



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISIS KINERJA TURBIN AIR *PICOHYDRO*
DENGAN METODE SIMULASI NUMERIK**

LAPORAN PROYEK AKHIR

IRFAN RISTIANTO

40040221650085

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
JUNI 2026**



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISIS KINERJA TURBIN AIR *PICOHYDRO*
DENGAN METODE SIMULASI NUMERIK**

LAPORAN PROYEK AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Terapan Teknik**

IRFAN RISTIANTO

40040221650085

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
JUNI 2026**

PERNYATAAN ORISINALITAS

**Proyek Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang
dirujuk telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Irfan Ristiano

NIM : 40040221650085

Tanda Tangan :



Tanggal : 23 Desember 2025



SURAT TUGAS PROYEK AKHIR

No. : 461/PA/RPM/V/2025

Dengan ini diberikan Tugas Proyek Akhir untuk mahasiswa berikut:

Nama : Irfan Ristiano
NIM : 40040221650085
Judul Proyek Akhir : Analisis Kinerja Turbin Air *Picohydro* Dengan Metode Simulasi Numerik
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
NIP : NIP. 197609152003122001
Dosen Pembimbing 2 : Ridwan Arief Subekti, S.T., M.Si.
NIP : 1976110720050210002

Isi Tugas:

1. Membuat geometri fluida turbin air *picohydro* dengan berbagai variasi jumlah *runner*.
2. Melakukan simulasi turbin air *picohydro* menggunakan *software ansys fluent*.
3. Menganalisis efisiensi turbin air *picohydro* dengan berbagai kondisi kerja seperti perubahan jumlah *runner*, laju aliran massa, dan kecepatan putar *runner*.

Demikian agar diselesaikan selama-lamanya 6 bulan terhitung sejak diberikan tugas ini dan diwajibkan konsultasi sedikitnya 12 kali demi kelancaran penyelesaian tugas.

Semarang, 4 Juni 2025

a.n. Ketua Program Studi,
S.Ter. Rekayasa Perancangan Mekanik
Sekretaris Program Studi,
S.Ter. Rekayasa Perancangan Mekanik

Alaya Fadhy Hadi Mukhammad ST, M.Eng.
NIP. 198509272012121002

Tembusan:

1. Ketua Prodi
2. Bagian pengajaran
3. Mahasiswa ybs


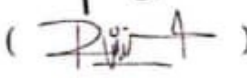

HALAMAN PENGESAHAN

Proyek Akhir ini diajukan oleh :

Nama: : Irfan Ristiano
NIM : 40040221650085
Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Judul Tugas Akhir : Analisis Kinerja Turbin Air *Picohydro* Dengan Metode Simulasi Numerik

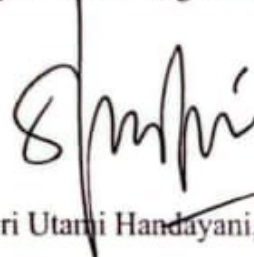
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T.) pada Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Penguji I : Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T. ()
Penguji II : Ridwan Arief Subekti, S.T., M.Si. ()
Penguji III : Prof. Ir. Eflita Yohana M.T., Ph.D. ()

Semarang, 9 Juni 2026

Ketua Program Studi Sarjana Terapan
Rekayasa Perancangan Mekanik



Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T.

NIP. 197609152003122001

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irfan Ristiano
NIM : 40040221650085
Jurusan / Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Departemen : Teknologi Industri
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis Karya : Proyek Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-Exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“Analisis Kinerja Turbin Air *Picohydro*
Dengan Metode Simulasi Numerik”**

Beserta seluruh perangkat pendukung yang ada (apabila diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif tersebut, Universitas Diponegoro berhak untuk menyimpan, mengalihmedia atau memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, serta memublikasikan Proyek Akhir saya, dengan tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dibuat di : Semarang
Pada tanggal : 23 Desember 2025

Yang menyatakan,


Irfan Ristiano

MOTTO

“With great power comes great responsibility”

(Paman Ben, Spiderman)

“Kita tak pernah menanamkan apa-apa, kita tak akan kehilangan apa-apa”

(Soe Hok Gie)

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Proyek Akhir dengan judul “*Analisis Kinerja Turbin Air Picohydro dengan Metode Simulasi Numerik*” sebagai salah satu syarat dalam menempuh pendidikan di Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik, Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.

Penyusunan laporan ini tentunya tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Budiyo, M.Si, selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
2. Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik, Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang, serta selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses penyusunan Laporan Proyek Akhir.
3. Bapak Ridwan Arief Subekti, S.T., M.Si. selaku dosen pembimbing eksternal mahasiswa.
4. Seluruh dosen dan teknisi di lingkungan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro yang telah membagikan ilmu dan pengalaman selama masa perkuliahan.

5. Pusat Riset Konversi Dan Konservasi Energi Badan Riset Dan Inovasi Nasional (BRIN) atas kesempatan belajar dan ilmu yang telah diberikan.
6. Ayah dan ibu tercinta atas doa, semangat, serta dukungan moril maupun materil yang senantiasa diberikan kepada penulis.
7. Kedua kakak kandung penulis yang senantiasa mengusahakan yang terbaik untuk adik bungsunya.
8. Teman-teman karib, yakni Agip, Avant, Kayla, Agil, Amri Abi, Bang Ghofur, Bang Usamah, Ka Aca, dan teman-teman SMA yang senantiasa menyemangati dalam penyusunan laporan ini.
9. Teman-teman angkatan 2021 Rekayasa Perancangan Mekanik, khususnya kepada saudara Iqbal yang telah menjadi mentor penulis dalam pengerjaan metode simulasi numerik.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan di masa yang akan datang.

Semoga Laporan ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis sendiri maupun bagi para pembaca, khususnya di kalangan akademisi dan praktisi di bidang teknik mesin.

Semarang, 18 Desember 2025



Irfan Ristiano

ABSTRAK

Turbin air *picohydro* merupakan salah satu teknologi pembangkit energi terbarukan berskala kecil yang memiliki potensi besar untuk memenuhi kebutuhan listrik di wilayah terpencil dengan sumber daya air terbatas. Optimalisasi kinerja turbin *picohydro* menjadi penting agar energi hidrolik yang tersedia dapat dikonversi secara efisien menjadi energi mekanik dan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja turbin air *picohydro* pada kondisi ideal menggunakan metode simulasi numerik, serta mengkaji pengaruh variasi jumlah sudu *runner*, kecepatan putar *runner*, dan laju aliran massa fluida terhadap kinerja turbin. Metode penelitian menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan pendekatan aliran tunak (*steady-state*). Model simulasi divalidasi terhadap data rujukan dengan kriteria deviasi $\leq 5\%$. Setelah proses validasi dan uji independensi grid, simulasi dilakukan menggunakan model turbulensi *standard k- ϵ* , yang sesuai untuk analisis aliran luar pada *runner* turbin. Variasi jumlah sudu yang dianalisis meliputi tiga, empat, lima, dan enam sudu, dengan debit 20–30 L/s serta kecepatan putar *runner* 1300–1700 RPM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit dan kecepatan putar *runner* memiliki pengaruh signifikan dan bersifat non-linear terhadap efisiensi turbin. Pada kecepatan putar 1500 RPM, konfigurasi tiga sudu mencapai efisiensi maksimum sebesar 67,72% pada debit optimum 25 L/s, sementara efisiensi menurun pada debit yang lebih rendah maupun lebih tinggi. Analisis variasi kecepatan putar pada debit tetap 25 L/s menunjukkan bahwa efisiensi tiga sudu optimum pada 1500 RPM (67,72%), sedangkan empat sudu mencapai efisiensi tertinggi pada 1700 RPM (66,24%). Penambahan jumlah sudu meningkatkan daya mekanis hingga 2.175,61 W pada konfigurasi enam sudu, namun disertai penurunan efisiensi akibat meningkatnya rugi-rugi turbulensi dan interaksi aliran antar sudu. Dapat disimpulkan jika kondisi operasi ideal turbin *picohydro* dalam penelitian ini dicapai pada konfigurasi tiga sudu, debit 25 L/s, dan kecepatan putar 1500 RPM, yang menghasilkan efisiensi tertinggi dan kinerja paling seimbang. Dengan demikian, simulasi numerik CFD terbukti efektif sebagai alat analisis dan optimasi desain turbin air *picohydro*.

Kata kunci: Turbin air, *Picohydro*, CFD, Efisiensi, Torsi

ABSTRACT

Picohydro water turbines represent a small-scale renewable energy technology with significant potential to supply electricity in remote areas with limited water resources. Optimizing the performance of picohydro turbines is essential to ensure that the available hydraulic energy can be efficiently converted into mechanical and electrical energy. This study aims to analyze the performance of a picohydro water turbine under ideal operating conditions using numerical simulation methods and to investigate the effects of variations in the number of runner blades, runner rotational speed, and fluid mass flow rate on turbine performance. The research methodology employs Computational Fluid Dynamics (CFD) with a steady-state flow approach. The simulation model is validated against reference data using a deviation criterion of $\leq 5\%$. Following validation and grid independence testing, simulations are conducted using the standard $k-\epsilon$ turbulence model, which is suitable for analyzing external flow around the turbine runner. The blade configurations analyzed include three, four, five, and six blades, with flow rates ranging from 20 to 30 L/s and runner rotational speeds between 1300 and 1700 RPM. The results indicate that flow rate and runner rotational speed have a significant and non-linear influence on turbine efficiency. At a rotational speed of 1500 RPM, the three-blade configuration achieves a maximum efficiency of 67.72% at an optimal flow rate of 25 L/s, while efficiency decreases at both lower and higher flow rates. Analysis of rotational speed variation at a constant flow rate of 25 L/s shows that the optimal efficiency for the three-blade configuration occurs at 1500 RPM (67.72%), whereas the four-blade configuration reaches its highest efficiency at 1700 RPM (66.24%). Increasing the number of blades enhances mechanical power output up to 2,175.61 W in the six-blade configuration; however, this improvement is accompanied by a reduction in efficiency due to increased turbulence losses and flow interaction between blades. It can be concluded that the ideal operating condition of the picohydro turbine in this study is achieved with a three-blade configuration, a flow rate of 25 L/s, and a runner rotational speed of 1500 RPM, resulting in the highest efficiency and the most balanced performance. Therefore, numerical CFD simulation is proven to be an effective tool for the analysis and optimization of picohydro water turbine design.

Keywords: *Water turbine, Picohydro , CFD, Efficiency, Torque*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS	i
SURAT TUGAS PROYEK AKHIR	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iv
MOTTO	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan.....	6
1.5 Luaran	6
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	7
1.6.1 Pendahuluan	7
1.6.2 Tinjauan Pustaka	7

1.6.3	Metodologi	7
1.6.4	Hasil dan Pembahasan.....	7
1.6.5	Kesimpulan dan Saran.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....		9
2.1	Turbin Air.....	9
2.1.1	Teori Dasar Aliran (Hidrodinamika)	9
2.1.1.1	Beberapa Bentuk Persamaan Bernoulli.....	10
2.1.1.2	Daya yang Dihasilkan Turbin.....	13
2.1.2	Gaya, Daya yang Dihasilkan Turbin, Rumus Euler, dan Bentuk Sudu	14
2.1.2.1	Pemindahan Gaya ke Turbin	16
2.1.3	Prinsip Kerja Turbin Air.....	20
2.1.4	Klasifikasi Turbin Air.....	21
2.1.4.1	Berdasarkan Perubahan Tekanan Fluida	21
2.1.4.2	Berdasarkan Arah Aliran Air.....	25
2.1.4.3	Berdasarkan Arah Tembakan Fluida	25
2.1.4.4	Berdasarkan Kapasitas Daya Yang Dihasilkan	27
2.1.4.5	Aplikasi Turbin Berdasarkan <i>Head</i>	29
2.1.5	Komponen Utama Turbin Air	30
2.1.6	Sudu Turbin Air.....	32
2.1.6.1	Fungsi Sudu Turbin.....	32
2.1.6.2	Jenis-Jenis Sudu Turbin	32
2.1.6.3	Pengaruh Desain Sudu terhadap Kinerja Turbin.....	34
2.2	<i>Computational Fluid Dynamic</i>	35

2.2.1	Prinsip Dasar <i>Computational Fluid Dynamic</i>	35
2.2.2	Persamaan Matematis dalam <i>Computational Fluid Dynamic</i>	36
2.2.2.1	Persamaan kontinuitas.....	36
2.2.2.2	Persamaan Momentum.....	37
2.2.2.3	Persamaan Energi.....	39
2.2.3	Konsep Domain Aliran Dan Batas-Batas (<i>Boundary Condition</i>)	39
2.2.4	Langkah-Langkah Simulasi <i>Computational Fluid Dynamic</i>	41
2.2.4.1	<i>Pre-processing</i>	41
2.2.4.2	<i>Processing</i>	46
2.2.4.3	<i>Post-processing</i>	49
BAB III	METODOLOGI	51
3.1	Diagram Alir.....	51
3.2	Metode Penelitian.....	54
3.3	Alat dan Bahan.....	55
3.4	Variabel Penelitian	55
3.4.1	Variabel bebas	55
3.4.2	Variabel terikat	56
3.5	Rancangan Penelitian	57
3.6	Prosedur Simulasi CFD.....	60
3.6.1	Tahap Geometri.....	60
3.6.2	Tahap <i>Meshing</i>	61
3.6.3	Tahap Setting Komputasi	62
3.6.4	Tahap <i>Solution</i>	62
3.6.5	Tahap <i>Result</i>	64

3.6.6	Tahap Validasi	65
3.7	Metode Validasi Hasil Penelitian	65
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		66
4.1	Validasi Penelitian.....	66
4.1.1	Simulasi Numerik Merujuk Pada Penelitian Maisuria et al. (2024) .	66
4.1.2	Perbandingan Model Turbulensi SST $k-\omega$ dan <i>Standard</i> $k-\varepsilon$	67
4.2	Variasi Jumlah Sudu.....	70
4.2.1	Tiga Sudu	71
4.2.2	Empat Sudu.....	73
4.2.3	Lima Sudu	75
4.2.4	Enam Sudu	78
4.2.5	Pengaruh Variasi Sudu Terhadap Kinerja Turbin.....	80
4.3	Variasi Debit.....	85
4.3.1	Variasi Debit Pada Tiga Sudu.....	86
4.3.2	Variasi Debit Pada Empat Sudu	87
4.3.3	Variasi Debit Pada Lima Sudu	88
4.3.4	Variasi Debit Pada Enam Sudu	89
4.3.5	Pengaruh Debit Terhadap Efisiensi Turbin Dengan Variasi Jumlah Sudu	91
4.4	Variasi Kecepatan Putar <i>Runner</i>	97
4.4.1	Variasi RPM PadaTiga Sudu	98
4.4.2	Variasi RPM PadaEmpat Sudu.....	99
4.4.3	Variasi RPM PadaLima Sudu.....	100
4.4.4	Variasi RPM PadaEnam Sudu.....	100

4.4.5	Pengaruh Kecepatan <i>Runner</i> terhadap Efisiensi dengan Variasi	
	Sudu	101
BAB V	PENUTUP	109
5.1	Kesimpulan	109
5.2	Saran.....	111
DAFTAR PUSTAKA.....		112
LAMPIRAN.....		121

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Turbin Impuls.....	22
Tabel 2.2 Turbin Reaksi.....	24
Tabel 2.3 Klasifikasi Turbin Berdasarkan Arah Tembak Fluida.....	27
Tabel 2.4 Klasifikasi Turbin Berdasarkan Kapasitas Daya Yang Dihasilkan.....	29
Tabel 2.5 Klasifikasi Turbin Berdasarkan Head.....	30
Tabel 2.6 Standar Kualitas Mesh.....	44
Tabel 2.7 Standarisasi Nilai Y^+	50
Tabel 3.1 Variabel Penelitian.....	57
Tabel 3.2 Kondisi Batas Validasi.....	58
Tabel 3.3 Kondisi Batas Simulasi.....	62
Tabel 3.4 Solver.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk Energi Pada Aliran Air	12
Gambar 2.2 Gaya Pada Pembelokan Aliran Air	15
Gambar 2.3 Gaya Gaya Pada Turbin Air	16
Gambar 2.4 Instalasi Turbin Air	20
Gambar 2.5 Turbin Pelton.....	21
Gambar 2.6 Turbin Banki atau Cross flow	21
Gambar 2.7 Turbin Francis	23
Gambar 2.8 Turbin Kaplan	23
Gambar 2.9 Klasifikasi Turbin Berdasarkan Perubahan Tekanan Fluida.....	25
Gambar 2.10 Contoh Type Sudu Propeller	34
Gambar 2.11 Jenis-Jenis Meshing.....	42
Gambar 2.12 Skewness Pada Mesh	43
Gambar 2.13 Vektor-Vektor Untuk Penjabaran Orthogonality	44
Gambar 3.1 Diagram Alir Secara Umum.....	51
Gambar 3.2 Diagram Alir Validasi Penelitian	52
Gambar 3.3 Diagram Alir Simulasi 3 Sudu	53
Gambar 3.4 Diagram Alir Simulasi Variabel Independent.....	54
Gambar 3.5 Runner dengan 3, 4, 5, dan 6 Blade Isometrik	56
Gambar 3.6 Runner dengan 3, 4, 5, dan 6 Blade Tampak Bawah	56
Gambar 3.7 Model Geometri Oleh Maisuria et al. (2024).....	57
Gambar 3.8 Dimensi Geometri Oleh Maisuria et al. (2024).....	58
Gambar 3.9 Ansys 2024 R1	59

Gambar 3.10 Ekstraksi Volume Fluida.....	60
Gambar 3.11 Pembagian Domain Fluida.....	61
Gambar 3.12 Meshing Pada Domain Fluida.....	61
Gambar 3.13 Grafik Residual	64
Gambar 4.1 Hasil Simulasi Dengan Perbandingan Paper Validasi	67
Gambar 4.2 Perbandingan Model Turbulensi	69
Gambar 4.3 Mesh Pada Turbin dengan 3 Bilah Runner	71
Gambar 4.4 Uji Grid 3 Sudu	72
Gambar 4.5 Mesh Pada Turbin dengan 4 Bilah Runner	73
Gambar 4.6 Uji Grid 4 Sudu	74
Gambar 4.7 Mesh Pada Turbin dengan 5 Bilah Runner	75
Gambar 4.8 Uji Grid 5 Sudu	76
Gambar 4.9 Mesh Pada Turbin dengan 6 Bilah Runner	78
Gambar 4.10 Uji Grid 6 Sudu	79
Gambar 4.11 Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Effisiensi Turbin.....	80
Gambar 4.12 Visualisasi Velocity Streamline untuk 3, 4, 5, dan 6 Sudu Pada Debit 25 l/s dan RPM 1500.....	82
Gambar 4.13 Visualisasi Velocity Vektor Untuk 3, 4, 5, dan 6 Sudu Pada Debit 25 l/s dan RPM 1500.....	83
Gambar 4.14 Visualisasi Kontur Tekanan Untuk 3, 4, 5, dan 6 Sudu Pada Debit 25 l/s dan RPM 1500.....	84
Gambar 4.15 Pengaruh Variasi Debit Pada Geometri 3 Sudu	86
Gambar 4.16 Pengaruh Variasi Debit Pada Geometri 4 Sudu	88
Gambar 4.17 Pengaruh Variasi Debit Pada Geometri 5 Sudu	89

Gambar 4.18 Pengaruh Variasi Debit Pada Geometri 6 Sudu	91
Gambar 4.19 Pengaruh Laju Aliran Terhadap Effisiensi Turbin.....	92
Gambar 4.20 Visualisasi Kontur Tekanan Untuk 3, 4, 5, dan 6 Sudu Pada Debit 30 l/s dan RPM 1500.....	93
Gambar 4.21 Visualisasi Kontur Tekanan Untuk 3, 4, 5, dan 6 Sudu Pada Debit 20 l/s dan RPM 1500.....	94
Gambar 4.22 Visualisasi Velocity Vektor Untuk 3, 4, 5, dan 6 Sudu Pada Debit 30 l/s dan RPM 1500.....	95
Gambar 4.23 Visualisasi Velocity Vektor Untuk 3, 4, 5, dan 6 Sudu Pada Debit 20 l/s dan RPM 1500.....	96
Gambar 4.24 Pengaruh Variasi RPM Pada Geometri 3 Sudu.....	98
Gambar 4.25 Pengaruh Variasi RPM Pada Geometri 4 Sudu.....	99
Gambar 4.26 Pengaruh Variasi RPM Pada Geometri 5 Sudu.....	100
Gambar 4.27 Pengaruh Variasi RPM Pada Geometri 6 Sudu.....	101
Gambar 4.28 Pengaruh Kecepatan Putar Runner Terhadap Effisiensi Turbin ...	103
Gambar 4.29 Visualisasi Kontur Tekanan Untuk 3, 4, 5, dan 6 Sudu Pada Debit 25 l/s dan RPM 1700.....	104
Gambar 4.30 Visualisasi Kontur Tekanan Untuk 3, 4, 5, dan 6 Sudu Pada Debit 25 l/s dan RPM 1300.....	105
Gambar 4.31 Visualisasi Velocity Vektor Untuk 3, 4, 5, dan 6 Sudu Pada Debit 25 l/s dan RPM 1700.....	106
Gambar 4.32 Visualisasi Velocity Vektor Untuk 3, 4, 5, dan 6 Sudu Pada Debit 25 l/s dan RPM 1300.....	107

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

Simbol	Keterangan	Halaman Pertama Muncul
P	Daya yang dihasilkan oleh turbin	10
V	Debit aliran air yang melewati turbin	10
ρ	Massa jenis atau kerapatan fluida	10
g	Percepatan gravitasi bumi	10
H	Head atau tinggi jatuh air	10
η_T	Efisiensi atau randemen turbin	10
\dot{m}	Laju aliran massa fluida (<i>mass flow rate</i>)	11
v	Volume spesifik	11
Y	Faktor kerja spesifik	11
A	Penampang lintang saluran	12
D	Diameter pipa	12
π	Konstanta pi ($\approx 3,1416$)	12
c	Kecepatan aliran fluida	13
z	Elevasi fluida	14
z_1	Elevasi fluida pada titik 1	17
z_2	Elevasi fluida pada titik 2	17
p_1	Tekanan fluida pada titik 1	17

Simbol	Keterangan	Halaman Pertama Muncul
p_2	Tekanan fluida pada titik 2	17
c_1	Kecepatan fluida pada titik 1	17
c_2	Kecepatan fluida pada titik 2	17
h_1	Tinggi tekanan statis fluida	18
h_2	Tinggi tekanan total fluida	18
Δh	Perbedaan tinggi energi fluida	18
F	Gaya	22
t	Waktu	22
F_x	Komponen gaya arah x	23
F_y	Komponen gaya arah y	23
α_1	Sudut aliran masuk	23
α_2	Sudut aliran keluar	23
w	Kecepatan relatif fluida terhadap sudu	24
u	Kecepatan tangensial roda turbin	24
α	Sudut kecepatan mutlak	24
β	Sudut kecepatan relatif	24
M_t	Momen puntir turbin	25
r	Jari-jari roda turbin	25
r_1	Jari-jari pada sisi masuk	25

Simbol	Keterangan	Halaman Pertama Muncul
r_2	Jari-jari pada sisi keluar	25
ω	Kecepatan sudut turbin	26
z_0	Ketinggian air sebelum sudu pengarah	29
p_0	Tekanan air sebelum sudu pengarah	29
c_0	Kecepatan aliran sebelum sudu pengarah	29
w_2	Kecepatan relatif keluar sudu	30
A_2	Luas penampang aliran pada sisi keluar	30
S_M	Sumber gaya eksternal yang bekerja pada fluida	48
i	Energi internal spesifik fluida	49
T	Temperatur fluida	49
k	Konduktivitas termal fluida	49
Φ	Disipasi viskositas	49
S_i	Sumber energi dalam sistem	49
Y^+	Parameter non-dimensional jarak dinding dalam analisis turbulensi	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Geometri Turbin	121
Lampiran 2. Geometri 3 Sudu	122
Lampiran 3. Geometri 4 Sudu	123
Lampiran 4. Geometri 5 Sudu	124
Lampiran 5. Geometri 6 Sudu	125
Lampiran 6. Tabel Hasil Uji Grid Validasi Simulasi	126
Lampiran 7. Tabel Perbandingan Hasil Perbandingan Model Turbulensi	126
Lampiran 8. Tabel Hasil Uji Grid 3 Sudu	127
Lampiran 9. Tabel Hasil Uji Grid 4 Sudu	128
Lampiran 10. Tabel Hasil Uji Grid 5 Sudu	129
Lampiran 11. Tabel Hasil Uji Grid 6 Sudu	130
Lampiran 12. Tabel Pengaruh Variasi Jumlah Sudu terhadap Kinerja Turbin	130
Lampiran 13. Tabel Hasil Variasi Debit 3 Sudu	131
Lampiran 14. Tabel Hasil Variasi Debit 4 Sudu	131
Lampiran 15. Tabel Hasil Variasi Debit 5 Sudu	131
Lampiran 16. Tabel Hasil Variasi Debit 6 Sudu	132
Lampiran 17. Tabel Hasil Pengaruh Debit terhadap Efisiensi Turbin	132
Lampiran 18. Tabel Hasil Variasi Kecepatan Putar Runner 3 Sudu	132
Lampiran 19. Tabel Hasil Variasi Kecepatan Putar Runner 4 Sudu	133
Lampiran 20. Tabel Hasil Variasi Kecepatan Putar Runner 5 Sudu	133
Lampiran 21. Tabel Hasil Variasi Kecepatan Putar Runner 6 Sudu	133
Lampiran 22. Tabel Hasil Pengaruh Kecepatan Runner terhadap Efisiensi	134

Lampiran 23. Hasil Simulasi Pada Perbandingan Jumlah Sudu	135
Lampiran 24. Hasil Simulasi Pada Perbandingan Variasi Debit.....	135
Lampiran 25. Hasil Simulasi Perbandingan Pada Variasi RPM.....	137