

SKRIPSI

**INVESTIGASI PENGARUH KETEBALAN SUDU
CEMBUNG *LEADING EDGE* TURBIN *CROSSFLOW*
SKALA PIKO MENGGUNAKAN METODE CFD**



Oleh:

AHMAD FADLI

03051182126009

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2025

SKRIPSI

**INVESTIGASI PENGARUH KETEBALAN SUDU
CEMBUNG *LEADING EDGE* TURBIN *CROSSFLOW*
SKALA PIKO MENGGUNAKAN METODE CFD**

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



**OLEH
AHMAD FADLI
03051182126009**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

INVESTIGASI PENGARUH KETEBALAN SUDU CEMBUNG *LEADING EDGE* TURBIN *CROSSFLOW* SKALA PIKO MENGGUNAKAN METODE CFD

SKRIPSI

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

Oleh:
AHMAD FADLI
03051182126009

Palembang, 16 Juli 2025

Diperiksa dan disetujui oleh :
Pembimbing,

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Prof. Ir. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197909272003121004



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

JURUSAN TEKNIK MESIN

Agenda No.

: 023/TM/AK/2025

FAKULTAS TEKNIK

Diterima Tanggal

: 22 Agustus 2025

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Paraf

: 

SKRIPSI

NAMA : AHMAD FADLI
NIM : 03051182126009
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : INVESTIGASI PENGARUH KETEBALAN
SUDU CEMBUNG *LEADING EDGE* TURBIN
CROSSFLOW SKALA PIKO
MENGUNAKAN METODE CFD
DIBUAT TANGGAL : 30 DESEMBER 2024
SELESAI TANGGAL : 16 JULI 2025

Palembang, 16 Juli 2025

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Diperiksa dan disetujui oleh:
Pembimbing Skripsi



Prof. Ir. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197909272003121004



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Investigasi Pengaruh Ketebalan Sudu Cembung *Leading Edge* Turbin *Crossflow* Skala Piko menggunakan Metode CFD” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 16 Juli 2025.

Palembang, 16 Juli 2025

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Sidang Skripsi :

Ketua :

1. Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri
NIP 195802011984031002



Anggota :

2. Dr. Fajri Vidian, S.T., M.T.
NIP 197207162006041002



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



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Prof. Ir. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197909272003121004

Pembimbing Skripsi



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

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat untuk mengikuti seminar dan sidang sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dengan judul “Investigasi Pengaruh Ketebalan Sudu Cembung *Leading Edge* Turbin *Crossflow* Skala Piko Menggunakan Metode CFD”.

Pada kesempatan ini dengan setulus hati penulis menyampaikan rasa terima kasih atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan dalam penulisan ini. Karena penulis yakin tanpa dukungan tersebut sulit rasanya bagi penulis untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Alm. Junaidi dan Ibu Helwani, kedua orang tua penulis yang telah memberikan do’a dan dukungan
2. Bapak Dr. Ir. Dendy Adanta, S.Pd., M.T. selaku dosen pembimbing skripsi
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T. selaku dosen pembimbing akademik di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
4. Bapak Prof. Ir. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
5. Bapak Ir. Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
6. Seluruh Dosen, jajaran staf, dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
7. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
8. Seluruh pihak yang telah mendukung penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak sekali kekurangan karena keterbatasan wawasan penulis. Oleh karena itu, saran dan kritik yang telah membangun akan menyempurnakan skripsi ini. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan para pembaca.

Palembang, 16 Juli 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Ahmad Fadli', with a stylized, cursive script.

Ahmad Fadli

NIM. 03051182126009

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Fadli

NIM : 03051182126009

Judul : Investigasi Pengaruh Ketebalan Sudu Cembung *Leading Edge*
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.

Palembang, 16 Juli 2025



Ahmad Fadli
NIM. 03051182126009

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Fadli

NIM : 03051182126009

Judul : Investigasi Pengaruh Ketebalan Sudu Cembung *Leading Edge*
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.



Palembang, 16 Juli 2025



Ahmad Fadli
NIM. 03051182126009

RINGKASAN

INVESTIGASI PENGARUH KETEBALAN SUDU CEMBUNG *LEADING EDGE* TURBIN *CROSSFLOW* SKALA PIKO MENGGUNAKAN METODE CFD

Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi, 16 Juli 2025

Ahmad Fadli, dibimbing oleh Dr. Ir. Dendy Adanta, S.Pd., M.T.

xxv + 107 halaman, 20 tabel, 45 gambar, 5 lampiran

RINGKASAN

Energi listrik merupakan salah satu indikator penting dalam pembangunan nasional. Namun, hingga saat ini, masih terdapat wilayah-wilayah di Indonesia yang belum sepenuhnya menikmati akses terhadap energi listrik. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), hingga akhir tahun 2023 masih terdapat 140 desa di Indonesia yang belum teraliri listrik. Di tengah tantangan tersebut, Indonesia memiliki potensi energi air yang sangat besar sebagai sumber energi terbarukan. Kondisi ini menunjukkan peluang besar untuk mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), khususnya skala kecil. Dalam hal ini, penggunaan turbin *crossflow* skala piko merupakan pilihan yang tepat, karena desainnya yang sederhana, biaya instalasi yang relatif rendah, serta mempunyai kemampuan memanfaatkan potensi energi air dengan debit dan *head* rendah. Meskipun turbin *crossflow* telah lama dikembangkan, namun kajian mendalam mengenai konfigurasi sudu bagian atas (*upper blade*) masih terbatas. Berdasarkan kajian literatur sebelumnya, konfigurasi sudu bagian atas (*upper blade*) dengan profil cembung pada *leading edge* menunjukkan potensi yang menjanjikan dalam meningkatkan efisiensi turbin *crossflow*. Penelitian ini menggabungkan pendekatan analitik dan komputasi. Metode analitik digunakan untuk merancang parameter turbin secara teoritis, sedangkan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) digunakan untuk memprediksi dan

menganalisis fenomena aliran fluida yang terjadi di sekitar sudu turbin. Berdasarkan hasil simulasi, Pada kondisi *head* 3 meter, rasio ketebalan sudu 0,5 menghasilkan efisiensi maksimum sebesar 79,29% dengan daya mekanik sebesar 186,92 W pada kecepatan putar 700 rpm. Selanjutnya, pada *head* 4 meter, efisiensi maksimum yang dicapai adalah 78,42% dengan daya mekanik sebesar 280,27 W pada kecepatan putar 800 rpm. Sedangkan pada *head* 5 meter, efisiensi maksimum tercatat sebesar 76,80% dengan daya mekanik sebesar 415,27 W pada kecepatan putar yang sama, yaitu 800 rpm.

Kata kunci : turbin *crossflow*, efisiensi, *leading edge*, *computational fluid dynamic*.

Kepustakaan : 30 (1949-2025)

SUMMARY

INVESTIGATION THE EFFECT OF CONVEX BLADE THICKNESS AT THE LEADING EDGE ON A PICO-SCALE CROSSFLOW TURBINE USING CFD METHOD

Scientific Paper in the Form of a Undergraduate Thesis, July 16, 2025

Ahmad Fadli, supervised of Dr. Ir. Dendy Adanta, S.Pd., M.T.

xxv + 107 pages, 20 tables, 45 figures, 5 attachments

SUMMARY

Electrical energy is one of the important indicators in national development. However, until now, there are still areas in Indonesia that have not fully enjoyed access to electrical energy. Based on data from the Ministry of Energy and Mineral Resources (ESDM), until the end of 2023 there are still 140 villages in Indonesia that have not been electrified. In the midst of these challenges, Indonesia has enormous potential for water energy as a renewable energy source. This condition shows a great opportunity to develop Hydropower Plants (PLTA), especially on a small scale. In this case, the use of small-scale crossflow turbines is the right choice, because of their simple design, relatively low installation costs, and ability to utilize the potential of water energy with low discharge and head. Although crossflow turbines have long been developed, in-depth studies on the upper blade configuration are still limited. Based on previous literature review, the upper blade configuration with convex profile at the leading edge shows promising potential in improving the efficiency of crossflow turbine. This research combines analytical and computational approaches. The analytical method is used to theoretically design the turbine parameters, while the Computational Fluid Dynamics (CFD) method is used to predict and analyze the fluid flow phenomena occurring around the turbine blades. Based on the simulation results, at a head condition of 3 meters, the blade thickness ratio of 0.5

produces a maximum efficiency of 79.29% with a mechanical power of 186.92 W at a rotational speed of 700 rpm. Furthermore, at a head of 4 meters, the maximum efficiency achieved is 78.42% with a mechanical power of 280.27 W at a rotating speed of 800 rpm. Meanwhile, at a head of 5 meters, the maximum efficiency was recorded at 76.80% with a mechanical power of 415.27 W at the same rotating speed of 800 rpm.

Keywords : crossflow turbine, efficiency, leading edge, computational
fluid dynamic

Literature : 30 (1949-2025)

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Definisi	Satuan
B	Lebar nozzel	mm
c	Kecepatan absolut	m/s
Cn	<i>Courant number</i>	-
D ₁	Diameter luar <i>runner</i>	mm
D ₂	Diameter dalam <i>runner</i>	mm
g	Gaya gravitasi	m/s ²
GCI	<i>Grid convergency index</i>	%
H	Jumlah element mesh	-
H _T	<i>Head</i> turbin	m
k	Koefisien kecepatan masuk/jet	-
k	Energi kinetik turbulensi	m ² /s ²
L	Lebar sudu	mm
m	Massa	kg
n	Putaran <i>runner</i>	rpm
P _{mech}	Daya mekanis	Watt
P _{potensial}	Daya potensial air	Watt
P _n	Koefisien konvergen	-
P	Tekanan	Pa
Q	Debit aliran	m ³ /s
R _b	Radius sudu	mm
R _{sudu}	Jari-jari sudu	mm
S ₀	Tinggi nozzel	mm
s	Jarak antar sudu	mm
T	Torsi	Nm
t	Waktu	s
u	Kecepatan tangensial	m/s
W	Lebar turbin	mm
w	Kecepatan relatif	m/s
z	Jumlah sudu	-

α	Sudut antara arah aliran fluida	derajat
β	Sudut sudu	derajat
ε	Tingkat disipasi	m^2/s^3
ρ	Densitas	kg/m^3
$\rho u'_i u_j$	Tensor tegangan reynold	$\text{N}\cdot\text{m}$
σ_{ij}	Tensor tegangan viskos	$\text{N}\cdot\text{m}$
δ	Kelengkungan sudut sudu	derajat
λ	Sudut pelepasan masuk	derajat
η	Efisiensi	%
ω	Kecepatan putar	Rad/s
μ	Viskositas dinamis	$\text{Pa} \cdot \text{s}$
Δx	Jarak	m
1,3	Tahap masuk pertama dan kedua	-
2,4	Tahap keluar pertama dan kedua	-
x, r	Arah tangensial dan radial	-
i, j, k	Vektor kartesian	-

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
SKRIPSI.....	vii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	xv
RINGKASAN	xvii
SUMMARY	xix
DAFTAR SIMBOL.....	xxi
DAFTAR ISI.....	xxiii
DAFTAR GAMBAR	xxvii
DAFTAR TABEL	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 Turbin Air	7
2.2.1 Definisi Turbin Air	7
2.2.2 Klasifikasi Turbin Air	8
2.2.2.1 Klasifikasi berdasarkan Prinsip Kerja.....	8
2.2.2.2 Klasifikasi Berdasarkan Daya Aliran (Kapasitas)	9
2.3 Energi Air	9
2.4 Analisis Segitiga Kecepatan	10
2.4.1 Tahap Pertama	11

2.4.1.1	Aliran Masuk.....	11
2.4.1.2	Aliran Keluar.....	13
2.4.2	Tahap Kedua	15
2.4.2.1	Aliran Masuk.....	15
2.4.2.2	Aliran Keluar.....	15
2.5	Analisis Perubahan Momentum	16
2.6	Geometri Runner	18
2.7	Geometri Nozel	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		23
3.1	Diagram Alir Perancangan Turbin <i>Crossflow</i>	23
3.2	Metode Analitik.....	24
3.3	Metode Simulasi.....	25
3.3.1	Persamaan Garis Sudu.....	26
3.3.2	Metode Computational Fluid Dynamics (CFD).....	28
3.3.3	Geometri Turbin <i>Crossflow</i>	29
3.3.4	Kondisi Batas	32
3.3.5	<i>Set-up</i> Simulasi.....	35
3.3.6	Analisis Uji Mesh Independensi	36
3.4	Target Penelitian	37
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Hasil	39
4.1.1	Hasil Analitik	39
4.1.2	Hasil Simulasi	41
4.1.2.1	Mesh Independency Test (GCI)	42
4.1.2.2	Timestep Independency Test.....	43
4.1.2.3	Hubungan Putaran Runner terhadap Torsi	43
4.1.2.4	Hubungan Putaran Runner terhadap Daya Mekanis	47
4.1.2.5	Hubungan Putaran Runner terhadap Debit.....	51
4.1.2.6	Hubungan Putaran Runner terhadap Efisiensi	54
4.2	Diskusi.....	58
4.2.1	Visualisasi Hasil Simulasi.....	59
4.2.1.1	Visualisasi Kontur Tekanan	59
4.2.1.2	Visualisasi Kecepatan Aliran	62
4.2.1.3	Visualisasi Kontur Aliran.....	67

4.2.2	Perbandingan Hasil Efisiensi dengan Studi Sebelumnya	69
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		71
5.1	Kesimpulan	71
5.2	Saran	72
DAFTAR PUSTAKA		73
LAMPIRAN.....		77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skematik segitiga kecepatan	11
Gambar 2. 2 Kecepatan absolut air masuk nozel	12
Gambar 2. 3 Sudut β_1	12
Gambar 2. 4 Sudut β_2 dan sudut α_2	14
Gambar 2. 5 Sudut β_3 dan sudut α_3	15
Gambar 2. 6 Sudut α_4 dan sudut α_4'	16
Gambar 2. 7 Volume kontrol analisis perubahan momentum.....	17
Gambar 2. 8 Skematik sisi pada sudu	19
Gambar 2. 9 Skematik sudut pada sudu	19
Gambar 2. 10 Skematik sisi dan sudut nozel	21
Gambar 3. 1 Diagram alir perancangan turbin <i>crossflow</i>	23
Gambar 3. 2 Diagram alir prosedur simulasi CFD	25
Gambar 3. 3 Persaaan garis rasio 0.5	26
Gambar 3. 4 Persaaan garis rasio 1	27
Gambar 3. 5 Persaaan garis rasio 1.5	27
Gambar 3. 6 Geometri rasio 0.5	30
Gambar 3. 7 Geometri rasio 1	30
Gambar 3. 8 Geometri rasio 1.5	30
Gambar 3. 9 Runner	31
Gambar 3. 10 Desain 3D turbin <i>crossflow</i>	32
Gambar 3. 11 Skematik kondisi batas geometri.....	34
Gambar 4. 1 Distribusi mesh.....	42
Gambar 4. 2 Hubungan torsi terhadap putaran <i>runner</i> pada <i>head</i> 3 m.....	44
Gambar 4. 3 Hubungan torsi terhadap putaran <i>runner</i> pada <i>head</i> 4 m.....	45
Gambar 4. 4 Hubungan torsi terhadap putaran <i>runner</i> pada <i>head</i> 5 m.....	46
Gambar 4. 5 Hubungan daya mekanis terhadap putaran <i>runner</i> pada <i>head</i> 3 m.....	48
Gambar 4. 6 Hubungan daya mekanis terhadap putaran <i>runner</i> pada <i>head</i> 4 m.....	49
Gambar 4. 7 Hubungan daya mekanis terhadap putaran <i>runner</i> pada <i>head</i> 5 m.....	50
Gambar 4. 8 Hubungan debit terhadap putaran <i>runner</i> pada <i>head</i> 3 m.....	51

Gambar 4. 9 Hubungan debit terhadap putaran <i>runner</i> pada <i>head</i> 4 m.....	52
Gambar 4. 10 Hubungan debit terhadap putaran <i>runner</i> pada <i>head</i> 5 m.....	53
Gambar 4. 11 Hubungan efisiensi terhadap putaran <i>runner</i> pada <i>head</i> 3 m	55
Gambar 4. 12 Hubungan efisiensi terhadap putaran <i>runner</i> pada <i>head</i> 4 m	56
Gambar 4. 13 Hubungan efisiensi terhadap putaran <i>runner</i> pada <i>head</i> 5 m	57
Gambar 4. 14 Visualisasi kontur tekanan rasio 0,5 pada kondisi <i>head</i> 3 m.....	59
Gambar 4. 15 Visualisasi kontur tekanan pada <i>head</i> 3 m (a) T/L 0,5 (b) T/L 1 dan (c) T/L 1,5.....	61
Gambar 4. 16 Visualisasi kecepatan pada rasio 0,5	62
Gambar 4. 17 Visualisasi aliran air pada rasio 0,5	63
Gambar 4. 18 Visualisasi aliran air pada rasio 1	63
Gambar 4. 19 Visualisasi aliran air pada rasio 1,5	64
Gambar 4. 20 Kecepatan aliran pada kondisi <i>head</i> 3 m (a) T/L 0,5 (b) T/L 1 dan (c) T/L 1,5.....	66
Gambar 4. 21 Visualisasi aliran air pada rasio 0,5	67
Gambar 4. 22 Visualisasi aliran air pada rasio 1	67
Gambar 4. 23 Visualisasi aliran air pada rasio 1,5	68
Gambar 4. 24 Perbandingan hasil efisiensi pada studi sebelumnya	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data geometri dan efisiensi.....	6
Tabel 2. 2 Klasifikasi PLTA berdasarkan kapasitas	9
Tabel 3. 1 Geometri turbin <i>crossflow</i> hasil perancangan	31
Tabel 3. 2 Kondisi batas simulasi turbin <i>crossflow</i>	34
Tabel 3. 3 Jadwal Penelitian.....	38
Tabel 4. 1 Hasil perhitungan mesh independency test (GCI)	42
Tabel 4. 2 Hasil timestep independency test.....	43
Tabel 4. 3 Data torsi hasil simulasi pada <i>head</i> 3 m.....	43
Tabel 4. 4 Data torsi hasil simulasi pada <i>head</i> 4 m.....	44
Tabel 4. 5 Data torsi hasil simulasi pada <i>head</i> 5 m.....	46
Tabel 4. 6 Data daya mekanis hasil simulasi pada <i>head</i> 3 m	48
Tabel 4. 7 Data daya mekanis hasil simulasi pada <i>head</i> 4 m	49
Tabel 4. 8 Data daya mekanis hasil simulasi pada <i>head</i> 5 m	50
Tabel 4. 9 Data debit hasil simulasi pada <i>head</i> 3 m.....	51
Tabel 4. 10 Data debit hasil simulasi pada <i>head</i> 4 m.....	52
Tabel 4. 11 Data debit hasil simulasi pada <i>head</i> 5 m.....	53
Tabel 4. 12 Data efisiensi hasil simulasi pada <i>head</i> 3 m	55
Tabel 4. 13 Data efisiensi hasil simulasi pada <i>head</i> 4 m	56
Tabel 4. 14 Data efisiensi hasil simulasi pada <i>head</i> 5 m	57
Tabel 4. 15 Data hasil ANOVA <i>two way without replication</i>	58

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara kepulauan dengan letak geografis yang strategis Indonesia memiliki luas total sebesar 7,81 juta km². Luasnya wilayah tersebut juga berpengaruh terhadap populasi penduduk yang tinggi dan berdampak pada penggunaan kebutuhan energi, salah satunya pada energi listrik. Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2023 realisasi konsumsi listrik rata-rata setiap orang di Indonesia mencapai 1.285 kWh/kapita. Angka ini meningkat dari 1.173 kWh/kapita pada tahun 2022.

Energi listrik merupakan salah satu indikator penting dalam pembangunan nasional. Meskipun capaian elektrifikasi nasional telah menunjukkan perkembangan yang signifikan, dengan rasio elektrifikasi mencapai 99,78% per akhir tahun 2023, namun masih terdapat tantangan dalam pemerataan akses listrik di seluruh wilayah Indonesia. Tercatat masih terdapat sekitar 140 desa yang belum teraliri listrik, terutama yang berada di kawasan 3T (tertinggal, terdepan, dan terluar). Keterbatasan akses dan kondisi geografis yang sulit dijangkau menjadi tantangan dalam penyaluran listrik ke kawasan tersebut.

Di tengah tantangan tersebut, Indonesia memiliki potensi energi air yang sangat besar sebagai sumber energi terbarukan yang mandiri dan berkelanjutan. Kondisi ini menunjukkan peluang besar untuk mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), khususnya skala kecil, sebagai solusi meningkatkan pemerataan akses listrik di daerah terpencil. Dalam hal ini, penggunaan turbin *crossflow* skala piko merupakan pilihan yang tepat, karena memiliki beberapa keunggulan, diantaranya konstruksi yang sederhana, biaya instalasi yang relatif rendah, serta mempunyai kemampuan memanfaatkan potensi energi air dengan *head* rendah dan debit yang disesuaikan dengan aliran. Kesederhanaan dan keandalan desain turbin *crossflow* menjadikannya solusi yang efektif untuk

memenuhi kebutuhan energi di daerah yang memiliki sumber daya air terbatas (Yanda dkk., 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi konfigurasi yang tepat untuk sisi atas sudu (*upper blade*) turbin *crossflow* skala piko, dengan fokus pada pengembangan desain yang dapat meningkatkan daya mekanik secara signifikan. Sisi atas sudu (*upper blade*) adalah tempat gaya angkat terjadi (Warjito dkk., 2021). Berdasarkan hasil, konfigurasi sudu cembung *leading* yang serupa dengan *airfoil* NACA diduga lebih baik dibandingkan dengan sudu cembung tengah (Adanta dkk., 2023). Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan menggunakan konfigurasi sudu cembung *leading*, desain ini menyerupai *airfoil* yang secara aerodinamis mampu menciptakan gaya angkat, sehingga secara efektif mengarahkan aliran fluida ke seluruh bagian sudu dan meningkatkan efisiensi serta performa turbin secara keseluruhan.

Untuk membuktikan efektivitas desain tersebut, penelitian ini menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) guna menganalisis fenomena aliran fluida di sekitar sudu turbin *crossflow*. Melalui pendekatan ini, konfigurasi sudu cembung *leading edge* dapat dievaluasi secara lebih mendalam dalam mengoptimalkan aliran fluida. Dengan demikian, desain sudu yang diusulkan diharapkan mampu meningkatkan efisiensi dan efektivitas turbin *crossflow* skala piko secara signifikan.

1.2 Rumusan Masalah

Secara matematis, *lower* sudu turbin *crossflow* sudah bisa didefinisikan dengan menggunakan persamaan pendekatan segitiga kecepatan, dimana β_1 terindikasi sebesar $38,9^\circ$, β_2 sebesar 90° , dan α sebesar 22° . Penelitian sebelumnya berasumsi bahwa bentuk sudu hanya seperti *curvature* biasa, belum ada kajian yang membahas rinci tentang konfigurasi *upper* sudu. Oleh karena itu, penelitian ini akan menganalisis pengaruh rasio ketebalan pada sudu turbin

crossflow skala piko dengan konfigurasi sudu cembung *leading edge* menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

1.3 Batasan Masalah

1. Simulasi dilakukan secara 2D karena dianggap mampu merepresentasikan kondisi sebenarnya (Sammartano dkk., 2013)
2. Pendekatan transien menggunakan *moving mesh*
3. Pendekatan dua fasa menggunakan *volume of fraction* (VoF) dimana air (*water*) sebagai fasa pertama dan udara (*air*) sebagai fasa kedua
4. Kondisi simulasi menggunakan pendekatan *pressure-based*, dengan asumsi densitas fluida kerja tidak berubah terhadap waktu
5. Tinggi jatuh air (*head*) yang digunakan adalah 3 m, 4 m, dan 5 m
6. Fluida kerja yang digunakan adalah air dengan $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$
7. Simulasi dilakukan pada kondisi putaran *runner* sebesar 300-900 rpm

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh rasio ketebalan sudu terhadap efisiensi turbin *crossflow* dengan konfigurasi cembung *leading edge* skala piko.
2. Menganalisis pengaruh *head* terhadap efisiensi turbin *crossflow* dengan konfigurasi cembung *leading edge* skala piko.
3. Menganalisis besaran daya mekanik dan efisiensi maksimum pada setiap variasi *head* dan rasio ketebalan sudu cembung *leading edge* turbin *crossflow* skala piko.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan pengetahuan tentang turbin *crossflow* sebagai salah satu alternatif sumber energi terbarukan yang dapat diterapkan pada daerah terpencil di Indonesia.
2. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya dalam perancangan turbin *crossflow* skala piko.
3. Mengusulkan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) untuk memprediksi performa turbin *crossflow* hasil perancangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, N., Kim, C.-G., Thapa, B., Lee, Y.-H., 2015. Numerical analysis and performance enhancement of a cross-flow hydro turbine. *Renewable Energy*, 80 819–826. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.064>
- Achebe, C.H., Okafor, O.C., Obika, E.N., 2020. Design and implementation of a crossflow turbine for Pico hydropower electricity generation. *Heliyon*, 6 (7): e04523. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04523>
- Adanta, D., Budiarso, Warjito, Siswantara, A.I., 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.
- Adanta, D., Sari, D.P., Syofii, I., Prakoso, A.P., Saputra, M.A.A., Thamrin, I., 2023. Performance Comparison of Crossflow Turbine Configuration Upper Blade Convex and Curvature by Computational Method. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 9 (1): 154–165. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-01-012>
- Adanta, D., Sari, D.P., Syofii, I., Thamrin, I., Yani, I., Marwani, Fudholi, A., Prakoso, A.P., 2024. Configuration blade shape for enhancement crossflow turbine performance by the CFD method. *International Journal of Thermofluids*, 22 (April): 100665. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.100665>
- Adanta, D., Sari, D.P., Syofii, I., Yadi, F., Arifin, A., Yani, I., Syadhefi, M.W., Fudholi, A., Mohd-Zawawi, F., 2025. Theodorus spiral concept for pico-scale crossflow turbine nozzle design by computational method. *Ocean Engineering*, 320 (January): 120333. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.120333>
- Adhikari, R., Wood, D., 2018. The design of high efficiency crossflow hydro turbines: A review and extension. *Energies*, 11 (2): 1–18. <https://doi.org/10.3390/en11020267>
- Aliman, I., Kurniawati, I., Wulandari, J.A., 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 (July). <https://doi.org/10.1063/1.5046631>
- Choi, Y.-D., Lim, J.-I., Kim, Y.-T., Lee, Y.-H., 2008. Performance and Internal Flow Characteristics of a Cross-Flow Hydro Turbine by the Shapes of Nozzle and Runner Blade. *Journal of Fluid Science and Technology*, 3 (3): 398–409. <https://doi.org/10.1299/jfst.3.398>
- Dayera, Musa Bundaris Palungan, F.O., 2024. G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan. *G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan*, 8 (1): 186–195.
- De Andrade, J., Curiel, C., Kenyery, F., Aguilln, O., Vásquez, A., Asuaje, M.,

2011. Numerical investigation of the internal flow in a Banki turbine. *International Journal of Rotating Machinery*, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/841214>
- Desai, V.R., Aziz, N.M., 1994. An experimental investigation of cross-flow turbine efficiency. *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, 116 (3): 545–550. <https://doi.org/10.1115/1.2910311>
- Du, J., Shen, Z., Yang, H., 2020. Study on the effects of runner geometries on the performance of inline cross-flow turbine used in water pipelines. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 40 100762. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100762>
- Fluent, A., 2013. ANSYS Fluent Theory Guide, ANSYS Inc., USA.
- Hakim, M.L., Yuniarti, N., Sukir, Damarwan, E.S., 2020. Pengaruh Debit Air Terhadap Tegangan Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro. *Jurnal Edukasi Elektro*, 4 (1): 75–81.
- Kaniecki, M., Steller, J., 2003. Flow Analysis through a Reaction Cross-Flow Turbine. *Proceedings of Conference on modelling fluid flow CMFF*, 3 (September 2003): 2003--06.09.
- Kartono, N.A., Indra Partha, C.G., Ariastina, W.G., Giriantari, I.A.D., Satya Kumara, I.N., Sukerayasa, I.W., 2023. Analisis Pengaruh Variasi Debit Air Terhadap Kecepatan Putaran Turbin Crossflow Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *Jurnal SPEKTRUM*, 10 (2): 43. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2023.v10.i02.p6>
- Kaunda, C.S., Kimambo, C.Z., Nielsen, T.K., Journal, I., 2014. Experimental study on a simplified crossflow turbine. *Int. J. Energy Environ*, 5 (2): 155–182.
- Mockmore, C.A., Merryfield, F., 1949. The Banki Water Turbine.
- Munson, B.R., Okiishi, T.H., Huebsch, W.W., Rothmayer, A.P., 2013. Fundamentals of Fluid Mechanics, Instrumentation, Measurements, and Experiments in Fluids.
- Paryono, Giyanto, Santoso, T.B., 2023. Penentuan ukuran sabuk pada trainer turbin cross flow siprianus l. making 1 yanri pakan 2. 8 (2): 58–64.
- Prakoso, A.P., Warjito, Siswantara, A.I., Budiarto, Adanta, D., 2019. Comparison between 6-DOF UDF and moving mesh approaches in CFD methods for predicting cross-flow pico-hydro turbine performance. *CFD Letters*, 11 (6): 86–96.
- Ridwan, K., Pujiastuti Lestari, S., Rusnadi, I., Rahayu, A., Mahendra, E., Pratama, W., Teknik Kimia, J., Negeri Sriwijaya Jalan Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang, P., 2021. Simulasi Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Crossflow Ditinjau dari Ketinggian, Debit dan Arah Aliran Prototype Simulation Microhydro Power Plant Crossflow Turbine in Terms of Head Potential, Discharge and Flow Direction. *Jurnal Kinetika*, 12 (01): 40–44.
- Sammartano, V., Aricò, C., Carravetta, A., Fecarotta, O., Tucciarelli, T., 2013.

- Banki-Michell optimal design by computational fluid dynamics testing and hydrodynamic analysis. *Energies*, 6 (5): 2362–2385. <https://doi.org/10.3390/en6052362>
- Saputra, I.G.N., Jasa, L., Wijaya, I.W.A., 2020. Pengaruh Jumlah Sudu Pada Prototype Pltmh. *Jurnal SPEKTRUM*, 7 (4): 161–172.
- Setiawan, J., Darmawan, S., Tanujaya, H., 2022. Komparasi Simulasi CFD Pada Turbin Cross-Flow Dengan Model Turbulen k- ϵ STD dan RNG k- ϵ . *Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, 4 153–162. <https://doi.org/10.35814/asiimetrik.v4i1.3100>
- Syahrul, K.A., Sahbana, M.A., 2018. Pengaruh Jenis Sudu terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Air Kinetik Poros Horizontal. *Proton*, 10 (2): 20–24.
- Warjito, Budiarso, Adanta, D., 2021. Computational analysis of flow field on cross-flow hydro turbines. *Engineering Letters*, 29 (1): 87–94.
- Yanda, A.J., Abubakar, S., Radhiah, 2021. Perancangan turbin cross-flow pada pembangkit listrik tenaga pico hydro (PLTPH) di desa wih tenang uken bener meriah. *Jurnal Tektro*, 5 (1): 69–76.
- Yunus A. Cengel dan John M. Cimbala, 2012. Boundary Layer Approximation, Fluid Mechanics Fundamentals and Applications. https://doi.org/10.1007/978-1-84882-367-9_4