

**SKRIPSI**  
**ANALISA PENGGUNAAN NACA 4424 PADA SUDU TURBIN**  
**AIR *CROSSFLOW* TENAGA MIKROHIDRO**



**DISUSUN OLEH :**  
**JIMMI BRADA**  
**14.11.117**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN S-1**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
**2019**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

**ANALISA PENGGUNAAN NACA 4424 PADA SUDU TURBIN AIR  
CROSSFLOW TENAGA MIKROHIDRO**

**Disusun Oleh:**

**Nama : Jimmi Brada**  
**Nim : 14.11.117**  
**Jurusan : Teknik Mesin S-1**  
**Fakultas : Teknologi Industri**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin S-1**



**Sibur, ST., MT.**

**NIP. Y. 1030300379**

**Diperiksa dan disetujui  
Dosen Pembimbing**

**Ir. Soeparno Djiwo, MT.**

**NIP.Y. 1018600128**



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSEPO) MALANG  
BANK NAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 651431 (Hunting), Fax. (0341) 653015 Malang 65146  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417638 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**Nama** : Jimmi Brada  
**Nim** : 14.11.117  
**Jurusan** : Teknik Mesin S-1  
**Judul** : ANALISA PENGGUNAAN NACA 4424 PADA SUDU TURBIN AIR  
**CROSSFLOW TENAGA MIKROHIDRO**

Dipertahankan Dihadapan Tim Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S1) pada:

Hari/Tanggal : Sabtu/26 Januari 2019

Dengan Nilai :

**PANITIA UJIAN SKRIPSI**

Ketua Jurusan Teknik Mesin S-1

Sekretaris Jurusan Teknik Mesin S-1

**Sibut, ST. MT.**  
NIP. Y. 1030300379

**Ir. Teguh Rahardjo, MT.**  
NIP. 195706011992021001

**ANGGOTA**

Penguji I

Penguji II

**Ir. I Waryan Sniama, MT.**  
NIP. 195812311989031012

**Ir. Moekhtar Asumi, MSME.**  
NIP. Y. 101810036



## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN ISI SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jimmi Brada

Nim : 14.11.117

Jurusan : Teknk Mesin S-1

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa isi Skripsi yang berjudul "**ANALISA PENGGUNAAN NACA 4424 PADA SUDU TURBIN AIR *CROSSFLOW* TENAGA MIKROHIDRO**" adalah Skripsi hasil karya saya sendiri bukan merupakan duplikasi serta tidak mengutip atau menyadur sebagian atau seluruhnya dari karya orang lain, kecuali yang telah disebutkan dari sumber aslinya.



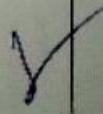
Malang, Maret 2019

Yang membuat pernyataan

  
Jimmi Brada  
NIM. 14.11.117

### LEMBAR ASISTENSI

Nama : Jimmi Brada  
NIM : 14.11.117  
Jurusan Bidang : Teknik Mesin S1/ Konversi Energi  
Judul Skripsi : ANALISA PENGGUNAAN NACA 4424 PADA SUDU  
TURBIN AIR *CROSSFLOW* TENAGA MIKROHIDRO  
Dosen Pembimbing : Ir. Soeparno Djiwo., MT.

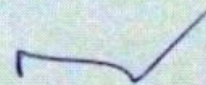
No	Tanggal	Asistensi	Paraf
1	Kamis 01-11-2018	<ul style="list-style-type: none"><li>- Memperbaiki batasan masalah seperti:<ul style="list-style-type: none"><li>➢ Tempat pengujian dan elevasi ketinggian air.</li><li>➢ Turbin yang akan digunakan.</li><li>➢ Pengujian yang akan dilakukan seperti putaran poros dan kecepatan aliran air.</li><li>➢ Metode pengolahan yang digunakan.</li></ul></li></ul>	
2	Senin 05-11-2018	<ul style="list-style-type: none"><li>- Memperbaiki lembar pengesahan (biaya kegiatan dan jangka waktu pelaksanaan).</li><li>- Memperbaiki batasan masalah.</li><li>- Menambahkan road map diagram dan mengulas peneliti terdahulu (Sub Bab 2.1).</li><li>- Memperbaiki urutan Sub Bab pada Bab 2.</li><li>- Memperbaiki diagram alir.</li><li>- Menambahkan penjelasan diagram alir.</li><li>- Memperbaiki jadwal kegiatan</li><li>- Menambahkan tabel rincian biaya.</li><li>- Memperbaiki penulisan daftar pustaka.</li></ul>	
3	Kamis 8-11-2018	<ul style="list-style-type: none"><li>- Menyempurnakan kembali batasan masalah.</li><li>- Menambahkan referensi metode pengolahan data (Sub Bab 2.6).</li><li>- Memperbaiki diagram alir (penambahan pengambilan data dan pengolahan data).</li><li>- Memperbaiki penjelasan diagram alir.</li></ul>	

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Memperbaiki jadwal dan biaya.</li> <li>- Menambahkan daftar riwayat hidup.</li> </ul>	
4	Senin 12-11-2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disempurnakan kembali penjelasan prototipe turbin dan pembuatan sudu, pengujian clavasi ketinggian.</li> <li>- Tahap-tahap pengambilan data.</li> <li>- Langkah-langkah proses pengambilan seperti kecepatan aliran, pengambilan data putaran, mengolah data.</li> <li>- Melengkapi penjelasan tentang NACA.</li> </ul>	✓
5	Kamis 15-11-2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pembuatan prototipe turbin disempurnakan.</li> <li>- Dilengkapi dengan gambar dokumentasi.</li> <li>- Disempurnakan perhitungan dilengkapi.</li> <li>- Dijelaskan kembali setelah pengambilan data dilapangan dan lengkapi dokumentasi.</li> <li>- Pengambilan data dijelaskan lengkap untuk teori kecukupan data.</li> <li>- Sumber pengolahan data ditulis dengan jelas.</li> <li>- Menambahkan dasar teori pembuatan grafik hubungan dan sumbernya ditulis dengan jelas.</li> <li>- Dilanjutkan Bab 4.</li> </ul>	✓
6	Senin 06-12-2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lampirkan dokumentasi turbin <i>crossflow</i> yang dibuat.</li> <li>- Tabel data pengujian tempatkan dilampiran ditanda tangan peneliti dan pembimbing.</li> <li>- 4.1 menarasikan dalam bentuk paragraf tahapan pengambilan data.</li> </ul>	✓

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengolahan data, menganalisa kecukupan data.</li> </ul>	
7	Sabtu 08-12-2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penjelasan pengambilan kecepatan aliran air ditambahkan penentuan jarak bola dan bola.</li> <li>- Menambahkan pengantar cerita sebelum tabel.</li> <li>- Menyempurnakan cara penjelasan gambar dan tabel.</li> </ul>	✓
8	Senin 10-12-2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sub Bab 3.2 (no.2) rumusnya dijelaskan di Bab 2.</li> <li>- Penentuan elevasi ketinggian gambarnya diganti.</li> <li>- Menambahkan penjelasan pada tabel dan gambar.</li> <li>- Lanjutkan Sub Bab 4.1.2</li> </ul>	✓
9	Kamis 13-12-2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menambahkan pembahasan kecepatan aliran air perbedaan setiap kenaikan <i>head</i>.</li> <li>- Lanjut Sub Bab 4.3.2</li> </ul>	✓
10	Sabtu 15-12-2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alat ukur dipindahkan ke bagian yang diperlukan (Bab 3).</li> <li>- Penambahan pembahasan analisa perbandingan dari referensi maupun peneliti terdahulu.</li> </ul>	✓
11	Kamis 20-12-2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Memperbaiki pembahasan putaran poros turbin berdasarkan sudut pengarah.</li> <li>- Menambahkan pembahasan Sub Bab 3.2.7 dijelaskan dari pengujian, pengolahan, pembahasan.</li> <li>- Menambahkan Pembahasan daya listrik yang dihasilkan turbin pada Sub Bab 4.3.7</li> </ul>	✓

		efisiensi turbin.	
12	Sabtu 22-12-2018	<ul style="list-style-type: none"><li>- Menambahkan pembahasan losses daya air pada daya turbin.</li><li>- Menambahkan penjelasan alternator pada Bab 2.</li><li>- Lanjutkan Bab 5, kesimpulan dan saran.</li><li>- Membuat rekapitulasi data pengujian.</li></ul>	✓

Dosen Pembimbing



Ir. Soeparno Djuwo, MT  
NIP. Y.1018600128




## LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Jimmi Brada  
Nim : 14.11.117  
Jurusan : TEKNIK MESIN S-1  
Judul Skripsi : ANALISA PENGGUNAAN NACA 4424 PADA SUDU  
TURBIN AIR *CROSSFLOW* TENAGA MIKROHIDRO  
Dosen Pembimbing : Ir. Soeparno Djiwo, MT.

Tanggal pengajuan skripsi : 26 September 2018  
Tanggal penyelesaian skripsi : 12 Februari 2019  
Telah diselesaikan dengan nilai : 85.00

Disetujui  
Dosen Pembimbing

  
Ir. Soeparno Djiwo, MT.  
NIP. Y. 1018600128

# **ANALYSIS OF THE USE NACA 4424 AT WATER TURBINE CROSSFLOW MICRO-HYDRO POWER**

**Jimmi Brada**

Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Malang

JL. Raya Karanglo KM. 2, Tasikmadu, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa timur 65153

Email: [jimmy.jimmybrada@gmail.com](mailto:jimmy.jimmybrada@gmail.com)

## **ABSTRACT**

The need for electricity is increasing now. Geographical conditions in Indonesia actually can be utilized for establishing small-scale power plants commonly known as the Micro-Hydro Power Plant (MHP). Cross-flow turbines are the most appropriate form of turbines which can be used in the MHP. Efforts to meet these needs are directed towards the independence of electricity for the community through the achievement of electrification for the society. Indonesia has many energy resources that are environmentally friendly and renewable. This research was carried out by using a cross-flow turbine and measuring its force, velocity, and discharge. The research method used was an experimental method with a field-scale experiment using a set of cross-flow/impulse turbine. This research was conducted in Selorejo Hamlet, Sidorejo Village, Ponggok District, Blitar Regency, East Java. Based on the subject matter discussed, the author conducted a case study in the design of a cross-flow turbine which included calculation of its size, power analysis, velocity, and efficiency. The way it worked was by letting the water flow through the pipe entrance and was regulated by a propeller and into the turbine blade rotation. After the water passed through the turbine blade rotation, the water became at the opposite blade rotation. This is what provided additional efficiency. Finally, the water flowed from the casing, either freely or through a tube under the turbine.

**Keyword:** Water turbine, Crossflow, Micro hidro power plant

# ANALISA PENGGUNAAN NACA 4424 PADA SUDU TURBIN AIR CROSSFLOW TENAGA MIKROHIDRO

**Jimmi Brada**

Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Malang

JL. Raya Karanglo KM. 2, Tasikmadu, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa timur 65153

Email: [jimmy.jimmybrada@gmail.com](mailto:jimmy.jimmybrada@gmail.com)

## ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat, dengan keadaan geografis di daerah-daerah di Indonesia dapat dimanfaatkan untuk sebuah pembangkit tenaga listrik berskala kecil yang biasa dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Bentuk turbin yang tepat untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah turbin *crossflow*. Usaha untuk memenuhi kebutuhan diarahkan menuju kemandirian energy listrik bagi masyarakat melalui tercapainya suatu elektrifikasi bagi masyarakat. Indonesia memiliki potensi sumber daya energy yang ramah lingkungan dan terbarukan. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan instalasi turbin air jenis *crossflow* dan dilakukan pengukuran terhadap gaya kecepatan dan debit aliran. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan rancangan percobaan berskala lapangan menggunakan satu set peralatan turbin air jenis impuls *crossflow*. Metode ini di lakukan di Dusun Selorejo, Desa Sidorejo, Kecamatan Ponggok, Kabupaten Blitar Jawa Timur Berdasarkan pokok masalah yang dibahas, maka penulis melakukan studi kasus dalam perancangan turbin *crossflow* yang terdiri dari perhitungan ukuran turbin *crossflow* yang terdiri dari perhitungan ukuran turbin *crossflow*, analisa daya, kecepatan aliran, dan efisiensi pada turbin *crossflow* dengan cara kerja Aliran air mengalir melalui pintu masuk pipa, dan diatur oleh baling-baling pemacu dan masuk ke putaran kipas turbin. Setelah air melewati putaran kipas turbin, air berada pada putaran kipas yang berlawanan, sehingga memberikan efisiensi tambahan. Akhirnya, air mengalir dari casing baik secara bebas atau melalui tabung dibawah turbin.

**Kata kunci:** Turbin air, Chrossflow, Pembangkit listrik tenaga air

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji bagi Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul ANALISA PENGGUNAAN NACA 4424 PADA SUDU TURBIN AIR CROSSFLOW TENAGA MIKROHIDRO. Tak lupa penulis banyak mengucapkan terimakasih kepada yang terhormat :

1. Bapak Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Dr. Ir. Yudi Lipraptono, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Sibut, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME selaku koordinator bidang ilmu konversi energi.
5. Bapak Ir. Soeparno Djiwo.,MT selaku dosen pembimbing skripsi yang telah menyumbangkan pemikiran dan waktunya yang sangat berharga bagi penulis demi terselesainya skripsi ini.
6. Bapak Ir. Teguh Raharjo, MT selaku dosen wali yang telah memberikan nasihat dan arahan, serta didikan selama ini.
7. Kedua Orang Tua beserta keluarga, terima kasih atas doa dan dukungannya demi cepat terselesaikannya skripsi ini.
8. Rekan-rekan sekelompok dan kelompok bimbingan skripsi yang telah bekerja sama dan selalu memberikan dukungan dikala skripsi ini mengalami kendala, serta seluruh teman-teman seangkatan Teknik Mesin 2014 yang tidak didapatkan satu persatu.
9. Berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyelesaian proposal ini.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan dapat dikembangkan lagi dikemudian hari untuk penelitian selanjutnya.

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN .....	i
BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI .....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN ISI SKRIPSI .....	iii
LEMBAR ASISTENSI .....	iv
LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI .....	viii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR GRAFIK .....	xix
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH .....	1
1.2 Rumusan masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
1.7 Road Map Diagram .....	6
BAB II .....	7
LANDASAN TEORI .....	7
2.1 Peneliti Terdahulu .....	7
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro .....	10
2.3 Turbin Impuls .....	11
2.4 Penjelasan Turbin Air Crossflow .....	15
2.4.1 Prinsip Turbin Crossflow .....	16
2.4.2 Perencanaan Pipa Pesat .....	17
2.4.3 Perencanaan Pipa Runner Turbin Crossflow .....	17
2.5 NACA .....	18
2.5.1 Bentuk-bentuk NACA .....	18
2.5.2 NACA Seri ‘Empat Digit’ .....	19

2.5.3 NACA 4424 .....	20
2.6 Metode Statistik Inferensial .....	21
2.6.1 Kecukupan Data .....	22
2.6.2 Keseragaman Data .....	24
2.6.3 Uji Regresi .....	25
BAB III .....	28
METODE PENELITIAN .....	28
3.1 Diagram Alir .....	28
3.2 Penjelasan Diagram Alir .....	29
BAB IV .....	43
HASIL DAN PEMBAHASAN .....	43
4.1 Data Hasil Pengujian .....	43
4.1.1 Data Hasil Pengujian Kecepatan Aliran Air .....	43
4.1.2 Data Hasil Pengujian Putaran Poros Turbin .....	43
4.1.3 Data Hasil Pengujian Massa .....	44
4.2 Pengolahan Data Hasil Pengujian .....	44
4.2.1 Pengolahan Data Hasil Pengujian Kecepatan Aliran Air .....	44
4.2.2 Pengolahan Data Hasil Pengujian Putaran Poros Turbin .....	57
4.2.3 Pengolahan Data Hasil Pengujian Beban .....	92
4.2.4 Pengolahan Data Torsi .....	122
4.2.5 Pengolahan Data Daya Air .....	123
4.2.6 Pengolahan Data Kecepatan Sudut .....	127
4.2.7 Pengolahan Data Daya Turbin .....	128
4.2.8 Pengolahan Data Putaran Spesifik .....	129
4.2.9 Pengolahan Data Efisiensi Turbin .....	130
4.3 Pembahasan .....	131
4.3.1 Kecepatan Aliran .....	131
4.3.2 Putaran Poros Turbin .....	132
4.3.3 Beban .....	133
4.3.4 Torsi .....	135
4.3.5 Daya Air .....	136
4.3.6 Kecepatan Sudut .....	136
4.3.7 Daya Turbin .....	138
4.3.8 Putaran Spesifik .....	139

4.3.9 Efisiensi Turbin.....	140
<b>BAB V</b> .....	142
<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	142
5.1 Kesimpulan.....	142
5.2 Saran.....	142
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	143
<b>LAMPIRAN</b> .....	144

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Read map diagram	6
Gambar 2.1 Pembangkit listrik mikrohidro	10
Gambar 2.2 Turbin pelton	13
Gambar 2.3 Turbin turgo	14
Gambar 2.4 Konstruksi turbin crossflow	14
Gambar 2.5 Aliran air pada turbin crossflow	17
Gambar 2.6 Airfoil dengan bagian-bagiannya	19
Gambar 2.7 Naca seri empat digit	20
Gambar 2.8. Hydrofoil NACA 4424	21
Gambar 3.1 Diagram alir	28
Gambar 3.2 Rancangan prototipe turbin	29
Gambar 3.3 Runner turbin	30
Gambar 3.4 Dudukan turbin air	31
Gambar 3.5 Prototipe turbin crossflow	31
Gambar 3.6 Pemotongan pipa PVC dengan menggunakan gerinda	33
Gambar 3.7 Penggabungan pipa PVC dengan menggunakan lem pipa	34
Gambar 3. 8 Pembentukan pipa PVC menjadi bentuk NACA 4424 dengan menggunakan gerinda	34
Gambar 3. 9 Penghalusan NACA 4424 dengan menggunakan mesin amplas	34
Gambar 3.10 Pemasngan NACA 4424 ke runner turbin	35
Gambar 3.11 Hasil susu NACA 4424	35
Gambar 3.12 Pengukuran variasi ketinggian menggunakan meter ukur	36
Gambar 3.13. Penempatan turbin crossflow berdasarkan variasi ketinggian	36
Gambar 3.14 Pemasangan pipa piset dengan turbin crossflow	37
Gambar 3.15 Pengukuran kecepatan aliran air dengan menggunakan bola dan stopwatch	38
Gambar 3.16 Pengukuran putaran poros turbin dengan menggunakan tachometer	38
Gambar 3.17. Pengukuran massa dengan menggunakan prone brake	39



## DAFTAR TABEL

<b>Tsbel 2.1.</b> Kisaran kecepatan spesifik beberapa turbin air.....	11
<b>Tsbel 2.2.</b> Krijcie for determining sample size.....	23
<b>Tsbel 4.1.</b> Data hasil pengujian kecepatan aliran air.....	43
<b>Tsbel 4.2.</b> Data hasil pengujian putaran poros turbin.....	44
<b>Tsbel 4.3.</b> Data hasil pengujian pembebanan.....	44
<b>Tsbel 4.4.</b> Data uji keseragaman kecepatan aliran air ketinggian 1 meter.....	46
<b>Tsbel 4.5.</b> Data uji keseragaman pada kecepatan aliran air ketinggian 1.25 meter.....	48
<b>Tsbel 4.6.</b> Data uji keseragaman pada kecepatan aliran air ketinggian 1.5 meter.....	50
<b>Tsbel 4.7.</b> Data uji keseragaman pada kecepatan aliran air ketinggian 1.75 meter.....	52
<b>Tsbel 4.8.</b> Data uji keseragaman pada kecepatan aliran air ketinggian 2 meter.....	54
<b>Tsbel 4.9.</b> Data hasil pengolahan kecepatan aliran air.....	56
<b>Tsbel 4.10.</b> Data uji keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1 meter sudut pengarah 20°.....	58
<b>Tsbel 4.11.</b> Data uji keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1 meter sudut pengarah 40°.....	60
<b>Tsbel 4.12.</b> Data uji keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1 meter sudut pengarah 60°.....	62
<b>Tsbel 4.13.</b> Data uji keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.25 meter sudut pengarah 20°.....	64
<b>Tsbel 4.14.</b> Data uji keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.25 meter sudut pengarah 40°.....	66
<b>Tsbel 4.15.</b> Data uji keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.25 meter sudut pengarah 60°.....	69
<b>Tsbel 4.16.</b> Data uji keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.5 meter sudut pengarah 20°.....	71
<b>Tsbel 4.17.</b> Data uji keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.5 meter sudut pengarah 40°.....	73
<b>Tsbel 4.18.</b> Data uji keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.5 meter sudut pengarah 60°.....	75
<b>Tsbel 4.19.</b> Data uji keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.75 meter sudut pengarah 20°.....	77

<b>Tabel 4.20.</b> Data uji keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.75 meter sudut pengarah 40°	79
<b>Tabel 4.21.</b> Data uji keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.75 meter sudut pengarah 60°	81
<b>Tabel 4.22.</b> Data uji keseragaman putaran poros turbin ketinggian 2 meter sudut pengarah 20°	83
<b>Tabel 4.23.</b> Data uji keseragaman putaran poros turbin ketinggian 2 meter sudut pengarah 40°	85
<b>Tabel 4.24.</b> Data uji keseragaman putaran poros turbin ketinggian 2 meter sudut pengarah 60°	87
<b>Tabel 4.25.</b> Data hasil pengolahan putaran poros turbin	89
<b>Tabel 4.26.</b> Data uji keseragaman massa ketinggian 1 meter sudut pengarah 20°	93
<b>Tabel 4.27.</b> Data uji keseragaman massa ketinggian 1 meter sudu pengarah aliran air 40°	95
<b>Tabel 4.28.</b> Data uji keseragaman massa ketinggian 1 meter sudu pengarah aliran air 60°	97
<b>Tabel 4.29.</b> Data uji keseragaman massa ketinggian 1.25 meter sudu pengarah aliran air 20°	99
<b>Tabel 4.30.</b> Data uji keseragaman massa ketinggian 1.25 meter sudu pengarah aliran air 40°	101
<b>Tabel 4.31.</b> Data uji keseragaman massa ketinggian 1.25 meter sudu pengarah aliran air 60°	103
<b>Tabel 4.32.</b> Data uji keseragaman massa ketinggian 1.5 meter sudu pengarah aliran air 20°	105
<b>Tabel 4.33.</b> Data uji keseragaman massa ketinggian 1.5 meter sudu pengarah aliran air 40°	107
<b>Tabel 4.34.</b> Data uji keseragaman massa ketinggian 1.5 meter sudu pengarah aliran air 60°	109
<b>Tabel 4.35.</b> Data uji keseragaman massa ketinggian 1.75 meter sudu pengarah aliran air 20°	111
<b>Tabel 4.36.</b> Data uji keseragaman massa ketinggian 1.75 meter sudu pengarah aliran air 40°	113
<b>Tabel 4.37.</b> Data uji keseragaman massa ketinggian 1.75 meter sudu pengarah aliran air 60°	115
<b>Tabel 4.38.</b> Data uji keseragaman massa ketinggian 2 meter sudu pengarah aliran air 20°	117
<b>Tabel 4.39.</b> Data uji keseragaman massa ketinggian 2 meter sudu pengarah aliran air 40°	119

<b>Tabel 4.40.</b> Data uji keseragaman massa ketinggian 2 meter sudut pengarah aliran air $60^\circ$ .....	121
<b>Tabel 4.41.</b> Data hasil pengolahan Torsi.....	123
<b>Tabel 4.42.</b> Data hasil pengolahan daya air .....	123
<b>Tabel 4.43.</b> Data hasil pengolahan pembebanan .....	124
<b>Tabel 4.44.</b> Data hasil pengolahan kecepatan sudut.....	128
<b>Tabel 4.45.</b> Data hasil pengolahan daya turbin .....	129
<b>Tabel 4.46.</b> Data hasil pengolahan putaran spesifik.....	130
<b>Tabel 4.47.</b> Data hasil pengolahan efisiensi turbin .....	131

## DAFTAR GRAFIK

<b>Gambar 4.1.</b> Grafik keseragaman kecepatan aliran ketinggian 1 meter	47
<b>Gambar 4.2.</b> Grafik keseragaman kecepatan aliran ketinggian 1.25 meter	49
<b>Gambar 4.3.</b> Grafik keseragaman kecepatan aliran ketinggian 1.5 meter	51
<b>Gambar 4.4.</b> Grafik keseragaman kecepatan aliran ketinggian 1.75 meter	53
<b>Gambar 4.5.</b> Grafik keseragaman kecepatan aliran ketinggian 2 meter	55
<b>Gambar 4.6</b> Grafik hubungan regresi linier antara tinggi jatuh dengan kecepatan aliran	57
<b>Gambar 4.7.</b> Grafik keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1 meter sudut pengarah $20^\circ$	59
<b>Gambar 4.8.</b> Grafik keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1 meter sudut pengarah $40^\circ$	61
<b>Gambar 4.9.</b> Grafik keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1 meter sudut pengarah $60^\circ$	63
<b>Gambar 4.10</b> Grafik keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.25 meter sudut pengarah $20^\circ$	65
<b>Gambar 4.11.</b> Grafik keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.25 meter sudut pengarah $40^\circ$	68
<b>Gambar 4.12.</b> Grafik keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.25 meter sudut pengarah $60^\circ$	70
<b>Gambar 4.13.</b> Grafik keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.5 meter sudut pengarah $20^\circ$	72
<b>Gambar 4.14.</b> Grafik keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.5 meter sudut pengarah $40^\circ$	74
<b>Gambar 4.15.</b> Grafik keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.5 meter sudut pengarah $60^\circ$	76
<b>Gambar 4.16.</b> Grafik keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.75 meter sudut pengarah $20^\circ$	78
<b>Gambar 4.17.</b> Grafik keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.75 meter sudut pengarah $40^\circ$	80
<b>Gambar 4.18.</b> Grafik keseragaman putaran poros turbin ketinggian 1.75 meter sudut pengarah $60^\circ$	82

<b>Gambar 4.19.</b> Grafik keseragaman putaran poros turbin ketinggian 2 meter sudut pengarah $20^\circ$	84
<b>Gambar 4.20.</b> Grafik keseragaman putaran poros turbin ketinggian 2 meter sudut pengarah $40^\circ$	86
<b>Gambar 4.21.</b> Grafik keseragaman putaran poros turbin ketinggian 2 meter sudut pengarah $60^\circ$	88
<b>Gambar 4.22.</b> Grafik hubungan regresi linier antara tinggi jatuh dengan putaran poros turbin sudut $20^\circ$	90
<b>Gambar 4.23.</b> Grafik hubungan regresi linier antara tinggi jatuh dengan tinggi jatuh dengan putaran poros turbin sudut $40^\circ$	91
<b>Gambar 4.24.</b> Grafik hubungan regresi linier antara tinggi jatuh dengan tinggi jatuh dengan putaran poros turbin sudut $60^\circ$	92
<b>Gambar 4.25.</b> Grafik keseragaman massa ketinggian 1 meter sudu pengarah aliran air $20^\circ$	94
<b>Gambar 4.26.</b> Grafik keseragaman massa ketinggian 1 meter sudu pengarah aliran air $40^\circ$	96
<b>Gambar 4.27.</b> Grafik keseragaman massa ketinggian 1 meter sudu pengarah aliran air $60^\circ$	98
<b>Gambar 4.28.</b> Grafik keseragaman massa ketinggian 1.25 meter sudu pengarah aliran air $20^\circ$	100
<b>Gambar 4.29.</b> Grafik keseragaman massa ketinggian 1.25 meter sudu pengarah aliran air $40^\circ$	102
<b>Gambar 4.30.</b> Grafik keseragaman massa ketinggian 1.25 meter sudu pengarah aliran air $60^\circ$	104
<b>Gambar 4.31.</b> Grafik keseragaman massa ketinggian 1.5 meter sudu pengarah aliran air $20^\circ$	106
<b>Gambar 4.32.</b> Grafik keseragaman massa ketinggian 1.5 meter sudu pengarah aliran air $40^\circ$	108
<b>Gambar 4.33.</b> Grafik keseragaman massa ketinggian 1.5 meter sudu pengarah aliran air $60^\circ$	110
<b>Gambar 4.34.</b> Grafik keseragaman massa ketinggian 1.75 meter sudu pengarah aliran air $20^\circ$	112
<b>Gambar 4.35.</b> Grafik keseragaman massa ketinggian 1.75 meter sudu pengarah aliran air $40^\circ$	114
<b>Gambar 4.36.</b> Grafik keseragaman massa ketinggian 1.75 meter sudu pengarah aliran air $60^\circ$	116
<b>Gambar 4.37.</b> Grafik keseragaman massa ketinggian 2 meter sudu pengarah aliran air $20^\circ$	118

<b>Gambar 4.38.</b> Grafik keseragaman massa ketinggian 2 meter sudu pengarah aliran air $40^\circ$	120
<b>Gambar 4.39.</b> Grafik keseragaman massa ketinggian 2 meter sudu pengarah aliran air $60^\circ$	122
<b>Gambar 4.40.</b> Grafik hubungan antara tinggi jatuh air dengan torsi	123
<b>Gambar 4.41.</b> Grafik hubungan antara tinggi jatuh dengan daya air	124
<b>Gambar 4.42.</b> Grafik hubungan regresi linier antara tinggi jatuh air dengan massa sudut $20^\circ$	125
<b>Gambar 4.43.</b> Grafik hubungan regresi linier antara tinggi jatuh air dengan massa sudut $40^\circ$	126
<b>Gambar 4.44.</b> Grafik hubungan regresi linier antara tinggi jatuh air dengan massa sudut $60^\circ$	127
<b>Gambar 4.45.</b> Grafik hubungan antara tinggi jatuh air dengan kecepatan sudut	128
<b>Gambar 4.46.</b> Grafik hubungan antara tinggi jatuh dengan daya turbin	129
<b>Gambar 4.47.</b> Grafik hubungan antara tinggi jatuh dengan putaran spesifik	130
<b>Gambar 4.48.</b> Grafik hubungan antara tinggi jatuh dengan efisiensi turbin	131