

SKRIPSI

**INVESTIGASI *INCOMING JET ANGLE* TERHADAP
PERFORMA TURBIN *CROSSFLOW* SKALA PIKO
MENGUNAKAN METODE CFD**



MUHAMMAD WAFIQ SYADHEFI

03051181924001

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

SKRIPSI

**INVESTIGASI *INCOMING JET ANGLE* TERHADAP
PERFORMA TURBIN *CROSSFLOW* SKALA PIKO
MENGUNAKAN METODE CFD**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



OLEH

MUHAMMAD WAFIQ SYADHEFI

03051181924001

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

HALAMAN PENGESAHAN

INVESTIGASI *INCOMING JET ANGLE* TERHADAP PERFORMA TURBIN *CROSSFLOW* SKALA PIKO MENGUNAKAN METODE CFD

SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

MUHAMMAD WAFIQ SYADHEFI

03051181924001

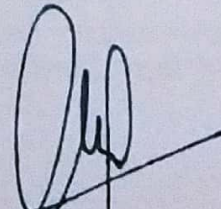
Palembang, 27 Juli 2023

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin**

A large, stylized handwritten signature in black ink, positioned over a faint circular official stamp of the Faculty of Engineering, Sriwijaya University.

**Irsyadi Yani, S.T., M.Eng, Ph.D., IPM
NIP. 197112251997021001**

**Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing**

A handwritten signature in black ink, consisting of a large loop followed by a horizontal line.

**Dr. Dendy Adanta, S.Pd., M.T
NIP. 199306052019031016**

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No.

: 039 / TH / AK / 2023

Diterima Tanggal

: 14 - 08 - 2023

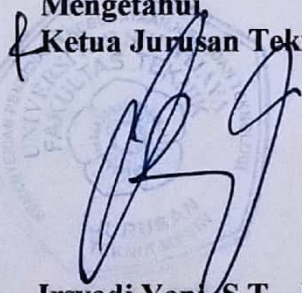
Paraf

: 

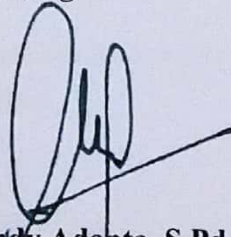
SKRIPSI

NAMA : MUHAMMAD WAFIQ SYADHEFI
NIM : 03051181924001
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : INVESTIGASI *INCOMING JET ANGLE*
TERHADAP PERFORMA TURBIN
CROSSFLOW SKALA PIKO
MENGUNAKAN METODE CFD
DIBUAT TANGGAL : 07 SEPTEMBER 2022
SELESAI TANGGAL : 27 JUNI 2023

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin


Irsyadi Yan, S.T., M.Eng, Ph.D., IPM
NIP. 197112251997021001

Palembang, Juli 2023
Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing


Dr. Dendy Adanta, S.Pd., M.T
NIP. 199306052019031016

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul "Investigasi *Incoming Jet Angle* Terhadap Performa Turbin *Crossflow* Skala Piko Menggunakan Metode CFD" telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 27 Juni 2023.

Palembang, Juni 2023

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

1. Prof. Ir. H. Hasan Basri, Ph.D.
NIP. 195802011984031002

Sekretaris :

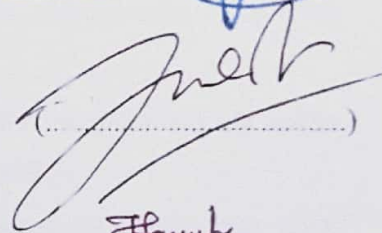
2. Dr. H. Ismail Thamrin, S.T., M.T.
NIP. 197209021997021001

Anggota :

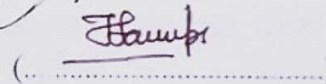
3. Dr. Dewi Puspitasari, S.T., M.T.
NIP. 197001151994122001



(.....)



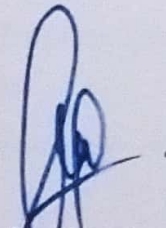
(.....)



(.....)

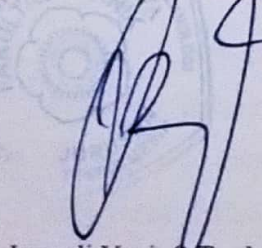
Palembang 31 Juni 2023

Memeriksa dan Menyetujui,
Pembimbing



Dr. Dedy Adanta, S.Pd., M.T, IPP.
NIP.1993060520190310160

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng, Ph.D. IPM.
NIP. 197112251997021001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “ Investigasi *Incoming Jet Angle* Terhadap Performa Turbin *Crossflow* Skala Piko Menggunakan Metode CFD”. Penelitian ini diajukan sebagai Tugas Akhir yang dibuat untuk memenuhi syarat mengikuti Seminar dan Sidang Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Pada kesempatan ini dengan setulus hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan dalam penyusunan tugas akhir ini kepada :

1. Syarifudin Ramlan dan Efizia Etika selaku orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materiil.
2. Siti Warda Okta Syadhefi S.Pd selaku saudara kandung penulis yang telah memotivasi dalam penyusunan tugas akhir.
3. Dr. Dendy Adanta, S.Pd., M.T, IPP selaku dosen pembimbing
4. Prof. Dr. Ir. Kaprawi Sahim, DEA. selaku dosen pembimbing akademik
5. Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D dan Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
6. Seluruh Dosen, jajaran staf dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
7. Keluarga Besar Himpunan Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
8. Teman – teman jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya khususnya Angkatan 2019 Indralaya.
9. Hydropower Research Group Univeristas Sriwijaya yang telah banyak membantu dalam proses penelitian

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, karena keterbatasan kemampuan yang ada. Kendati demikian penulis telah mencoba melakukan yang terbaik mulai dari pengumpulan data, pengolahan data, dan menganalisis data hingga akhirnya menyusunnya kedalam bentuk karya

tulis ilmiah. Oleh karena itu, kritik dan saran yang konstruktif sangat diharapkan untuk memberikan pengarahannya menuju perbaikan kedepannya. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih dan semoga karya tulis ilmiah ini dapat bermanfaat sebagai referensi pembelajaran khususnya pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Palembang, Juli 2023



Muhammad Wafiq Syadhefi

NIM. 03051181924001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Wafiq Syadhefi

NIM : 03051181924001

Judul : Investigasi *Incoming Jet Angle* Terhadap Performa Turbin *Crossflow*
Skala Piko Menggunakan Metode CFD

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Indralaya, Juli 2023



Muhammad Wafiq Syadhefi
NIM. 03051181924001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Wafiq Syadhefi

NIM : 03051181924001

Judul : Investigasi *Incoming Jet Angle* Terhadap Performa Turbin *Crossflow*
Skala Piko Menggunakan Metode CFD

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya saya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.



Indralaya, Juli 2023



Muhammad Wafiq Syadhefi
NIM. 03051181924001

RINGKASAN

INVESTIGASI *INCOMING JET ANGLE* TERHADAP PERFORMA TURBIN *CROSSFLOW* SKALA PIKO MENGGUNAKAN METODE CFD.

Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi, Juli 2023

Muhammad Wafiq Syadhefi: dibimbing oleh Dr. Dendy Adanta S.Pd., M.T., IPP
xxix + 96 halaman, 23 tabel, 40 gambar, 6 lampiran

RINGKASAN

Pada upaya penanggulangan masalah ketersediaan energi fosil yang semakin lama semakin berkurang. Di sisi lain 80% pembangkit listrik yang berada di Indonesia menggunakan energi yang berasal dari fosil. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) menjadi salah satu pilihan dalam menanggulangi masalah ini. Mengingat sangat banyak potensi energi yang berasal dari air terdapat di negara ini. Dari hasil kajian, penelitian dikerucutkan pada turbin *Crossflow* skala piko (< 5 kW) . Turbin *Crossflow* dipilih karena memiliki tingkat efektivitas yang tinggi dan konstruksi yang cenderung sederhana. Penelitian ini berfokus pada variasi sudut *discharge angle* karena menurut referensi yang didapatkan menyatakan bahwa terdapat pengaruh *inlet discharge angle* terhadap performa turbin *crossflow*. Pada kajian analitik, menunjukkan terdapat pengaruh rasio kecepatan absolut terhadap performa turbin *Crossflow* dengan rasio terbaik berada pada perbandingan 0,5 pada sudut $\alpha_1 = 22^\circ$ dan sudut $\beta_1 = 39^\circ$. Berdasarkan Jurnal terdahulu terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi performa turbin *Crossflow*. Salah satunya yaitu sudut lamda atau besar lengkungan pada nozel mempengaruhi performa dari setiap perancangan turbin *Crossflow*. Lebih lanjut, simulasi CFD dijalankan untuk menguji performa turbin *Crossflow* hasil perancangan pada 5 variasi sudut lamda. Didapatkan bahwa performa maksimum terdapat pada lamda 90° pada putaran 600 rpm dengan efisiensi mencapai 72.57%. Hasil ini sesuai dengan perhitungan analitik yang memperoleh efisiensi sebesar 73.8% yang hanya memiliki perbedaan

kurang dari 2% terhadap hasil simulasi. Kemudian, berdasarkan perhitungan menggunakan *multiple regression polynomial* orde 2 dan memperoleh nilai R^2 sebesar 0.89067 yang mengartikan bahwa sekitar 89% nilai efisiensi dipengaruhi oleh variasi lamda (λ) dan *specific speed* (N_s).

Kata Kunci : turbin *crossflow*, *incoming jet angle*, pikohidro

Kepustakaan : 25 (1949 -2022)

SUMMARY

INVESTIGATION OF *INCOMING JET ANGLE* TO EFFICIENCY ON PICO SCALE *CROSSFLOW* TURBINE USING CFD METHOD.

Scientific Writing in the form of Thesis, July 2023

Muhammad Wafiq Syadhefi, supervised by Dr. Dendy Adanta S.Pd., M.T., IPP
xxix + 96 pages, 23 tables, 40 figures, 6 attachment

SUMMARY

In an effort to overcome the problem of the diminishing availability of fossil energy. On the other hand, 80% of power plants in Indonesia use energy derived from fossils. Hydroelectric power plant (PLTA) is one of the options in tackling this problem. Given that there is so much energy potential derived from water in this country. From the results of the study, the research was focused on pico-scale Crossflow turbines (< 5 kW). The Crossflow turbine was chosen because it has a high level of effectiveness and tends to be simple in construction. This research focuses on the variation of discharge angle because according to the references obtained, it states that there is an effect of inlet discharge angle on the performance of crossflow turbines. In the analytical study, it shows that there is an effect of the absolute speed ratio on the performance of Crossflow turbines with the best ratio being at a ratio of 0.5 at an angle $\alpha_1 = 22^\circ$ and an angle $\beta_1 = 39^\circ$. Based on previous journals, there are several factors that affect Crossflow turbine performance. One of them is the lamda angle or the discharge angle in the nozzle which affects the performance of any Crossflow turbine design. Furthermore, CFD simulations were run to test the performance of the designed Crossflow turbine at 5 different lamda angles. It was found that the maximum performance is found at 90° lambda at 600 rpm rotation with an efficiency of 72.57%. These results are in accordance with analytical calculations which obtain an efficiency of 73.8% which only has a difference of less than 2% to the simulation results. Then, based on calculations using multiple regression

polynomial order 2 and obtaining an R2 value of 0.89067, which means that around 89% of the efficiency value is affected by variations in lamda (λ) and specific speed (Ns).

Keywords : crossflow turbine, incoming jet angle, picohydro

Literatures : 25 (1949 -2022)

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
SKRIPSI.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	xv
RINGKASAN.....	xvii
SUMMARY.....	xix
DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR GAMBAR.....	xxv
DAFTAR TABEL.....	xxvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Studi Literatur	5
2.2 Pembangkit Listrik.....	7
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	7
2.3 Turbin Air	8
2.3.1 Definisi Turbin Air	8
2.4 Klasifikasi Berdasarkan Daya Aliran (Kapasitas)	9
2.4.1 Daya Turbin Air.....	10
2.5 Segitiga Kecepatan	12
2.5.1 Tahap Pertama	13
2.5.2 Tahap Kedua.....	16

2.6	Analisis Perubahan Momentum.....	18
2.7	Geometri Nozel.....	19
2.7.1	Gambaran Perhitungan Nozel.....	19
2.7.2	Perhitungan Matematis Nozzle Turbin <i>Crossflow</i>	20
2.7.3	Geometri <i>Runner</i>	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		25
3.1	Metode Analitik.....	25
3.2	Metode Simulasi.....	27
3.2.1	Geometri Turbin <i>Crossflow</i>	28
3.2.2	Setup CFD.....	32
3.2.3	Boundary Condition.....	33
3.2.4	Cell Zone Conditions.....	35
3.2.5	<i>Mesh</i>	36
3.2.6	Independensi <i>Mesh</i>	36
3.3	Target Penelitian.....	37
3.3.1	Hasil yang Diharapkan.....	37
3.3.2	Jadwal Penelitian.....	38
BAB 4 HASIL DAN DISKUSI.....		39
4.1	Hasil.....	39
4.1.1	Hasil Analitik.....	39
4.1.2	Hasil Simulasi.....	46
4.2	Diskusi.....	60
4.2.1.	Visualisasi Hasil Simulasi.....	62
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		65
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....		67
LAMPIRAN.....		71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Skematik Segitiga Kecepatan	12
Gambar 2. 2	Kecepatan absolut air masuk $C1$ (Sammartano dkk., 2013).....	13
Gambar 2. 3	Kecepatan keliling $U1$ (Sammartano dkk., 2013)	14
Gambar 2. 4	Kecepatan relatif $W1$ dan sudut β_1 (Sammartano dkk., 2013)..	14
Gambar 2. 5	Kecepatan Air Keluar Sudu Tahap Pertama.....	15
Gambar 2. 6	Kecepatan Air Masuk Sudu Tahap Kedua	16
Gambar 2. 7	Kecepatan Air Keluar Sudu Tahap Kedua	17
Gambar 2. 8	Skematik Geometri Nozel	20
Gambar 2. 9	Discharge <i>angle</i> nada nozel (λ)	21
Gambar 2. 10	Initial Height Pada Nozel ($S0$).....	21
Gambar 2. 11	Skematik sisi pada sudu.....	23
Gambar 2. 12	Skematik sudut pada sudu	23
Gambar 3. 1	Diagram Alir Perancangan Turbin <i>Crossflow</i>	26
Gambar 3. 2	Diagram Alir Simulasi Turbin <i>Crossflow</i>	27
Gambar 3. 3	a. Geometri Turbin <i>Crossflow</i> dari penelitian b. Geometri Turbin <i>Crossflow</i> dari penelitian	28
Gambar 3. 4	<i>Runner</i> Turbin <i>Crossflow</i>	29
Gambar 3. 5	Gambar Perancangan Turbin <i>Crossflow</i>	30
Gambar 3. 6	a. Lamda 30 b. Lamda 45 c. Lamda 60 d. Lamda 90 d. Lamda 120	31
Gambar 3. 7	Geometri Simulasi Turbin <i>Crossflow</i> Pada Ansys	32
Gambar 3. 8	Posisi Interface, <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i> Simulasi Turbin	34
Gambar 3. 9	Rotating zone pada Geometri simulasi.....	35
Gambar 3. 10	Grafik efisiensi terhadap Variasi Lamda (λ)	37
Gambar 3. 11	Grafik Nilai Torsi Terhadap Variasi Lamda (λ).....	38
Gambar 4. 1	Hubungan Antara sudut β_1 terhadap ΔCx	41
Gambar 4. 2	Pengaruh β_1 terhadap P_{mech}	42

Gambar 4. 3	Pengaruh β_1 terhadap Torsi.....	44
Gambar 4. 4	Hubungan $U_1/C_{1,x}$ terhadap efisiensi	45
Gambar 4. 5	Visualisasi Geometri Simulasi dengan <i>Mesh</i> 153k	47
Gambar 4. 6	Hubungan Antara Debit Terhadap Putaran.....	48
Gambar 4. 7	Hubungan Antara P_{mech} Terhadap Putaran	50
Gambar 4. 8	Hubungan antara torsi terhadap putaran.....	51
Gambar 4. 9	Hubungan antara efisiensi terhadap putaran.....	53
Gambar 4. 10	Hubungan antara variasi lamda terhadap efisiensi	54
Gambar 4. 11	Hubungan antara <i>specific speed</i> terhadap efisiensi	58
Gambar 4. 12	Hubungan Variasi Lamda, Efisiensi, dan <i>Specific Speed</i>	60
Gambar 4. 13	Perbandingan hasil efisiensi metode analitik dan simulasi	61
Gambar 4. 14	Visualisasi Kontur Aliran pada Lamda 30°	62
Gambar 4. 15	Visualisasi Kontur Aliran pada Lamda 90°	63
Gambar 4. 16	Visualisasi Kontur Aliran pada Lamda 120°	63
Gambar 4. 17	Visualisasi vektor aliran	64

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1	Data Geometri dan Efisiensi	6
Tabel 2. 1	Tabel Jenis Pembangkit Listrik Berdasarkan Kapasitas	10
Tabel 3. 1	Geometri Turbin <i>Crossflow</i> Hasil Perancangan.....	29
Tabel 3. 2	Data Variasi Geometri Simulasi.....	30
Tabel 3. 3	Boundary condition Simulasi Turbin <i>Crossflow</i>	35
Tabel 3. 4	Tabel Jadwal Penelitian.....	38
Tabel 4. 1	Tabel Data sudut β_1 terhadap ΔC_x	41
Tabel 4. 2	Tabel Data β_1 terhadap P_{mech}	42
Tabel 4. 3	Tabel Data β_1 terhadap Torsi	43
Tabel 4. 4	Tabel Data $U1C1, x$ terhadap Efisiensi	45
Tabel 4. 5	Hasil Perhitungan GCI	46
Tabel 4. 6	Data Debit $Qm3s$ Hasil Simulasi.....	48
Tabel 4. 7	Tabel Data Daya Mekanis Hasil Simulasi.....	49
Tabel 4. 8	Tabel Data Torsi Hasil Simulasi	51
Tabel 4. 9	Tabel Data Efisiensi Hasil Simulasi.....	52
Tabel 4. 10	Tabel Data Variasi Lamda dan Efisiensi.....	54
Tabel 4. 11	Tabel Data Perhitungan Spesifik Speed Terhadap Efisiensi Pada Lamda 30°	56
Tabel 4. 12	Tabel Data Perhitungan Spesifik Speed Terhadap Efisiensi Pada Lamda 45°	56
Tabel 4. 13	Tabel Data Perhitungan Spesifik Speed Terhadap Efisiensi Pada Lamda 60°	56
Tabel 4. 14	Tabel Data Perhitungan Spesifik Speed Terhadap Efisiensi Pada Lamda 90°	57
Tabel 4. 15	Tabel Data Perhitungan Spesifik Speed Terhadap Efisiensi Pada Lamda 120°	57
Tabel 4. 16	Tabel Data Variasi Lamda, Efisiensi dan Specific Speed	59

Tabel 4. 17 Analisis Pengaruh Sudut Lamda Menggunakan Multiple Regression	
Orde 2	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan Analitik Segitiga Kecepatan Pada Sudu Turbin <i>Crossflow</i>	71
Lampiran 2	Perhitungan Geometri Nozel	75
Lampiran 3	Data Hasil Simulasi	76
Lampiran 4	Desain Turbin <i>Crossflow</i>	84
Lampiran 5	Visualisasi Hasil Simulasi	86
Lampiran 6	<i>Setup</i> Simulasi.....	89

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan energi yang berasal dari fosil semakin lama semakin menipis, sehingga pada suatu saat harganya cenderung meningkat. Kenaikan harga ini dapat mempengaruhi harga listrik, karena sebagian besar pembangkit listrik di Indonesia menggunakan energi yang berasal dari bahan bakar fosil. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Kontribusi batubara terhadap pembangkit listrik nasional hingga November 2021 mencapai 65,93 persen, gas 17,48 persen, bahan bakar minyak 3,86 persen, air 6,78 persen, panas bumi 5,54 persen, biomassa 0,22 persen dan lainnya 0,19 persen (Martha, 2022). Diperlukan upaya untuk menstabilkan harga energi listrik di Indonesia agar tetap terkendali. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan energi terbarukan, salah satunya adalah air sebagai penggerak turbin. Namun sampai saat ini PLTA dengan air jatuh yang tinggi dan debit yang besar masih lebih digunakan. Sementara itu, PLTA dengan tinggi jatuh rendah, dan aliran rendah belum dimanfaatkan secara maksimal, meskipun di beberapa wilayah Indonesia banyak potensi yang dapat dikembangkan menjadi PLTA dengan tinggi jatuh kecil dan debit kecil, berskala pikohidro hingga skala mikrohidro. Pengembangan PLTA skala pikohidro dan mikrohidro pada wilayah-wilayah dengan tinggi jatuh rendah dan aliran rendah di Indonesia memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan secara optimal.

Untuk menanggulangi masalah ini turbin *Crossflow* dipilih karena Jenis turbin ini memiliki konstruksi yang sederhana, masa pakai yang lama dan biaya operasional yang rendah sehingga sangat cocok untuk pembangkit listrik tenaga air skala kecil dan menengah (Stroita dan Manea, 2022). Nilai Efisiensi ini salah satunya juga dipengaruhi oleh besaran nilai *incoming jet angle* pada nozel turbin *Crossflow* yang dirancang. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh

(Khosrowpanah dkk., 1988) Menyatakan bahwa terdapat pengaruh dari besar sudut masuk nozel terhadap efisiensi yang dihasilkan. Sehingga pada penelitian ini akan berfokus pada pembahasan pengaruh sudut *incoming jet angle* terhadap performa dari turbin *Crossflow* yang mencakup karakteristik efisiensi, *Head* dan NPSHR.

Penelitian turbin *Crossflow* yang dilakukan oleh Picone dkk., (2021) melakukan penelitian dengan variasi sudut lamda (λ) pada 4 variasi sudut yaitu 90° , 67.5° , 45° , dan 22.5° pada kondisi *Head* yang tinggi . Pada penelitian ini *incoming jet angle* atau sudut lamda divariasikan dalam 5 variasi sudut yaitu 30° , 45° , 60° , 90° , dan 120° yang dipilih karena pada variasi ini akan menghasilkan debit yang berbeda beda dan karakteristik aliran yang berbeda pada area *rear wall*. Pada penelitian ini angka awal variasi tidak menggunakan lamda 22.5° seperti penelitian yang dilakukan sebelumnya, melainkan lamda 30° dipilih sebagai angka awal dalam variasi sudut untuk mengakomodir debit minimum turbin sesuai grafik pemilihan jenis turbin crossflow pada referensi tersebut yaitu sebesar $5 \frac{l}{s}$. Dengan sudut lamda 30° area *rear wall* akan menjadi sangat kecil yang menghasilkan aliran jet yang cepat saat melewati area tersebut dan menghasilkan debit yang kecil. Sedangkan pada lamda 120° cenderung memiliki area *rearwall* yang besar sehingga air yang melewati *rear wall* cenderung tidak secepat lamda 30° tetapi dengan kapasitas air yang lebih besar. Sehingga 5 variasi ini bertujuan untuk mengetahui turbin *Crossflow* yang dirancang cenderung ke aliran yang cepat dengan debit air kecil atau dengan debit air yang besar dengan kecepatan lambat atau pada kondisi keduanya setimbang pada kondisi tekanan pada *inlet* sebesar 30 kPa

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh sudut *incoming jet angle* pada variasi 30° , 45° , 60° , 90° , dan 120° terhadap peforma turbin *Crossflow* pada kecepatan putaran 300-900 rpm. Pengaruh ini dianalisa

menggunakan metode *computational fluid dynamics* (CFD) untuk mengetahui performa berdasarkan analisa parameter torsi, daya, debit, dan efisiensi. Sedangkan, Dimensi Turbin *Crossflow* yang digunakan dalam analisa didapat dengan pendekatan segitiga kecepatan.

1.3 Batasan Masalah

1. Simulasi dijalankan dalam 2D
2. Pendekatan *transient* menggunakan *moving mesh*
3. Pendekatan dua fasa menggunakan *volume of fluid (VoF)* air (*water*) dan udara (*air*)
4. Kondisi dalam simulasi menggunakan pendekatan *pressure-based*, dengan asumsi densitas fluida kerja tidak berubah terhadap waktu.
5. Fluida yang bekerja adalah air dengan $\rho = 998.2 \frac{kg}{m^3}$
6. Tekanan pada *inlet* sebesar (30 kPa)
7. Besar sudut λ yang divariasikan yaitu $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$
8. Simulasi dijalankan pada Turbin di 300-900 rpm
9. Jumlah *element Mesh* sebesar 50.000-250.000 *element*
10. Turbin *Crossflow* skala pikohidro (<5kW)
11. Simulasi diasumsikan dalam kondisi *transient* dengan *timestep size* 0,001s

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh sudut *incoming jet angle* pada nozel yang memiliki performa maksimum pada skala piko.
2. Menganalisis pengaruh putaran roda terhadap performa turbin *Crossflow*.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan di atas, penelitian ini diharapkan mempunyai manfaat sebagai berikut:

1. Menghasilkan data hasil pengujian turbin *Crossflow* sebagai acuan dalam pemanfaatan turbin *Crossflow* skala piko
2. Sebagai acuan dalam pengembangan turbin *Crossflow* yang lebih efisien selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

- Adanta, D., Budiarmo, B., Warjito, W., Siswantara, A. I., Dan Prakoso, A. P. (2018). Performance Comparison Of Naca 6509 And 6712 On Pico Hydro Type Cross-Flow Turbine By Numerical Method. *Journal Of Advanced Research In Fluid Mechanics And Thermal Sciences*, 45(1), 116–127.
- Aliman, I., Kurniawati, I., Wulandari, J. A., Dan Sutikno, P. (2018). Evaluation Design And Simulation Of Three-Way Nozzle And Control Flow Vane Nozzle On Cross Flow Water Turbine For Various Head. *Aip Conference Proceedings*, 1984(1).
- Anand, R. S., Jawahar, C. P., Bellos, E., Dan Malmquist, A. (2021). A Comprehensive Review On Crossflow Turbine For Hydropower Applications. *Dalam Ocean Engineering* (Vol. 240). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.110015>
- Anslys Fluent Theory Guide 15. (2013).
- Chandra Adhikari, R. (2016). Design Improvement Of Crossflow Hydro Turbine. <https://prism.ucalgary.ca/items/9f5851cd-f671-4557-b133-984288e7943d>
- Chen, Z., Dan Choi, Y. Do. (2015). Influence Of Air Supply On The Performance And Internal Flow Characteristics Of A Cross Flow Turbine. *Renewable Energy*, 79(1), 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.08.024>
- Firmansyah, R., Purnomo, H., Dan Utomo, T. (2012). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.
- Fiuzat, A. A., Dan Akerkar, B. P. (1989). The Use Of Interior Guide Tube In Cross Flow Turbines.
- Fiuzat, A. A., Dan Akerkar, B. P. (1991). Power Outputs Of Two Stages Of Cross-Flow Turbine. *J. Energy Eng.*, 117, 57–70.
- Gunawan, A., Oktafeni, A., Dan Wahyuni Khabzli. (2013). Pemantauan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh). *Dalam Jurnal Rekayasa Elekrika* (Vol. 10, Nomor 4).
- Hayati Olgun. (2000). Effect Of Interior Guide Tubes In Cross-Flow Turbine Runner On Turbine Performance. *International Journal Of Energy Research - Int J Energ Res*, 24, 953–964. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/1099-114x\(200009\)24:11%3c953::Aid-Er634%3E3.0.Co;2-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1002/1099-114x(200009)24:11%3c953::Aid-Er634%3E3.0.Co;2-3)
- Khosrowpanah, S., Fiuzat, A. A., Dan Albertso, M. L. (1988). Experimental Study Of Cross-Flow Turbine. *Hydraulic Engineering*.

- Martha, F. P. (2022). Harga Minyak Dunia Makin Menggila, Tarif Listrik Naik? Begini Jawaban Pln. *Bisnis.Com*. <https://Ekonomi.Bisnis.Com/Read/20220307/44/1507667/Harga-Minyak-Dunia-Makin-Menggila-Ta-Rif-Listrik-Naik-Begini-Jawaban-Pln>
- Mockmore, C. A., Dan Merryfield, F. (1949). The Banki Water Turbine.
- Nakase, Y., Fukatomi, J., Watanaba, T., Suetsugu, T., Kubota, T., Dan Kushimoto, S. (1982). A Study Of Cross-Flow Turbine (Effects Of Nozzle Shape On Its Performance). *American Society Of Mechanical Engineers (Asme)*, 13–18.
- Nakase, Y., Fukutomi, J., Watanabe, T., Suetsugu, T., Kubota, T., Dan Kushimoto, S. (1982). A Study Of Cross-Flow Turbine (Effects Of Nozzle Shape On Its Performance).
- Picone, C., Sinagra, M., Aricò, C., Dan Tucciarelli, T. (2021). Numerical Analysis Of A New Cross-Flow Type Hydraulic Turbine For High Head And Low Flow Rate. *Engineering Applications Of Computational Fluid Mechanics*, 15(1), 1491–1507.
- Reddy, H., Seshadri, V., Dan Kothari, D. P. (1996). Effect Of Draft Tube Size On The Performance Of A Cross-Flow Turbine. *Energy Sources*, 18(2), 143–149. <https://doi.org/10.1080/00908319608908755>
- Richards, S. A. (1997). Completed Richardson Extrapolation In Space And Time. *Dalam Commun. Numer. Meth. Engng (Vol. 13)*.
- Roache, P. J. (1998). Verification Of Codes And Calculations. *Aiaa Journal*, 36(5), 696–702. <https://doi.org/10.2514/2.457>
- Sammartano, V., Aricò, C., Carravetta, A., Fecarotta, O., Dan Tucciarelli, T. (2013a). Banki-Michell Optimal Design By Computational Fluid Dynamics Testing And Hydrodynamic Analysis. *Energies*, 6(5), 2362–2385. <https://doi.org/10.3390/en6052362>
- Sammartano, V., Aricò, C., Carravetta, A., Fecarotta, O., Dan Tucciarelli, T. (2013b). Banki-Michell Optimal Design By Computational Fluid Dynamics Testing And Hydrodynamic Analysis. *Energies*, 6(5), 2362–2385. <https://doi.org/10.3390/en6052362>
- Sinagra, M., Picone, C., Aricò, C., Pantano, A., Tucciarelli, T., Hannachi, M., Dan Driss, Z. (2021). Impeller Optimization In Crossflow Hydraulic Turbines. *Water*, 13(3), 313.
- Sinagra, M., Picone, C., Picone, P., Aricò, C., Tucciarelli, T., Dan Ramos, H. M. (2022). Low-Head Hydropower For Energy Recovery In Wastewater Systems. *Water*, 14(10), 1649.
- Stroita, D. C., Dan Manea, A. S. (2022). Frequency Modelling And Dynamic Identification Of Cross-Flow Water Turbines. *Thermal Science*, 26(2 Part C), 1665–1674.

- Susatyo, A., Dan Subekti, R. A. (2009). Implementasi Teknologi Pembangkit Listrik.
- Urniawati, I., Wulandari, J. A., Sutikno, Priyonoaliman, I., Dan K. (2018). Evaluation Design And Simulation Of Three-Way Nozzle And Control Flow Vane Nozzle On Cross Flow Water Turbine For Various Head. Aip Conference Proceedings, 1984(July 2018). <https://doi.org/10.1063/1.5046631>
- Warjito, Budiarmo, Dan Adanta, D. (2021). Computational Analysis Of Flow Field On Crossflow Hydro Turbines. Engineering Letters.
- Wiranto Arismunandar. (2004). Penggerak Mula Turbin. Itb.
- Yunus A. Cengel, Dan John M. Cimbala. (T.T.). Fluid Mechanics Fundamental And Applications.