

**ANALISIS DESAIN TURBIN PLTMH WAE ROA
TERHADAP PERFORMA DAYA DAN DEBIT AIR DENGAN
SIMULASI CAD**



Oleh :

ANDREAS PERWIRA YUDI

NIM : 1905190005

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA JAKARTA
2022**

**ANALISIS DESAIN TURBIN PLTMH WAE ROA
TERHADAP PERFORMA DAYA DAN DEBIT AIR DENGAN
SIMULASI CAD**



**Tesis ini ditulis untuk memenuhi sebagian persyaratan guna
memperoleh gelar Magister Teknik Elektro (MT)**

ANDREAS PERWIRA YUDI

NIM : 1905190005

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA JAKARTA**

2022



PENYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andreas Perwira Yudi
NIM : 1905190005
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Fakultas : Program Pasca Sarjana

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis tugas akhir yang berjudul “Analisis Desain Turbin PLTMH Wae Roa Terhadap Performa Daya Dan Debit Air Dengan Simulasi CAD” adalah:

1. Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan hasil kuliah, tinjauan lapangan, buku-buku dan jurnal acuan yang tertera di dalam referensi pada karya tugas akhir saya.
2. Bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar Magister di universitas lain. Kecuali pada bagian-bagian sumber informasi yang dicantumkan dengan cara referensi yang semestinya.
3. Bukan merupakan karya terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera di dalam referensi pada tugas.

Kalau terbukti saya tidak memenuhi apa yang dinyatakan di atas, maka karya tugas akhir ini dianggap batal.

Jakarta, 9 Juli 2022



1905190005/Andreas Perwira Yudi



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS PROGRAM PASCASARJANA

PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR
ANALISIS DESAIN TURBIN PLTMH WAE ROA TERHADAP PERFORMA
DAYA DAN DEBIT AIR DENGAN SIMULASI CAD

Oleh :

Nama : Andreas Perwira Yudi
NIM : 1905190005
Program Studi : Magister Teknik Elektro

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dan dipertahankan dalam Sidang Tugas Akhir guna mencapai gelas Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia

Jakarta, 9 Juli 2022

Menyetujui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Drs. Leonard Lisapaly, M.Si, Ph.D
NIDN : 32704625

Dr. Togar Harapan Pangaribuan, MT
NIDN : 16035906

Ketua Program Studi
Magister Teknik Elektro

Direktur
Program Pascasarjana

Drs. Leonard Lisapaly, M.Si, Ph.D

Dr. Bintang R. Simbolon, M.Si



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS PROGRAM PASCASARJANA

PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Pada 9 Juli 2022 telah diselenggarakan Sidang Tugas Akhir untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik guna memperoleh gelar Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, atas nama :

Nama : Andreas Perwira Yudi

NIM : 1905190005

Program Studi : Magister Teknik Elektro

Fakultas : Program Pascasarjana

Termasuk ujian Tugas Akhir yang berjudul ANALISIS DESAIN TURBIN PLTMH WAE ROA TERHADAP PERFORMA DAYA DAN DEBIT AIR DENGAN SIMULASI CAD oleh tim penguji yang terdiri dari :

Nama Penguji	Jabatan dalam Tim Penguji	Tanda Tangan
1. Drs. Leonard Lisapaly, M.Si, Ph.D	,Sebagai anggota	
2. Dr. Togar Harapan Pangaribuan, MT	,Sebagai anggota	
3. Ir. Bambang Widodo, MT	,Sebagai anggota	

Jakarta, 9 Juli 2022



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA

Pernyataan dan Persetujuan Publikasi Tugas Akhir

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andreas Perwira Yudi
NIM : 1905190005
Fakultas : Program Pasca Sarjana
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Jenis Tugas Akhir : Tesis
Judul : Analisis Desain Turbin PLTMH Wae Roa Terhadap Performa Daya Dan Debit Air Dengan Simulasi CAD

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir tersebut adalah benar karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar akademik di perguruan tinggi mana pun;
2. Tugas akhir tersebut bukan merupakan plagiat dari hasil karya pihak lain, dan apabila saya/kami mengutip dari karya orang lain maka akan dicantumkan sebagai referensi sesuai dengan ketentuan yang berlaku;
3. Saya memberikan Hak Non eksklusif Tanpa Royalti kepada Universitas Kristen Indonesia yang berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (data Base), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilih hak cipta.

Apabila dikemudian hari ditemukan pelanggaran Hak Cipta dan Kekayaan Intelektual atau Peraturan Perundang-undangan Republik Indonesia lainnya dan integritas akademik dalam karya saya tersebut, maka saya bersedia menanggung secara pribadi segala bentuk tuntutan hukum dan sanksi akademis yang timbul serta membebaskan Universitas Kristen Indonesia dari segala tuntutan hukum yang berlaku.

Jakarta, 29 Juli 2022



1905190005/Andreas Perwira Yudi

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, kasih dan karunia-Nya maka penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Analisis Desain Turbin PLTMH Wae Roa Terhadap Performa Daya dan Debit Air Dengan Simulasi CAD”.

Tujuan dari penulisan tesis ini adalah untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik Elektro dari Program Pasca Sarjana Universitas Kristen Indonesia (UKI) Jakarta.

Dalam proses penyusunan tesis ini, penulis banyak mendapatkan bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga penulisan tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan setinggi-tingginya penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., Ph.D. dan Bapak Dr. Togar Harapan Pangaribuan, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah bersedia membimbing dan mengarahkan penulis selama penyusunan tesis ini.
2. Bapak Dr. Dhaniswara K. Hardjono. S.H., M.H., M.B.A. selaku Rektor Universitas Kristen Indonesia.
3. Bapak Ir. Bambang Widodo, M.T. selaku Dosen Penguji yang telah bersedia mengarahkan dalam perbaikan tesis ini.
4. Bapak Djoko Sutjiaman selaku Direktur PT Henindo Technologies yang telah berkenan memberi izin dalam penelitian PLTMH Wae Roa.
5. Mr. Gerhard Fischer selaku konsultan mikrohidro Indonesia yang telah memberikan pengetahuan tentang turbin pelton.
6. Bapak Fudin Sunandar selaku pegawai lapangan yang selalu memonitor operasional PLTMH Wae Roa.
7. Ibu Unggul Suryanti yang selalu membimbing dalam mengolah Software CAD.
8. Istri dan kedua orang tua yang selalu memberi dukungan.
9. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu menyelesaikan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu saran beserta kritikan yang membangun akan sangat berguna. Penulis juga berharap tesis ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkan dan ingin membacanya. Akhir kata dengan segala syukur penulis mengucapkan terima kasih dan Tuhan memberkati kita semua. Amin.

Jakarta, 9 Juli 2022

DAFTAR ISI

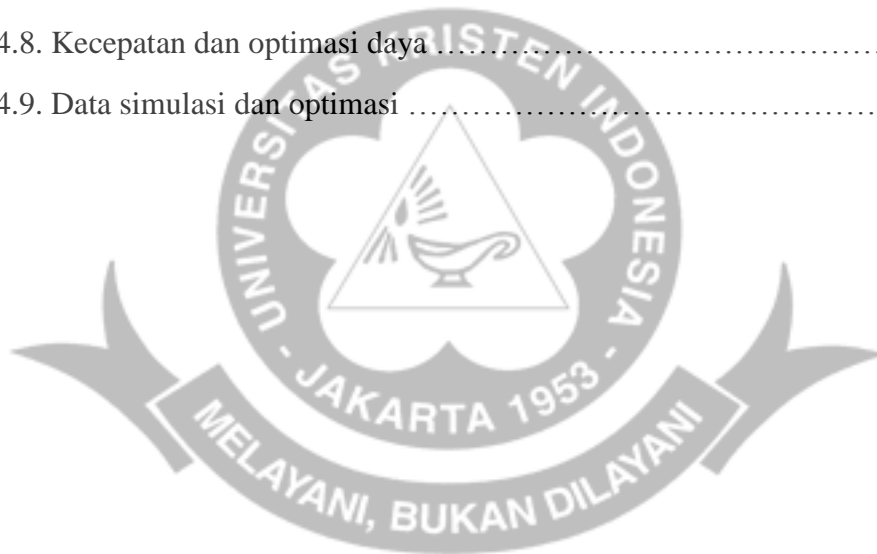
HALAMAN COVER	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING	iv
HALAMAN PERSETUJUAN TIM PENGUJI	v
HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
ABSTRAK	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Perumusan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	4
1.7 Metode Penelitian	5
1.8 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pendahuluan	6
2.2 Mikrohidro Sebagai Energi Terbarukan	7
2.3 Infrastruktur	9
2.4 Klasifikasi Turbin	18
2.5 Simulasi CAD Turbin	21
2.6 Ekonomi Energi	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metodologi Penelitian	30
3.2 Diagram Penelitian	32

3.2	Literatur Data PLTMH	33
3.3	Desain Simulasi CAD Turbin	38
3.4	Monitoring Daya	43
BAB IV HASIL DAN PENELITIAN		
4.1	Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	45
4.2	Menghitung Gaya Newton	47
4.3	Analisa Daya Turbin	52
4.4	Analisa Debit Air	58
4.5	Analisa Desain	65
4.6	Simulasi Dan Turbin	68
4.7	Perhitungan Ekonomis Pembangkit	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	74
5.2	Saran	75
Daftar Pustaka		76



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan dimensi Jet dan Bucket	15
Tabel 3.1 Karakteristik pipa dengan tekanan sebesar 10 bar	38
Tabel 4.1 Monitoring Tahunan 2017	46
Tabel 4.2 Monitoring Tahunan 2021	46
Tabel 4.3 Variasi kecepatan air terhadap gaya runaway (N)	51
Tabel 4.4 Monitoring kWh meter bulan Maret 2022	53
Tabel 4.5. Monitoring kWh meter bulan Mei 2022	54
Tabel 4.6. Pressure 19 Bar	57
Tabel 4.7. Variasi kecepatan jet water terhadap daya dan debit air	62
Tabel 4.8. Kecepatan dan optimasi daya	63
Tabel 4.9. Data simulasi dan optimasi	69



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pembendungan aliran air sungai	9
Gambar 2.2. Saluran pelimpah pada air sungai	10
Gambar 2.3. Saluran pipa pesat yang jatuh dari ketinggian	11
Gambar 2.4. Mesin turbin mikrohidro pada pembangkit	12
Gambar 2.5. Jet water yang memiliki variasi bentuk nozzle	14
Gambar 2.6. Ukuran dimensi bucket dalam desain 2D	16
Gambar 2.7. Diagram Pelton Runner dengan Diameternya	17
Gambar 2.8. Turbin pelton (runner) yang terdapat di dalam pompa mikrohidro	18
Gambar 2.9. Turbin Kaplan	19
Gambar 2.10. Turbin Francis	19
Gambar 2.11. Steady-state variasi massa jenis air dan tekanan yang melewati nozzle	25
Gambar 3.1. Pemantauan weatherspark rata-rata sepanjang tahun di Bajawa	30
Gambar 3.2. Peta PLTMH Wae Roa	31
Gambar 3.3. Jumlah debit air setiap bulannya aliran sungai Wae Roa	31
Gambar 3.4. Diagram alir penelitian	32
Gambar 3.5. a) Optimasi kecepatan rotor dan Power	37
b) Kecepatan dan efisiensi pada turbin	37
Gambar 3.6. Pipa penstock CAD	39
Gambar 3.7. Bucket 3D CAD	40
Gambar 3.8. Rotor turbin pelton CAD	40
Gambar 3.9. Cover housing CAD	41
Gambar 3.10. Input data inlet software simscale	42
Gambar 3.11. Input data kecepatan MRF pada software simscale	43
Gambar 3.12. Tekanan air pada pipa penstock	44
Gambar 3.13. Daya output pembangkit	44
Gambar 4.1. Pencatatan kWh meter dengan merek EDM1 MK10E	45
Gambar 4.2. Kecepatan air 53,64 m/dt	47
Gambar 4.3. Kecepatan air 76,88 m/dt	48
Gambar 4.4. Kurva gaya runaway dengan kecepatan air 53,64 m/dt	48
Gambar 4.5. Karakteristik grafik gaya (N) runaway terhadap variasi kecepatan air (m/dt)	49

Gambar 4.6. Kumpulan grafik gaya (N) dengan kecepatan air a) 100,17 m/dt, b) 87,41 m/dt, c) 76,88 m/dt, d) 66,2 1 m/dt, e) 53,64 m/dt dan f) 50,88 m/dt	50
Gambar 4.7. Pressure inlet kurang lebih 19 bar	56
Gambar 4.8. Hasil gaya dengan tekanan 19 Bar	57
Gambar 4.9. Kecepatan jet water pada tekanan 19 Bar	59
Gambar 4.10. Kecepatan bucket dengan putaran angular 78,5 rad/s	60
Gambar 4.11. Grafik efisiensi dan optimasi daya	64
Gambar 4.12. Deviasi bucket hasil optimasi dengan dimensi aktual	67



Abstrak

Pemenuhan listrik di desa tertinggal pada dekade ini merupakan suatu cara untuk meningkatkan produksi listrik dengan kemampuan yang optimal, tentunya perlu menghasilkan listrik tanpa adanya kendala dan mengalami kerugian. Misalnya dalam aplikasi PLTMH Wae Roa, dengan investasi yang cukup memakan waktu dan biaya yang tidak sedikit pada akhirnya PLTMH Wae Roa berhasil beroperasi pada tahun 2017. Penjualan listrik ke PLN dapat disalurkan dengan menggunakan alat meter merek EDM I yang dapat merekam jumlah kWh meter. Dalam pelaksanaannya pembangkit ini menggunakan tipe turbin Pelton karena mempunyai ketinggian/*head* yang besar sampai 157 m dengan perkiraan debit air 300 lt/dt. Performa pembangkit yang seharusnya menghasilkan listrik yang maksimal, tetapi sebaliknya nilai penjualan listrik ke PLN menjadi turun dan tidak sesuai dengan yang diharapkan. Akibat penurunan ini maka perlu dibuat simulasi pembangkit untuk melihat kapasitas debit air yang masuk ke dalam turbin air terhadap keluaran daya. Simulasi pembangkit ini adalah dengan menggunakan *software* untuk melihat hasil variabel kecepatan air pada *jet water* dan variabel gaya pada *bucket* saat diberikan tekanan (Bar). Dalam penelitian ini bertujuan untuk menganalisis komponen pembangkit PLTMH Wae Roa seperti diameter pipa *jet water*, *bucket* dan *runner* terhadap daya pembangkit yang dihasilkan. Adapun metode penelitiannya adalah dengan mengumpulkan data-data operasional pembangkit untuk dijadikan referensi penyebab performa daya pada pembangkit berkurang. Kemudian menggunakan simulasi CAD pada *software* *simscale* untuk mengetahui nilai variabel dari komponen-komponen pembangkit. Metode simulasi ini adalah untuk menghitung debit air dan kecepatan air pada pipa *jet water*, kemudian menghitung gaya dan torsi pada *runner* berapa daya yang dihasilkan. Diketahui diameter aktual *penstock* sebesar 45 cm, desain awal suatu turbin mempunyai ukuran *bucket* lebar 252 mm dan tinggi 227 mm. Hasil perhitungan dari percobaan data menunjukkan debit air yang dihasilkan sebesar 241 lt/dt, sedangkan hitungan debit air minimal pembangkit sebesar 232 lt/dt. Pada pembangkit yang terletak di Desa Tiworiwu 1, Kecamatan Jerubuu dan Desa Bea Pawe, Kecamatan Golewa Barat Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur, percobaan dilakukan dengan membuat simulasi dengan berbagai variasi kecepatan air 53,64 m/dt, 66,21 m/dt, 76,88 m/dt, 87,41 m/dt dan 100,17 m/dt, Sehingga didapatkan hasil variasi gaya dan torsi. Nilai torsi akan menghasilkan analisa besaran daya (kW) untuk dibandingkan dengan kWh meter bulanan dan dibandingkan juga jumlah kapasitas daya pembangkit terhadap tekanan air 19 Bar pada *penstock* mencapai 370 kW. Kemudian berdasarkan hitungan perbandingan pengukuran aktual terhadap pengukuran hasil eksperimen variabel debit air, kecepatan air, torsi dan daya di dalam pembahasan ini, bahwa turbin dapat didesain sesuai dengan formula rumus

yang menghasilkan ukuran *bucket* lebar 223 mm dan tinggi 201 mm. Desain adalah salah satu cara untuk meningkatkan performa bila ada perubahan suatu nilai debit air atau kecepatan air, maka pemilihan desain tersebut dapat berguna untuk operasional pembangkit setiap tahun. Dari data-data daya pembangkit yang dikumpulkan maka dapat dihitung banyaknya keuntungan dalam rupiah apabila beban operasional pembangkit setiap tahun mencapai sekitar satu koma tujuh milyar rupiah.

Kata Kunci: Mikrohidro, Pelton, Bucket, Simulasi CAD

Abstract

Fulfillment of electricity in underdeveloped villages in this decade is a way to increase electricity production with optimal capabilities, of course, it is necessary to produce electricity without any problems and losses. For example, in the Wae Roa PLTMH application, with an investment that is quite time-consuming and costly, the Wae Roa PLTMH finally succeeded in operating in 2017. Electricity sales to PLN can be distributed using an EDM brand meter that can record the number of kWh meters. In practice, this plant uses a Pelton turbine type because it has a large head height of up to 157 m with an estimated water flow of 300 lt/sec. The performance of the power plant should produce maximum electricity, but on the other hand, the value of electricity sales to PLN has decreased and is not as expected. As a result of this decrease, it is necessary to make a turbine simulation to see the capacity of the water discharge entering the water turbine to the power output. Simulation of this generator is to use software to see the results of the water velocity variable on the water jet and the force variable on the bucket when pressure is given (Bar). This study aims to analyze the components of the Wae Roa PLTMH generator such as the diameter of the water jet pipe, bucket, and runner on the generated power. The research method is to collect generator operational data to be used as a reference for the cause of reduced power performance at the plant. Then use CAD simulation on Simscale software to find out the variable values of the generator components. This simulation method is to calculate the water discharge and water velocity in the water jet pipe, then the force and torque on the runner are calculated how much power is generated. It is known that the actual diameter of the penstock is 45 cm, the initial design of a turbine has a bucket size of 252 mm wide and 227 mm high. The results of the calculations from the experimental data show that the resulting water

discharge is 241 lt/sec, while the minimum water discharge count for the generator is 232 lt/sec. At the power plant located in Tiworiwu 1 Village, Jerubuu District and Bea Pawe Village, West Golewa District, Ngada Regency, East Nusa Tenggara Province, experiments were carried out by making simulations with various variations of water velocity 53.64 m/s, 66.21 m/s, 76.88 m/s, 87.41 m/s, and 100.17 m/s, so that the results of variations in force and torque are obtained. The torque value will result in an analysis of the amount of power (kW) to be compared with the monthly kWh meter and also the total power generating capacity of the 19 Bar water pressure on the penstock reaches 370 kW. Then based on the comparison of the actual measurements against the experimental results of the variables of water discharge, water speed, torque, and power in this discussion, the turbine can be designed according to the formula that produces a bucket size of 223 mm wide and 201 mm high. Design is one way to improve performance if there is a change in a water discharge value or water velocity, so the selection of this design can be useful for plant operations every year. From the generator power data collected, it can be calculated the amount of profit in rupiah if the operating load of the generator every year reaches around one point seven billion rupiahs.

Keywords: Micro hydro, Pelton, Bucket, Simulation CAD