.10 Penelitian Sebelumnya

Dalam turbin archimedes *screw* ini sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian yang memvariasikan debit air. Menurut Saefudin dkk (2017), penelitian dilakukan dengan memvariasikan debit yang masuk ke turbin diatur menggunakan papan ukur yang bukaannya masing-masing sebesar 0,15 m menghasilkan debit air 0,143 m³/s , 0,20 m sebesar 0,211 m³/s, dan 0,25 m sebesar 0,277 m³/s dengan sudut kemiringan turbin sebesar 35⁰. Setelah dilakukan pengujian pada aliran sungai dan perhitungan, pada debit air sebesar 0,277 m³/s menghasilkan daya maksimum turbin sebesar 521.84 watt dan efisiensi maksimum pada generator turbin sebesar 17,82 %.



Gambar 2.11 Grafik debit air terhadap daya *output* dan efisiensi (Saefudin dkk, 2017)

Menurut Irwansyah dkk (2019), peneliti menggunakan turbin ulir dengan spesifikasi singkat yaitu panjang turbin 2 m, jumlah sudu 1 buah dan ketinggian *head* 1 m yang melakukan variasi debit air sebesar 0,02 m³/s, 0,009 m³/s, dan 0,003 m³/s dengan sudut kemiringan turbin sebesar 30⁰. Setelah dilakukan pengujian dan perhitungan maka didapatkan hasil bahwa nilai debit air terbesar sebesar 0,02 m³/s yang menghasilkan putaran poros turbin sebesar 236,40 rpm dengan daya sebesar 116,10 watt dan efisiensi maksimum sebesar 57%.

Tabel 2.2 Data eksperimen dan hasil perhitungan

Variasi Debit (Q)	Rotasi (rpm)	Torsi (Nm)	Daya (Watt)	Efisiensi (%)
Q₁ 0,02 m ³ /s	236,40	0,50	12,37	6
	218,30	1,00	22,85	12
	206,90	2,50	54,14	28
	201,40	4,00	84,32	43
Q₂ 0,009 m ³ /s	180,30	0,20	3,77	4
	168,40	1,00	17,63	20
	142,10	2,00	29,75	34
	135,90	2,50	35,56	40
Q₃ 0,003 m ³ /s	123,60	0,10	1,29	4
	110,40	1,00	11,56	39
	86,20	1,50	13,53	46
	52,60	2,50	11,01	37

Sumber : Irwansyah dkk, 2019

Menurut Maulana dkk (2019) bahwa dimensi turbin ulir yang digunakan yaitu memiliki panjang 2 m, ketinggian *head* 1 m, dan sudut kemiringan yang pakai 30⁰. Variasi debit yang digunakan yaitu sebesar debit air 0,025 m³/s, 0,013 m³/s, 0,0044 m³/s. Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil putaran poros masing-masing sebesar 295 rpm, 236 rpm, dan 177 rpm. Daya yang dihasilkan sebesar 116,1 watt, 67,06 watt, dan 21,74 watt. Efisiensi yang dihasilkan sebesar 47%, 55%, dan 50%. Peneliti juga menyimpulkan bahwa untuk memperoleh torsi dan daya maksimum, kondisi aliran harus dijaga pada tingkat tertinggi.

Tabel 2.3 Data pengujian dan hasil perhitungan

	Rotation (rpm)	Torque (Nm)	Power (watt)	Efficiency (%)
Q1	295	3,33	102,73	42
	236	4,70	116,10	47
	177	5,00	92,56	38
Q2	236	2,05	50,64	41
	177	3,62	67,06	55
	118	4,48	55,33	45
Q3	177	1,16	21,49	49
	118	1,76	21,74	50
	59	2,01	12,41	29

Sumber : Maulana dkk, 2019

2.11 Hipotesis

Berdasarkan paparan penelitian sebelumnya dengan topik penelitian membahas turbin archimedes *screw* dengan variasi debit air yang akan masuk ke dalam rotor. Maka dapat ditarik hipotesis sebagai berikut :

- a. Hipotesis variasi debit air terhadap putaran poros

H_0 : Tidak terdapat pengaruh variasi debit air terhadap putaran poros

H_1 : Terdapat pengaruh variasi debit air terhadap putaran poros

- b. Hipotesis variasi debit air terhadap daya *output*

H_0 : Tidak terdapat pengaruh variasi debit air terhadap daya *output*

H_1 : Terdapat pengaruh variasi debit air terhadap daya *output*

- c. Hipotesis variasi debit air terhadap torsi

H_0 : Tidak terdapat pengaruh variasi debit air terhadap torsi

H_1 : Terdapat pengaruh variasi debit air terhadap torsi

- d. Hipotesis variasi debit air terhadap efisiensi

H_0 : Tidak terdapat pengaruh variasi debit air terhadap efisiensi

H_1 : Terdapat pengaruh variasi debit air terhadap efisiensi

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan dilakukan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimental dengan memvariasikan debit air yang masuk ke dalam rotor turbin menggunakan bukaan kran guna mendapatkan debit air yang stabil untuk mengetahui pengaruh debit air terhadap putaran poros, daya *output*, torsi dan efisiensi yang dihasilkan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat Penelitian

Tempat penelitian dan proses pengujian dilaksanakan di samping aliran sungai di Jln. Moch. Seroedji, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember.

3.2.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari sampai Juli 2021.

Tabel 3.1 Jadwal kegiatan pelaksanaan

No	Jenis Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Pengajuan Judul	■																								
2	Pembuatan Studi Pustaka	■																								
3	Pembuatan Proposal		■	■																						
4	Seminar Proposal				■																					
5	Revisi Proposal					■	■	■	■	■																
5	Pengujian Alat										■	■														
6	Pengambilan Data												■	■												

Spesifikasi :

- Merk : Lutron DT-1236L
- Ukuran : 215 x 67 x 38 mm
- Jarak maksimal dengan laser : 2 meter
- *Photo tach* : 10 to 99,999 RPM
- *Contact tach* : 0,5 to 19,9999 RPM

c. *Multimeter*

Multimeter akan digunakan untuk mengukur tegangan dan arus listrik yang keluar pada generator



Gambar 3.3 *Multimeter* DT-9205A (Yosy, 2021)

Tabel 3.2 Spesifikasi *multimeter* DT-9205A

DC Voltage	: 200mV~200V +/- (0.8% + 3) 1000V +/- (0.8% + 4)
AC Voltage	: 200mV +/- (1.2% + 3) 2mV~200V +/- (0.8% + 3) 750V +/- (1.2% + 3)
DC Current	: 2mA~20mA +/- (1.2% + 2) 200mA +/- (1.4% + 2) 20A +/- (2.0% + 2)
AC Current	: 2mA~20mA +/- (1.2% + 3) 200mA +/- (1.4% + 3) 20A +/- (2.0% + 7)
Resistance	200~200M +/- (0.8%-10% + 2) ohm
Capacitance	2nF~200uF
Frequency	2kHz-200kHz

d. Alat Pengukur Kemiringan

Alat ini digunakan untuk mengukur sudut kemiringan turbin, dengan menggunakan alat ini maka kemiringan turbin menjadi lebih akurat dan presisi.



Gambar 3.4 alat pengukur kemiringan (Yosy, 2021)

e. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur debit air



Gambar 3.5 Gelas ukur (shopee.co.id)

f. Pompa

Pompa digunakan untuk memompa air dari sungai menuju ke tandon turbin ulir



Gambar 3.6 Pompa air (shopee.co.id)

Spesifikasi :

- Merk : Motoyama
- Tipe : SPG15
- Daya hisap : 4 meter
- Daya dorong : 25 meter
- Kapasitas : 12 m³/jam

g. *Stopwatch*

Stopwatch digital akan digunakan sebagai alat pendukung untuk mengetahui debit air.



Gambar 3.7 *Stopwatch* (shopee.co.id)

h. *Stopkran*

Stopkran digunakan untuk memvariasikan nilai debit air yang memiliki diameter 114 mm dengan sudut putar 90⁰.



Gambar 3.8 *Kran* (tokopedia.com)

3.3.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Generator



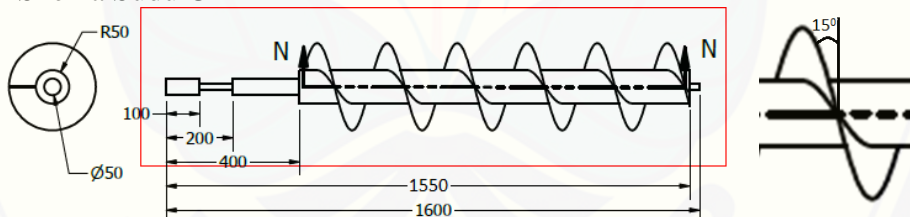
Gambar 3.9 Generator (indonesian.alibaba.com)

Spesifikasi :

- Jenis arus listrik : DC (arus searah)
- Tegangan *output* : 220 volt
- Daya *output* : 200 watt
- Putaran : 3000 RPM

3.4 Skema Alat

3.4.1 Skema Sudu Ulir

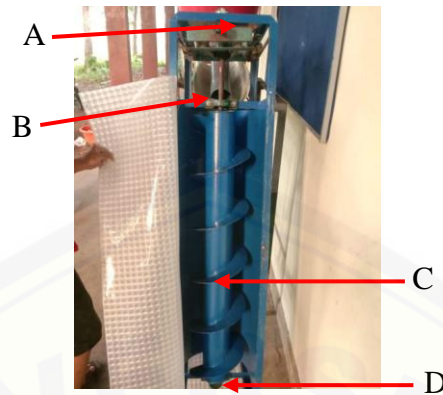


Gambar 3.10 Skema sudu ulir (Yosy, 2021)

Pada penelitian ini menggunakan ulir dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Jarak *pitch* ulir : 210 mm
- Di (diameter poros) : 100 mm
- Do (diameter rotor) : 220 mm
- L (panjang poros ulir) : 1150 mm
- Jumlah ulir : 5 ulir
- Sudut ulir : 15°
- Jarak ujung sudu dengan *bucket (clearance)* : 10 mm

3.4.2 Skema Komponen pada Rotor



Gambar 3.11 Komponen pada rotor (Yosy, 2021)

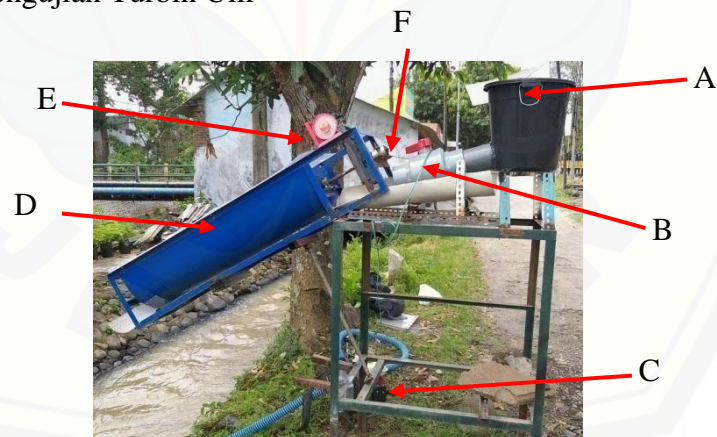
Pada gambar 3.11 sudah diperlihatkan mengenai komponen yang ada pada rotor. Komponennya sebagai berikut

Gambar A : generator

Gambar B dan D : *bearing*

Gambar C : ulir

3.4.3 Skema Pengujian Turbin Ulir



Gambar 3.12 Alat turbin ulir (Yosy, 2021)

Keterangan :

A : tandon (kapasitas 50 liter)

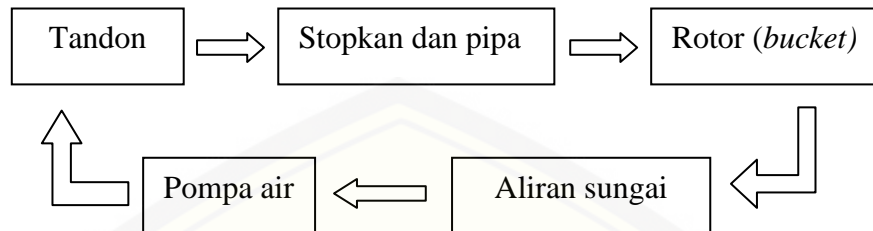
B : stopkran dan pipa

C : pompa air

D : rotor turbin (*bucket*)

E : sudut kemiringan

F : generator



Gambar 3.13 Skema pengujian

Gambar 3.13 menjelaskan tentang prosedur pengujian dimana air dari tandon yang sudah terisi air mengalir melalui stopkran dan pipa kemudian masuk ke rotor turbin ulir (*bucket*) yang kemudian air jatuh ke aliran sungai, air pada aliran sungai akan dihisap dan dipompa menuju tandon oleh pompa air dan begitu seterusnya. Ketika air melewati turbin ulir maka sudu ulir akan berputar dan generator ikut berputar sehingga dapat dilakukan pengambilan data berupa putaran poros yang dihasilkan. Generator berfungsi untuk mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Setelah menghasilkan listrik akan diambil data berupa arus dan tegangan untuk menentukan daya yang dihasilkan.

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian tersebut digunakan untuk mengetahui hubungan pengaruh sudut kemiringan dengan daya yang didapatkan pada turbin ulir ini, yaitu dimulai dari :

a. Studi literatur

Mempelajari literatur yang membantu dan mendukung penelitian analisa pengaruh variasi debit air terhadap kinerja turbin ulir (*archimedes screw*) adalah mempelajari perancangan elemen mesin, statika struktur, *renewable energy*, mekatronika, ilmu bahan, karakterisasi material, rekayasa teknikmesinan, mekanisme dan dinamika teknik, getaran mekanik, prestasi mesin dan literatur lain yang mendukung.

b. Konsultasi

Konsultasi dengan dosen pembimbing maupun dosen lainnya untuk mendapatkan arahan tentang penelitian analisa pengaruh variasi debit air terhadap kinerja turbin ulir (*archimedes screw*).

c. Eksperimen

Penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut yaitu melakukan uji pendahuluan dengan membuat *prototype* sederhana dengan tujuan memastikan ulir akan berputar ketika dilewati air.

d. Analisis hasil penelitian

Menganalisis hasil data pengujian hubungan antara variasi debit terhadap putaran poros, torsi, daya, dan efisiensi turbin ulir (*archimedes screw*).

e. Kesimpulan

Kesimpulan diperoleh berdasarkan hasil dari pengujian penelitian yang telah dilakukan proses pengolahan data dan analisa data.

3.6 Pelaksanaan Penelitian

3.6.1 Variabel Penelitian

Data yang digunakan merupakan data yang diperoleh dari hasil penelitian yang meliputi variabel kontrol, terikat, dan bebas.

a. Variabel bebas

Adapun variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi debit air, pengambilan data nilai variabel debit dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali menggunakan gelas ukur dan *stopwatch* :

Tabel 3.3 Pengambilan data nilai debit air

No	Bukaan stopkran	Waktu yang diperlukan untuk mengisi 1 liter air pada gelas ukur (second)			Rata-rata
		Pengulangan 1	Pengulangan 2	Pengulangan 3	
1	¼ (lebar 28 mm)	2,12 s	2,29 s	2,45 s	2,29 s
2	½ (lebar 57 mm)	1,78 s	1,44 s	1,56 s	1,59 s
3	¾ (lebar 85 mm)	0,79 s	1,05 s	0,79 s	0,88 s

Dari data diatas dapat dihitung menggunakan rumus debit air (2.7) dan didapatkan nilai debit air, sebagai berikut :

- 1) $0,436 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$
- 2) $0,629 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$
- 3) $1,136 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,001 \text{ m}^3/\text{s}$

b. Variabel terikat

Adapaun variabel terikat yang diukur pada penelitian ini sebagai berikut :

- 1) Putaran poros (rpm)
- 2) Tegangan listrik (volt)
- 3) Arus listrik (ampere)

c. Variabel kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dibuat konstan atau tetap, maka variabel kontrol pada penelitian ini yaitu :

- 1) Sudut kemiringan turbin 30^0
- 2) Ketinggian *head* 1,25 m

3.6.2 Pemilihan dan Pengukuran Nilai Debit Air

Pada referensi beberapa penelitian terdahulu, untuk memvariasikan nilai debit air menggunakan ketinggian bukaan papan yang selanjutnya diukur nilai debit air menggunakan alat ukur *currentmeter*. Namun pada penelitian ini, untuk mempermudah dalam memvariasikan nilai debit air, peneliti menggunakan variasi

bukaan kran yang terdapat pada stopkran pipa berdiameter 114 mm dengan variasi bukaan $\frac{1}{4}$ (lebar 28 mm), $\frac{1}{2}$ (lebar 57 mm) dan $\frac{3}{4}$ (lebar 85 mm). Sehingga, pada saat air keluar dari tandon melalui stopkran selanjutnya nilai debit air dapat diukur dan dihitung secara manual menggunakan gelas ukur dan *stopwatch*. Pengukuran secara manual ini dilakukan karena apabila menggunakan alat ukur *flowmeter* terdapat perbedaan diameter pipa stopkran yang dipakai berukuran 114 mm dengan diameter *flowmeter* 22 mm sehingga tidak dapat dipasang langsung pada pipa stopkran. Selain itu, dapat juga menggunakan alat ukur *currentmeter* namun tidak tersedia di laboratorium dan untuk harganya sangat mahal. Akibat keterbatasan alat ukur di laboratorium, maka pengukuran nilai debit air dilakukan secara manual menggunakan gelas ukur dan *stopwatch*.

3.6.3 Pengambilan Data

a. Pengukuran putaran poros

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui dan mendapatkan nilai putaran poros dan generator menggunakan *tachometer*.

b. Pengukuran tegangan dan arus listrik

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan dan arus listrik menggunakan *multimeter* yang kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai daya *ouput* dari generator.

3.6.4 Pengolahan Data

a. Data pengukuran putaran poros, tegangan listrik, arus listrik

Tabel 3.4 Pengukuran putaran poros, tegangan listrik, arus listrik

Debit air	Putaran poros	Tegangan listrik	Arus listrik
0,0004 m ³ /s			
0,0006 m ³ /s			
0,001 m ³ /s			

Pengukuran putaran poros, tegangan dan arus listrik dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali untuk mendapatkan data yang lebih akurat.

b. Data perhitungan *input*Tabel 3.5 Data daya *input*

Debit air	ρ	Q	g	h	Daya <i>Input</i>
0,0004 m ³ /s					
0,0006 m ³ /s					
0,001 m ³ /s					

c. Data perhitungan torsi

Tabel 3.6 Data torsi

Debit air	Daya generator	Rpm	Torsi
0,0004 m ³ /s			
0,0006 m ³ /s			
0,001 m ³ /s			

d. Data perhitungan daya *output*Tabel 3.7 Data daya *output*

Debit air	Tegangan listrik	Arus listrik	Daya <i>Ouput</i>
0,0004 m ³ /s			
0,0006 m ³ /s			
0,001 m ³ /s			

e. Data perhitungan efisiensi

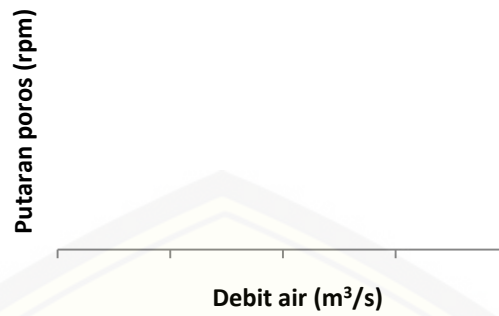
Tabel 3.8 Data efisiensi

Debit air	Daya <i>input</i>	Daya <i>output</i>	Efisiensi
0,0004 m ³ /s			
0,0006 m ³ /s			
0,001 m ³ /s			

3.6.5 Perencanaan Analisa Data

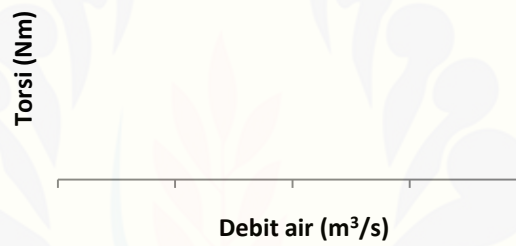
Setelah mendapatkan data dari pengujian penelitian, maka analisa data yang bisa didapat antara lain :

- a. Hubungan debit air dengan putaran poros



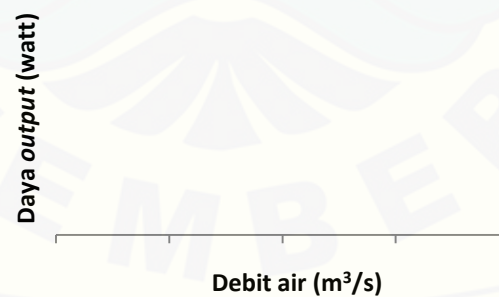
Gambar 3.14 Grafik debit air terhadap putaran poros

- b. Hubungan debit air dengan torsi



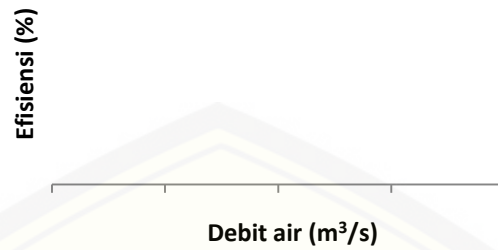
Gambar 3.15 Grafik debit air terhadap torsi

- c. Hubungan debit air dengan daya *output*

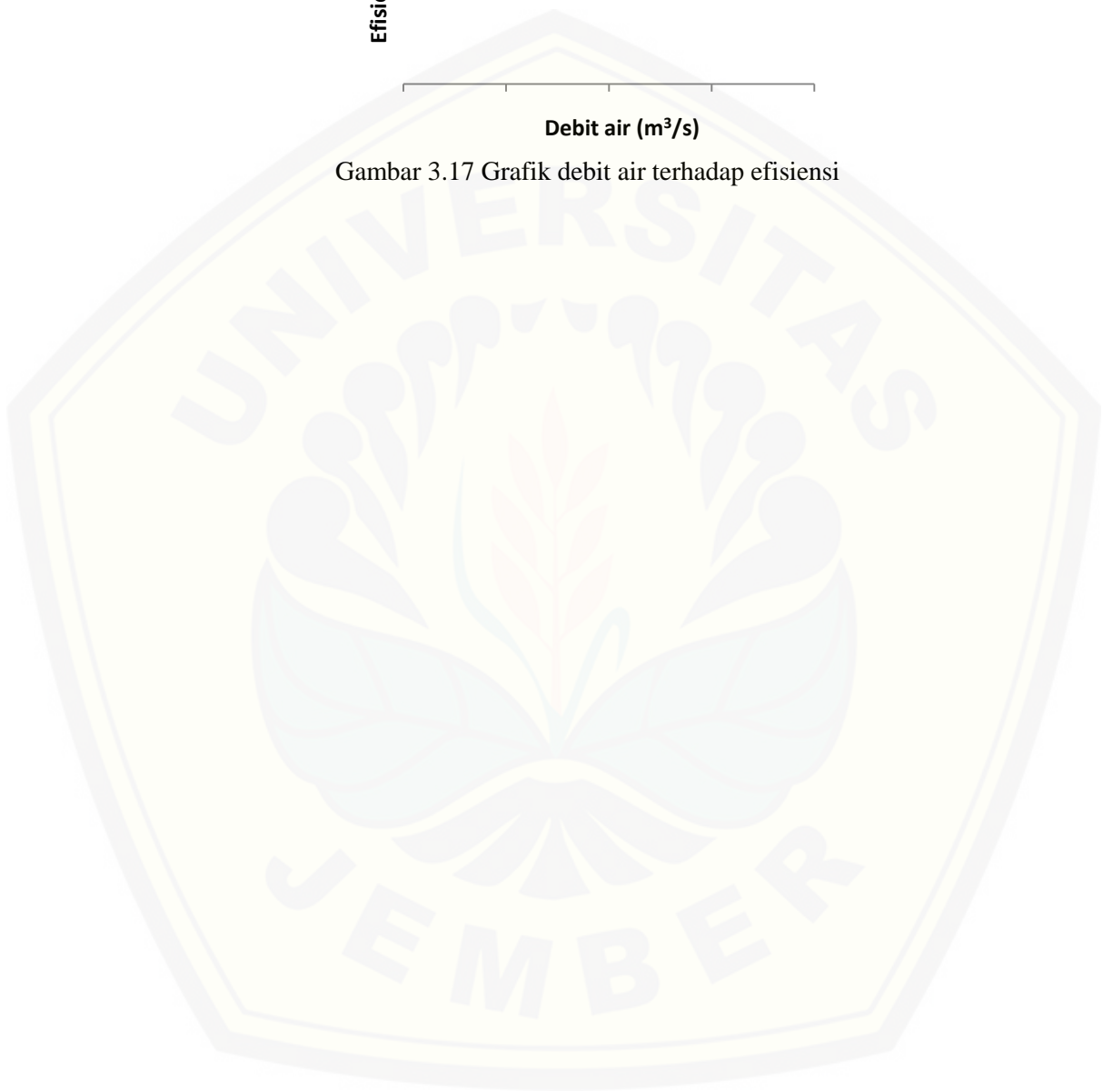


Gambar 3.16 Grafik debit air terhadap daya *output*

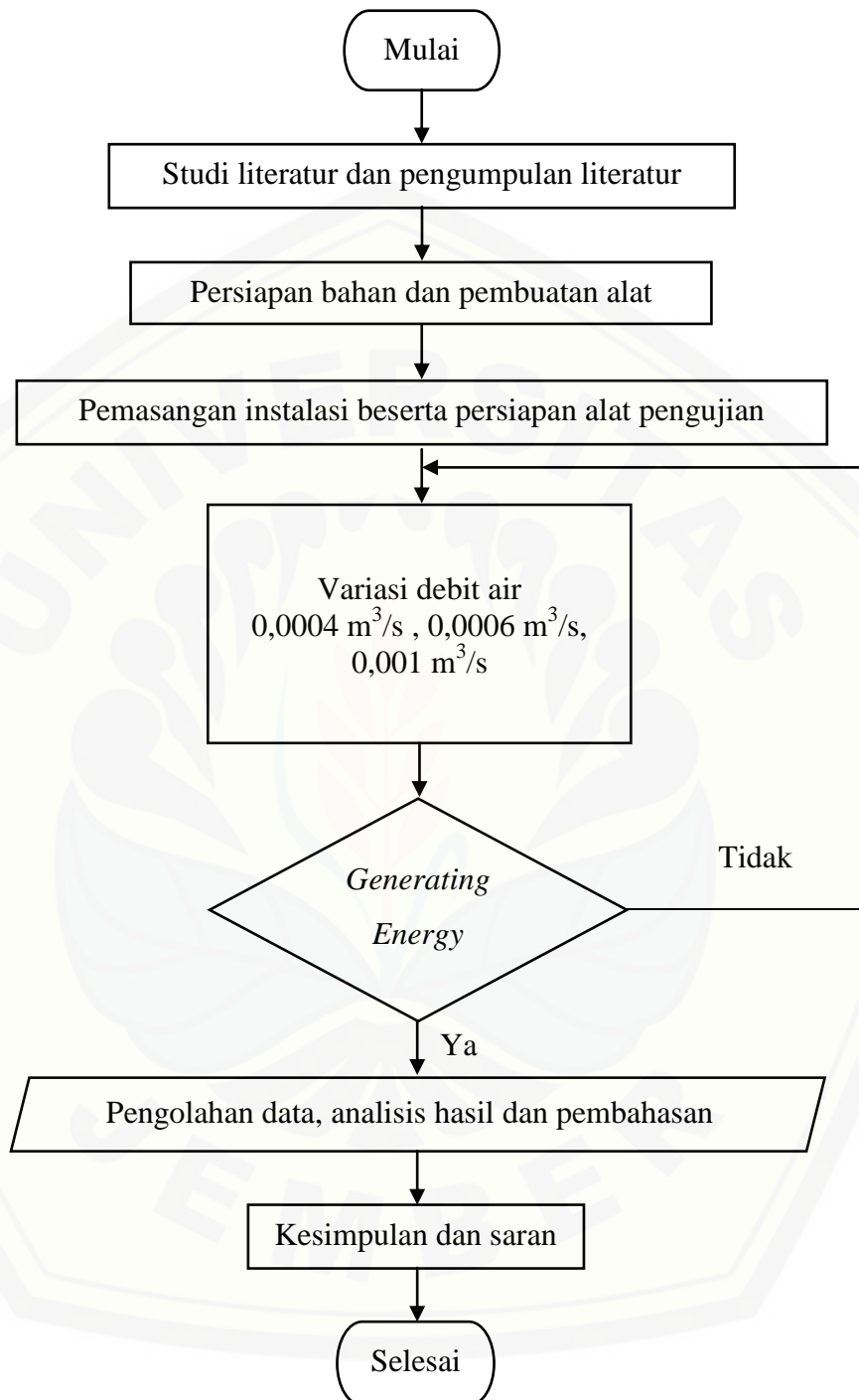
- d. Hubungan debit air dengan efisiensi



Gambar 3.17 Grafik debit air terhadap efisiensi



3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.18 Diagram alir penelitian

BAB 4. PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Turbin Ulir

Pengujian turbin ulir ini dilakukan di samping aliran sungai kecil di Jalan Moch. Seroedji, Kec. Sumbersari, Kab. Jember. Pada awalnya pengujian ini akan dilaksanakan di aliran sungai kecil depan Fakultas Teknik, Universitas Jember namun pada saat itu kondisi sungai tersebut kering tidak ada air sehingga peneliti melakukan pemindahan tempat pengujian.



Gambar 4.1 Pengujian turbin ulir (Yosy, 2021)



Gambar 4.2 Sudut kemiringan turbin (Yosy, 2021)

Pada gambar 4.1 dapat dilihat proses pengujian turbin ulir di pinggir aliran sungai kecil. Pertama, peneliti melakukan pengaturan sudut kemiringan rotor turbin sebesar 30° (gambar 4.2) dengan menggunakan alat pengukur kemiringan, selanjutnya menghidupkan pompa air untuk mengisi air pada tandon. Pada pengujian ini dapat dilihat cara kerja dari turbin ulir, bahwa air pada sungai kecil

dihisap oleh pompa dan dialirkan menuju tandon, tujuan adanya tandon adalah agar debit air yang keluar stabil yang ditambahkan stopkran berdiameter 4 inc atau 114 mm dengan variasi bukaan $\frac{1}{4}$ (lebar 28 mm), $\frac{1}{2}$ (lebar 57 mm), dan $\frac{3}{4}$ (lebar 85 mm) yang masing-masing bukaan menghasilkan debit air sebesar $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$. Ketika air sudah keluar dari tandon maka air akan diteruskan melewati rotor turbin ulir yang kemudian air ini akan memutar rotor turbin yang berbentuk ulir. Hasil perputaran rotor yang terhubung dengan generator dapat menghasilkan listrik. Air yang sudah melewati rotor turbin ulir akan keluar dan jatuh ke sungai. Tujuan dari pengisian air tandon yang berasal dari sungai yaitu agar tandon dapat lebih cepat terisi air. Setelah itu dapat dilakukan pengukuran kecepatan putaran poros (RPM) menggunakan *tachometer* dan pengukuran arus listrik dan tegangan listrik menggunakan *multimeter* dengan masing-masing pengulangan sebanyak 3 kali untuk mendapatkan data yang akurat.



Gambar 4.3 Proses pengukuran putaran poros (Yosy, 2021)

4.2 Hasil Pengukuran dan Pengolahan Data

4.2.1 Data hasil pengukuran

Setelah dilakukan pengujian, selanjutnya melakukan pengambilan data berupa pengukuran putaran poros, tegangan listrik dan arus listrik yang dihasilkan turbin dari setiap variasi debit air. Data dibawah ini merupakan data yang sudah diolah sedemikian rupa sehingga lebih mudah dipahami, untuk data yang sebelum diolah dapat dilihat pada halaman lampiran A.

Tabel 4.1 Hasil data pengukuran putaran poros, tegangan, arus listrik

Debit air (Q)	Putaran poros (RPM)	Tegangan listrik (V)	Arus listrik (I)
0,0004 m ³ /s	250,3 rpm	18,54 V	35 mA
0,0006 m ³ /s	369,7 rpm	19,18 V	37,6 mA
0,001 m ³ /s	423,3 rpm	20,03 V	39 mA

4.2.2 Hasil Pengolahan Data

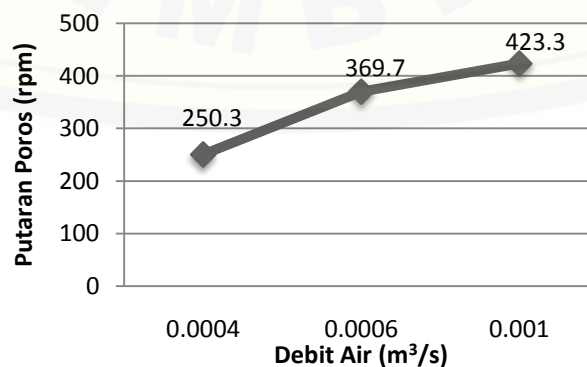
Hasil pengukuran atau pengambilan data pada tabel 4.1 selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menghitung daya *output* dengan menggunakan rumus (2.4), perhitungan torsi menggunakan rumus (2.6) dan perhitungan efisiensi menggunakan rumus (2.7) dari setiap pengujian variasi debit air. Berikut ini merupakan hasil data yang sudah dilakukan perhitungan sedemikian rupa sehingga mudah untuk dipahami dan proses perhitungan dapat dilihat pada lampiran B.

Tabel 4.2 Data hasil pengujian kinerja turbin ulir

Debit air (Q)	Daya generator	Torsi (T)	Efisiensi (η)
	(P _{output})		
0,0004 m ³ /s	0,64 watt	0,024 Nm	13,1 %
0,0006 m ³ /s	0,72 watt	0,019 Nm	9,8 %
0,001 m ³ /s	0,78 watt	0,018 Nm	6,37 %

4.3 Analisa Pembahasan Data

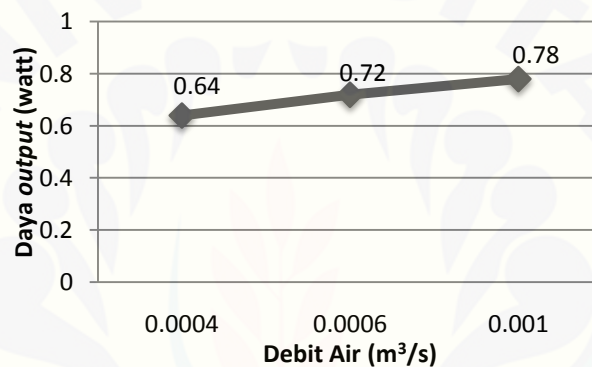
4.3.1 Hubungan debit air terhadap putaran poros turbin ulir



Gambar 4.4 Grafik hubungan debit air terhadap putaran poros

Pada gambar 4.4, dapat dilihat grafik yang dihasilkan pada setiap pengujian variasi debit air sebesar $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ masing-masing menghasilkan putaran poros sebesar 250,3 rpm, 369,7 rpm, dan 423,3 rpm. Ketika debit air $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ masuk ke rotor turbin menyebabkan volume air yang mengisi pada setiap sudu menjadi lebih banyak sehingga gaya berat air dan tekanan hidrostatis terhadap setiap sudu ulir terjadi secara maksimum yang mengakibatkan poros berputar menjadi lebih cepat.

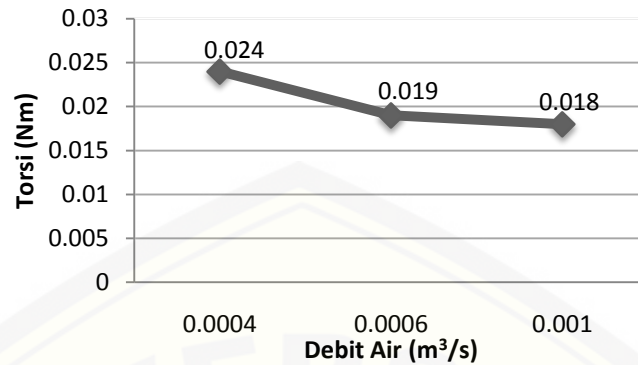
4.3.2 Hubungan debit air terhadap daya *output* turbin ulir



Gambar 4.5 Grafik hubungan debit air terhadap daya *output*

Pada gambar 4.5, dapat dilihat grafik yang dihasilkan pada setiap pengujian variasi debit air sebesar $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ masing-masing menghasilkan daya *output* 0,64 watt, 0,72 watt, dan 0,78 watt. Grafik daya *output* mengalami kenaikan dikarenakan pada debit air $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ mengalami putaran poros yang cepat akibat gaya berat air dan tekanan hidrostatis yang terjadi secara maksimum terhadap sudu sehingga menghasilkan tegangan listrik dan arus listrik pada generator yang besar dengan hasil perhitungan daya *output* sebesar 0,78 watt.

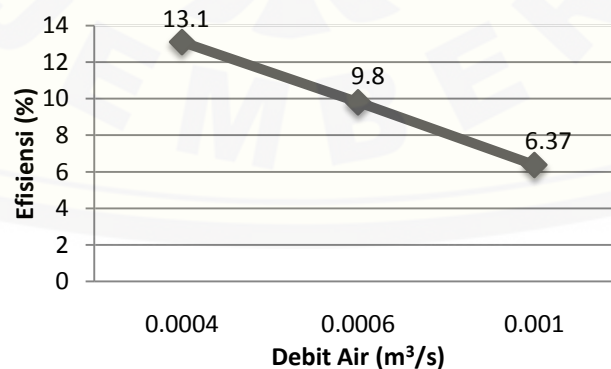
4.3.3 Hubungan debit air terhadap torsi turbin ulir



Gambar 4.6 Grafik hubungan debit air terhadap torsi

Pada gambar 4.6, dapat dilihat grafik yang dihasilkan pada setiap pengujian variasi debit air sebesar $0,0004 m^3/s$, $0,0006 m^3/s$ dan $0,001 m^3/s$ masing-masing menghasilkan torsi sebesar $0,024 Nm$, $0,019 Nm$, $0,018 Nm$. Torsi yang dihasilkan mengalami penurunan pada setiap variasi debit air, hal ini dipengaruhi oleh ukuran diameter poros yang terlalu besar dan ukuran sudu ulir yang kurang lebar sehingga saat air masuk ke dalam rotor turbin gaya berat air dan tekanan hidrostatis terhadap sudu kurang maksimum sehingga pada debit air $0,0004 m^3/s$ torsi yang dibutuhkan untuk memutar poros menjadi lebih besar dibanding pada debit air $0,001 m^3/s$.

4.3.4 Hubungan debit air terhadap efisiensi turbin ulir



Gambar 4.7 Grafik hubungan debit air terhadap efisiensi

Pada gambar 4.7, dapat dilihat grafik yang dihasilkan pada setiap pengujian variasi debit air sebesar $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ masing-masing menghasilkan efisiensi 13,1 %, 9,8 %, dan 6,37 %. Efisiensi turbin mengalami penurunan, hal ini dikarenakan pada debit air $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$ tidak terjadi benturan keras air terhadap sudu sehingga gaya berat air dan tekanan hidrostatik air terhadap sudu dapat dikonversi secara maksimum oleh turbin dibandingkan ketika debit air $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ yang menyebabkan benturan keras antara air terhadap sudu sehingga banyak air yang keluar ke atas sudu yang menyebabkan gaya berat air dan tekanan hidrostatik pada sudu tidak maksimum.

4.4 Analisis Data

Setelah dilakukan pengujian variasi debit untuk mengetahui daya *ouput*, torsi, efisiensi dan mendapatkan hasil data pengujian kinerja turbin ulir Tabel 4.2 maka perlu dilakukan analisis statistik dengan menggunakan aplikasi SPSS versi 25. Analisis data dengan menggunakan metode analisis varian satu arah yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan rata-rata untuk lebih dari sama dengan dua kelompok sampel yang tidak berhubungan.

4.4.1 Uji Normalitas

Pengaruh variasi debit air terhadap kinerja turbin ulir dapat diketahui menggunakan uji normalitas. Tujuan dilakukan pengujian ini adalah data terdistribusi normal atau tidak normal. Data yang normal merupakan suatu keharusan sekaligus syarat mutlak yang harus dipenuhi. Salah satu metode untuk mendeteksi data yang normal dapat dilakukan menggunakan metode *Shapiro-Wilk*. Berikut merupakan tabel hasil uji normalitas dengan menggunakan SPSS.

Tabel 4.3 Uji Normalitas

Tests of Normality							
	Debit Air	<i>Kolmogorov-Smirnov^a</i>			<i>Shapiro-Wilk</i>		
		<i>Statistic</i>	<i>df</i>	<i>Sig.</i>	<i>Statistic</i>	<i>df</i>	<i>Sig.</i>
Kinerja	0.0004	.370	3	.	.785	3	.080
Turbin	0.0006	.362	3	.	.803	3	.123
	0.001	.345	3	.	.839	3	.210

a. *Lilliefors Significance Correction*

Sumber : Yosy, 2021

Jika taraf signifikansi atau nilai probabilitas $> 0,05$, maka data penelitian berdistribusi normal. Jika taraf signifikansi atau nilai probabilitas $< 0,05$, maka populasi tidak berdistribusi normal. Berdasarkan tabel *Test of Normality* dapat dilihat pada kolom *Shapiro-Wilk* bahwa nilai taraf signifikan atau nilai probabilitas dari setiap variasi debit air $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ yang masing-masing menghasilkan 0,80 , 0,123 dan 0,210 yang berarti semua nilai taraf signifikansi bernilai $> 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal.

4.4.2 Uji Homogenitas

Uji homogenitas merupakan pengujian suatu data yang bertujuan untuk mengetahui populasi data memiliki nilai varians yang sama dengan kata lain data berasal dari populasi yang sama. Uji homogenitas dilakukan dengan menggunakan metode uji Levene. Jika taraf signifikansi atau nilai probabilitas $> 0,05$, maka data berasal dari populasi-populasi yang memiliki varians yang sama atau bersifat homogen. Jika taraf signifikansi atau nilai probabilitas $< 0,05$, maka data berasal dari populasi-populasi yang memiliki varians tidak sama.

Tabel 4.4 Uji Homogenitas

Test of Homogeneity of Variances					
		<i>Levene Statistic</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig.</i>
Kinerja Turbin	<i>Based on Mean</i>	1.864	2	6	.235
	<i>Based on Median</i>	.135	2	6	.877
	<i>Based on Median and with adjusted df</i>	.135	2	4.458	.878
	<i>Based on trimmed mean</i>	1.505	2	6	.295

Sumber : Yosy, 2021

Berdasarkan tabel 4.4 dapat dilihat pada baris paling bawah yang menunjukkan hasil uji homogenitas yang menghasilkan taraf signifikan atau nilai probabilitas pada data pengaruh variasi debit air terhadap kinerja turbin ulir adalah 0,295 yang artinya $> 0,05$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa data bersifat homogen.

4.4.3 Uji ANOVA *One Way*

Uji anova satu arah digunakan untuk menguji perbedaan rata-rata antara dua atau lebih kelompok yang mana hanya terdapat satu faktor yang dipertimbangkan. Sesuai syarat asumsi untuk pengujian anova bahwa terdapat beberapa asumsi yaitu normalitas dan homogenitas. Pada hasil pengujian sebelumnya, telah didapatkan hasil pengujian dari setiap asumsi bahwa data pada kinerja turbin ulir adalah normal dan homogen. Untuk tahap selanjutnya yaitu uji anova *one way* untuk mengetahui perbedaan rata-rata. Dasar pengambilan keputusan dalam analisis anova sebagai berikut:

- Jika nilai Sig. $> 0,05$, maka tidak terdapat pengaruh variasi debit air terhadap kinerja turbin ulir
- Jika nilai Sig. $< 0,05$, maka terdapat pengaruh variasi debit air terhadap kinerja turbin ulir

1) Uji ANOVA dan Uji Lanjut Variasi Debit Air terhadap Putaran Poros

Pada uji anova variasi debit air digunakan untuk mengetahui apakah variasi debit air berpengaruh terhadap putaran poros yang dihasilkan. Uji anova ini dilakukan menggunakan aplikasi SPSS dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.5 Uji ANOVA Debit Air terhadap Putaran Poros

ANOVA					
Putaran Poros					
	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	47073.429	2	23536.714	3300.053	.000
<i>Within Groups</i>	42.793	6	7.132		
<i>Total</i>	47116.222	8			

Sumber : Yosy, 2021

Berdasarkan tabel 4.5 menunjukkan hasil anova satu arah, hasil hitung yang didapatkan bahwa taraf signifikan sebesar 0,000 yang berarti lebih kecil dari 0,05. Karena nilai $0,000 < 0,05$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti terdapat pengaruh variasi debit air terhadap putaran poros yang dihasilkan.

Tabel 4.6 Uji Lanjut Tukey terhadap Putaran Poros

Putaran Poros				
Tukey HSD ^a				
V. Debit Air	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
0.0004	3	250.2667		
0.0006	3		369.6667	
0.001	3			423.3000
<i>Sig.</i>		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Sumber : Yosy, 2021

Dapat dilihat pada tabel 4.6 uji lanjut tukey yang dilakukan, menunjukkan terdapat pengaruh nyata pada variasi debit air $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$, dan $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ terhadap putaran poros. Hal ini dapat dilihat debit air $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$ dikelompokkan pada *subset* 1, debit air $0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$ dikelompokkan pada *subset* 2 dan debit air $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ dikelompokkan pada *subset* 3, hal ini berarti variabel pada *subset* 1, *subset* 2, *subset* 3 memberikan pengaruh yang berbeda-beda. Sehingga dari hasil uji tukey ini bahwa pengaruh debit air $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ terhadap putaran poros merupakan yang terbaik dengan nilai 423,3.

2) Uji ANOVA dan Uji Lanjut Variasi Debit Air terhadap Daya *Output*

Pada uji anova variasi debit air digunakan untuk mengetahui apakah variasi debit air berpengaruh terhadap daya *output* yang dihasilkan. Uji anova ini dilakukan menggunakan aplikasi SPSS dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.7 Uji ANOVA Debit Air terhadap Daya *Output*

ANOVA					
Daya <i>Output</i>					
	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	.027	2	.013	240.800	.000
<i>Within Groups</i>	.000	6	.000		
<i>Total</i>	.027	8			

Sumber : Yosy, 2021

Berdasarkan tabel 4.7 menunjukkan hasil anova satu arah, hasil hitung yang didapatkan bahwa taraf signifikan sebesar 0,000 yang berarti lebih kecil dari 0,05. Karena nilai $0,000 < 0,05$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti terdapat pengaruh variasi debit air terhadap daya *output* yang dihasilkan.

Tabel 4.8 Uji Lanjut Tukey terhadap Daya Output

Daya Output				
Tukey HSD ^a				
Debit Air	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
0.0004	3	.6500		
0.0006	3		.7233	
0.001	3			.7833
<i>Sig.</i>		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.				

Sumber : Yosy, 2021

Dapat dilihat pada tabel 4.8 uji lanjut tukey yang dilakukan, menunjukkan terdapat pengaruh nyata pada variasi debit air 0,0004 m³/s, 0,0006 m³/s, dan 0,001 m³/s terhadap daya output. Hal ini dapat dilihat debit air 0,0004 m³/s dikelompokkan pada subset 1, debit air 0,0006 m³/s dikelompokkan pada subset 2 dan debit air 0,001 m³/s dikelompokkan pada subset 3, hal ini berarti variabel pada subset 1, subset 2, subset 3 memberikan pengaruh yang berbeda-beda. Sehingga dari hasil uji tukey ini bahwa pengaruh debit air 0,001 m³/s terhadap daya output merupakan yang terbaik dengan nilai 0,7833.

3) Uji ANOVA dan Uji Lanjut Variasi Debit Air terhadap Torsi

Pada uji anova variasi debit air digunakan untuk mengetahui apakah variasi debit air berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan. Uji anova ini dilakukan menggunakan aplikasi SPSS dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.9 Uji ANOVA Debit Air terhadap Torsi

ANOVA					
Torsi					
	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	.000	2	.000	875.565	.000
<i>Within Groups</i>	.000	6	.000		
<i>Total</i>	.000	8			

Sumber : Yosy, 2021

Berdasarkan tabel 4.9 menunjukkan hasil anova satu arah, hasil hitung yang didapatkan bahwa taraf signifikan sebesar 0,000 yang berarti lebih kecil dari 0,05. Karena nilai $0,000 < 0,05$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti terdapat pengaruh variasi debit air terhadap torsi yang dihasilkan.

Tabel 4.10 Uji Lanjut Tukey terhadap Torsi

Torsi				
Tukey HSD ^a				
Debit Air	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
0.001	3	.017700		
0.0006	3		.018700	
0.0004	3			.024833
Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.				

Sumber : Yosy, 2021

Dapat dilihat pada tabel 4.10 uji lanjut tukey yang dilakukan, menunjukkan terdapat pengaruh nyata pada variasi debit air $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$, dan $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ terhadap torsi. Hal ini dapat dilihat debit air $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ dikelompokkan pada *subset 1*, debit air $0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$ dikelompokkan pada *subset 2* dan debit air $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$ dikelompokkan pada *subset 3*, hal ini berarti variabel pada *subset 1*, *subset 2*,

subset 3 memberikan pengaruh yang berbeda-beda. Sehingga dari hasil uji tukey ini bahwa pengaruh debit air $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$ terhadap torsi merupakan yang terbaik dengan nilai $0,024833$.

4) Uji ANOVA dan Uji Lanjut Variasi Debit Air terhadap Efisiensi

Pada uji anova variasi debit air digunakan untuk mengetahui apakah variasi debit air berpengaruh terhadap efisiensi yang dihasilkan. Uji anova ini dilakukan menggunakan aplikasi SPSS dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.11 Uji ANOVA Debit Air terhadap Efisiensi

ANOVA					
Efisiensi					
	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	77.006	2	38.503	237.251	.000
<i>Within Groups</i>	.974	6	.162		
<i>Total</i>	77.980	8			

Sumber : Yosy, 2021

Berdasarkan tabel 4.11 menunjukkan hasil anova satu arah, hasil hitung yang didapatkan bahwa taraf signifikan sebesar $0,000$ yang berarti lebih kecil dari $0,05$. Karena nilai $0,000 < 0,05$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti terdapat pengaruh variasi debit air terhadap efisiensi yang dihasilkan.

Tabel 4.12 Uji Lanjut Tukey terhadap Efisiensi

Efisiensi				
Tukey HSD ^a				
Debit Air	N	<i>Subset for alpha = 0.05</i>		
		1	2	3
0.001	3	6.3967		
0.0006	3		9.8433	
0.0004	3			13.5600
<i>Sig.</i>		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Sumber : Yosy, 2021

Dapat dilihat pada tabel 4.12 uji lanjut tukey yang dilakukan, menunjukkan terdapat pengaruh nyata pada variasi debit air $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$, dan $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ terhadap efisiensi. Hal ini dapat dilihat debit air $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ dikelompokkan pada *subset* 1, debit air $0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$ dikelompokkan pada *subset* 2 dan debit air $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$ dikelompokkan pada *subset* 3, hal ini berarti variabel pada *subset* 1, *subset* 2, *subset* 3 memberikan pengaruh yang berbeda-beda. Sehingga dari hasil uji tukey ini bahwa pengaruh debit air $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$ terhadap efisiensi merupakan yang terbaik dengan nilai 13,56.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian analisa variasi debit air terhadap kinerja turbin ulir, maka dapat diambil kesimpulan antara lain :

- a. Putaran poros maksimum terjadi pada turbin ulir senilai 423,3 rpm dan daya *output* maksimum terjadi pada turbin ulir sebesar 0,78 watt dengan variasi debit air 0,001 m³/s.
- b. Efisiensi terbaik terjadi pada turbin ulir senilai 13,1% dengan variasi debit air 0,0004 m³/s, hal ini dikarenakan pada debit air 0,0004 m³/s tidak terjadi benturan keras air terhadap sudu sehingga gaya berat air dan tekanan hidrostatik air terhadap sudu dapat dikonversi secara maksimum oleh turbin dibandingkan ketika debit air 0,001 m³/s yang menyebabkan benturan keras antara air terhadap sudu sehingga banyak air yang keluar ke atas sudu yang menyebabkan gaya berat air dan tekanan hidrostatik pada sudu tidak maksimum.
- c. Torsi maksimum terjadi pada turbin ulir sebesar 0,024 Nm dengan variasi debit air 0,0004 m³/s. Hal ini dipengaruhi oleh ukuran diameter poros yang terlalu besar dan ukuran sudu ulir yang kurang lebar sehingga saat air masuk ke dalam rotor turbin gaya berat air dan tekanan hidrostatik terhadap sudu kurang maksimum sehingga pada debit air 0,0004 m³/s torsi yang dibutuhkan untuk memutar poros menjadi lebih besar.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian analisa variasi debit air terhadap kinerja turbin ulir, antara lain :

- a. Diharapkan pada penelitian selanjutnya menggunakan alat ukur debit air yang sesuai agar mendapatkan nilai yang lebih akurat.
- b. Apabila dilakukan penelitian selanjutnya, diharapkan bisa langsung dilakukan pada aliran sungai dan mengganti generator dengan spesifikasi yang lebih besar agar daya listrik yang dihasilkan semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriansyah, F., A. Rusdinar, D. Darlis. 2016. Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH) pada Pipa Saluran Pembuangan Air Hujan Vertikal. *e-Proceeding of Engineering*. 3(1): 57-64.
- Enny. 2017. *Tachometer Laser, Pemakaian dan Perawatannya*. *METANA*. 13(1):7-12.
- Harja, H. B., H. Abdurrahim, S. Yoewono, H. Riyanto. 2014. Penentuan Dimensi Sudu Turbin dan Sudut Turbin Kemiringan Poros Turbin pada Turbin Ulir Archimedes. *METAL INDONESIA*. 36(1): 26-33.
- Havendri, A., I. Arnif. 2010. Kaji Eksperimental Penentuan Sudut Ulir Optimum pada Turbin Ulir untuk Data Perancangan Turbin Ulir pada Pusat Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dengan Head Rendah. *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM)*. 273-278.
- Irwansyah, M. I. Maulana, A. Syuhada. 2019. Design and Performance of Archimedes Screw Turbine as Micro Hydro Power Plant with Flow Rate Debit Variations. *Jurnal Inovasi Teknologi dan Rekayasa*. 4(1): 13-22.
- Juliana, I. P., A. I. Weking, L. Jasa. 2018. Pengaruh Sudut Kemiringan Head Turbin Ulir dan Daya Output pada Pembangkit Listrik Mikro Hidro. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. 17(3): 393-400.
- Mafrudin. 2016. Studi Eksperimental Sudut Nosel dan Sudu Sudu terhadap Kinerja Turbin Crossflow sebagai PLTMH di Desa Bumi Nabung Timur. *Tesis*. Bandar Lampung: Progam Pasca Sarjana Magister Teknik Mesin Universitas Lampung.
- Martias. 2017. Penerapan dan Penggunaan Alat Ukur *Multimeter* pada Pengukuran Komponen Elektronika. *Konferensi Nasional Ilmu Sosial & Teknologi (KNisST)*. 222-226.
- Maulana, M. I., A. Syuhada, R. Kurniawan. 2019. Experimental Study on the Effect of Flow Rate on the Performance of Two-Blade Archimedes Screw Turbin. *Journal of Advanced Reasearch in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*. 61(1): 10-19.

- Nasir, B. A. 2014. Design Considerations of Micro-Hydro-Electric Power Plant. *Energi Procedia*. 50: 19-29.
- Nurdin, A., D. Aries. 2018. Kajian Teoritis Uji Kerja Turbin Archimedes Screw pada Head Rendah. *Jurnal SIMETRIS*. 9(2): 783-796.
- Putra, I.G.W., A.I. Weking, L. Jasa. 2018. Analisa Pengaruh Tekanan Air terhadap Kinerja PLTMH dengan menggunakan Turbin Archimedes Screw. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. 17(3) : 385-392.
- Rorres, C. 2000. The Turn of The Screw : Optimal Design of an Archimedes Screw. *Journal of Hydraulic Engineering*. 126(1) : 72-80.
- Saefudin, E., T. Kristyadi, M. Rifki, S. Arifin. 2017. Turbin Screw Untuk Pembangkit Listrik Mikrohidro Ramah Lingkungan. *Jurnal Rekayasa Hijau*. 1(3): 233-244.
- Saleh, Z., M. F. Syafitra. 2016. Analisis Perbandingan Daya pada Saluran Pembawa untuk Suplai Turbin Ulir Archimedes. *Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT)*. 4:132-138.
- Saputra, M.A.T., A.I. Weking, I.W. Artawijaya. 2019. Eksperimental Pengaruh Variasi Sudut Ulir pada Turbin Ulir (Archimedes Screw) Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro dengan Head Rendah. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. 18(1):83-90.
- Sugiharto, T. 2009. *Analisis Varian*. Jakarta : Universitas Gunadarma.
- Trihendradi, C. 2005. *SPSS 12 Statistik Inferen Teori dan Aplikasinya*. Yogyakarta:Penerbit Andi.
- Yandra, F. E., S. U. Djufri. 2019. Studi Awal Pemanfaatan Turbin Screw pada Aliran Sungai Kecil di Kota Jambi. *Journal of Elctrical Power Control and Automation*. 2(1): 29-32.

Lampiran A. Data Hasil Pengukuran dan Pengujian

1) Data Putaran Poros (rpm)

Debit air	Pengulangan	Data putaran poros (rpm)			Rata-rata tiap PE	Rata-rata keseluruhan
		1	2	3		
0,0004 m ³ /s	PE 1	241,8	253,8	247,4	247,7	250,3 rpm
	PE 2	263,4	239,7	255,2	252,8	
	PE 3	253,6	248,1	249,3	250,3	
0,0006 m ³ /s	PE 1	360,2	376,5	369,7	368,8	369,7 rpm
	PE 2	367,6	368,1	370,8	368,8	
	PE 3	365,9	376,4	371,9	371,4	
0,001 m ³ /s	PE 1	430,6	419,8	423,2	424,5	423,3 rpm
	PE 2	414,9	416,7	426,3	419,3	
	PE 3	431,1	429,5	417,8	426,1	

2) Data Tegangan Listrik (volt)

Debit air	Pengulangan	Data tegangan (volt)			Rata-rata tiap PE	Rata-rata keseluruhan
		1	2	3		
0,0004 m ³ /s	PE 1	18,52	18,5	18,42	18,48	18,54 V
	PE 2	18,58	18,62	18,6	18,6	
	PE 3	18,62	18,54	18,52	18,56	
0,0006 m ³ /s	PE 1	19,12	19,22	19,16	19,16	19,18 V
	PE 2	19,22	19,18	19,24	19,22	
	PE 3	19,22	19,16	19,22	19,2	
0,001 m ³ /s	PE 1	19,85	20,1	20	19,98	20,03 V
	PE 2	19,99	20	20	20	
	PE 3	20,2	20,1	19,99	20,1	

3) Data Arus Listrik (mA)

Debit air	Pengulangan	Data arus listrik (mA)			Rata-rata tiap PE	Rata-rata keseluruhan
		1	2	3		
0,0004 m ³ /s	PE 1	34,4	34,4	34,8	34,6	35 mA
	PE 2	35	34,4	35,2	34,8	
	PE 3	35,2	35,8	25,6	35,6	
0,0006 m ³ /s	PE 1	37,4	37,2	37,8	37,4	37,6 mA
	PE 2	37,6	37,8	37,8	37,8	
	PE 3	37,6	37,4	37,4	37,4	
0,001 m ³ /s	PE 1	38,6	39	39	38,8	39 mA
	PE 2	39	38,8	38,8	38,8	
	PE 3	39	39,4	39	39,2	

Lampiran B. Perhitungan

1) Perhitungan Daya Hidrolis

Daya hidrolis dapat dihitung menggunakan persamaan 2.8, sebagai berikut :

- a) Debit 0,0004 m
- ³
- /s

$$\begin{aligned} P_{in} &= \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,0004 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,25 \text{ m} \\ &= 4,9 \text{ watt} \end{aligned}$$

- b) Debit 0,0006 m
- ³
- /s

$$\begin{aligned} P_{in} &= \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,0006 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,25 \text{ m} \\ &= 7,35 \text{ watt} \end{aligned}$$

- c) Debit 0,001 m
- ³
- /s

$$\begin{aligned} P_{in} &= \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,001 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,25 \text{ m} \\ &= 12,25 \text{ watt} \end{aligned}$$

2) Perhitungan Daya *Output*

Daya *output* dari generator dapat dihitung menggunakan persamaan 2.9, sebagai berikut :

- a) Debit 0,0004 m
- ³
- /s

$$\begin{aligned} P_{out} &= V \cdot I \\ &= 18,54 \text{ V} \cdot 0,035 \text{ A} \\ &= 0,64 \text{ watt} \end{aligned}$$

- b) Debit 0,0006 m
- ³
- /s

$$\begin{aligned} P_{out} &= V \cdot I \\ &= 19,18 \text{ V} \cdot 0,0376 \text{ A} \\ &= 0,72 \text{ watt} \end{aligned}$$

- c) Debit 0,0006 m
- ³
- /s

$$\begin{aligned} P_{out} &= V \cdot I \\ &= 20,03 \text{ V} \cdot 0,039 \text{ A} = 0,78 \text{ watt} \end{aligned}$$

3) Perhitungan Torsi Turbin Ulir

Torsi turbin ulir dapat dihitung menggunakan persamaan 2.11, sebagai berikut :

- a) Debit 0,0004 m
- ³
- /s

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{N}{60}}$$

$$= \frac{0,64}{2,3,14 \cdot \frac{250,3}{60}} = \frac{0,64}{26,20} = 0,024 \text{ Nm}$$

- b) Debit 0,0006 m
- ³
- /s

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{N}{60}}$$

$$= \frac{0,72}{2,3,14 \cdot \frac{369,7}{60}} = \frac{0,72}{38,7} = 0,019 \text{ Nm}$$

- c) Debit 0,001 m
- ³
- /s

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{N}{60}}$$

$$= \frac{0,78}{2,3,14 \cdot \frac{423,3}{60}} = \frac{0,78}{44,31} = 0,018 \text{ Nm}$$

4) Perhitungan Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin dapat dihitung menggunakan persamaan 2.12, sebagai berikut

- a) Debit 0,0004 m
- ³
- /s

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\%$$

$$= \frac{0,64 \text{ watt}}{4,9 \text{ watt}} \cdot 100\%$$

$$= 13,1 \%$$

- b) Debit 0,0006 m
- ³
- /s

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\%$$

$$= \frac{0,72 \text{ watt}}{7,35 \text{ watt}} \cdot 100\% = 9,8 \%$$

c) Debit 0,001 m³/s

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \\ &= \frac{0,78 \text{ watt}}{12,25 \text{ watt}} \cdot 100\% \\ &= 6,37 \%\end{aligned}$$

Lampiran C. Output analisis menggunakan SPSS

Case Processing Summary

	Debit Air	Cases					
		Valid		Missing		Total	
		N	Percent	N	Percent	N	Percent
Kinerja Turbin	0.0004	3	100.0%	0	0.0%	3	100.0%
	0.0006	3	100.0%	0	0.0%	3	100.0%
	0.001	3	100.0%	0	0.0%	3	100.0%

Descriptives

	Debit Air		Statistic	Std. Error	
Kinerja Turbin	0.0004	Mean	4.58800	4.259713	
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	-13.74007	
			Upper Bound	22.91607	
		5% Trimmed Mean	.		
		Median	.64000		
		Variance	54.435		
		Std. Deviation	7.378040		
		Minimum	.024		
		Maximum	13.100		
		Range	13.076		
		Interquartile Range	.		
		Skewness	1.718	1.225	
		Kurtosis	.	.	
	0.0006	Mean	3.51300	3.150007	

		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	-10.04039				
			Upper Bound	17.06639				
		5% Trimmed Mean			.			
		Median			.72000			
		Variance			29.768			
		Std. Deviation			5.455972			
		Minimum			.019			
		Maximum			9.800			
		Range			9.781			
		Interquartile Range			.			
		Skewness			1.700	1.225		
		Kurtosis			.	.		
		0.001		Mean			2.38933	2.002452
				95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	-6.22652		
					Upper Bound	11.00519		
5% Trimmed Mean				.				
Median				.78000				
Variance				12.029				
Std. Deviation				3.468349				
Minimum				.018				
Maximum				6.370				
Range				6.352				
Interquartile Range				.				
Skewness				1.638	1.225			
Kurtosis				.	.			

Tests of Normality

	Debit Air	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Kinerja	0.0004	.370	3	.	.785	3	.080
Turbin	0.0006	.362	3	.	.803	3	.123
	0.001	.345	3	.	.839	3	.210

a. Lilliefors Significance Correction

Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Kinerja Turbin	Based on Mean	1.864	2	6	.235
	Based on Median	.135	2	6	.877
	Based on Median and with adjusted df	.135	2	4.458	.878
	Based on trimmed mean	1.505	2	6	.295

ANOVA

Putaran Poros

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	47073.429	2	23536.714	3300.053	.000
Within Groups	42.793	6	7.132		
Total	47116.222	8			

Putaran Poros

Tukey HSD^a

V. Debit Air	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
0.0004	3	250.2667		
0.0006	3		369.6667	
0.001	3			423.3000
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ANOVA

Daya Output

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.027	2	.013	240.800	.000
Within Groups	.000	6	.000		
Total	.027	8			

ANOVA

Torsi

	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	.000	2	.000	875.565	.000
<i>Within Groups</i>	.000	6	.000		
<i>Total</i>	.000	8			

TorsiTukey HSD^a

Debit Alr	N	<i>Subset for alpha = 0.05</i>		
		1	2	3
0.001	3	.017700		
0.0006	3		.018700	
0.0004	3			.024833
<i>Sig.</i>		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ANOVA

Efisiensi

	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	77.006	2	38.503	237.251	.000
<i>Within Groups</i>	.974	6	.162		
<i>Total</i>	77.980	8			

EfisiensiTukey HSD^a

Debit Air	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
0.001	3	6.3967		
0.0006	3		9.8433	
0.0004	3			13.5600
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Lampiran D. Dokumentasi Penelitian

Pengujian turbin ulir



Mengatur sudut kemiringan turbin



Mengukur putaran poros



Mengukur arus dan tegangan listrik



Bukaan kran $\frac{1}{4}$ (lebar 28 mm)



Gambar C6. Bukaan kran $\frac{1}{2}$ (lebar 57 mm)



Gambar C7. Bukaan kran $\frac{3}{4}$ (lebar 85 mm)