

SKRIPSI

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



Oleh:

PUTRI RAMADHANIA

03051282126083

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2025

SKRIPSI

**INVESTIGASI PENGARUH KETEBALAN SUDU
CEMBUNG *CENTRE 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

PUTRI RAMADHANIA

03051282126083

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

202

HALAMAN PENGESAHAN

**INVESTIGASI PENGARUH KETEBALAN SUDU CEMBUNG
CENTRE EDGE 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:

PUTRI RAMADHANIA
03051282126083

Palembang, Mei 2025

Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing Skripsi

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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



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

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No.
Diterima Tanggal
Paraf

: DOI / TM / Ak / 2025

: 19 Mei 2025

: 

SKRIPSI

NAMA : PUTRI RAMADHANIA
NIM : 03051282126083
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : INVESTIGASI PENGARUH KETEBALAN
SUDU CEMBUNG *CENTRE EDGE* TURBIN
CROSSLOW SKALA PIKO
MENGUNAKAN METODE CFD
DIBUAT TANGGAL : 30 DESEMBER 2024
SELESAI TANGGAL : 8 MEI 2025

Palembang, 8 Mei 2025

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Skripsi


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 *Centre 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 8 Mei 2025.

Palembang, 8 Mei 2025

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Skripsi:

Ketua :

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

(.....)

Anggota :

2. Prof. Dr. Ir. Kaprawi, DEA
NIP. 195701181985031004

(.....)

3. Prof. Dr. Ir. H. Irwin Bizzy, M.T
NIP. 196005281989031002

(.....)

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya
Prof. Ir. Amik Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197909272003121004

Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing Skripsi

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

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat dan karunia- Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik yang berjudul “Investigasi Pengaruh Ketebalan Sudu Cembung *Centre Edge* Turbin *Crossflow* Skala Piko Menggunakan Metode CFD”

Penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini tentunya dengan mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak – pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Syam Fitri, S.T dan Afrida Dwi Putri, S.H, kedua orang tua penulis yang telah memberikan do’a dan dukungan
2. Bapak Dr. Ir. Dendy Adanta, S.Pd., M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing, mendukung, dan memberikan saran selama penyusunan tugas akhir
3. Bapak Dr. Ir. Gunawan, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing akademik
4. Bapak Prof. Ir. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D dan Bapak Ir. Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua dan Sekeretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
5. Seluruh dosen, jajaran staf, dan karyawan Fakultas Teknik dan Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
6. Rekan *hydropower research group* yang telah memberikan saran dan bantuan selama pengambilan data
7. Mohd Azra D Dzaky, S.T yang turut menemani dan mendukung selama masa perkuliahan
8. Teman seperjuangan *basecamp* dan *BeGe* yang menjadi motivasi selama kepenulisan
9. Teman – teman BEM FT UNSRI dan HMM FT UNSRI yang telah menjadi bagian dalam perjalanan perkuliahan
10. Teman – teman Teknik Mesin angkatan 2021 atas kebersamaan yang telah dibina dari awal perkuliahan

Penulis menyadari bahwa dalam proses penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan karena terbatasnya pengetahuan. Oleh karena itu, kritik serta saran yang membangun dalam pelaksanaan skripsi ini akan sangat membantu dalam perbaikan kedepannya. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan semoga kepenulisan karya ilmiah ini dapat menjadi referensi pada proses pembelajaran di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.

Palembang 8 Mei 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Putri R.' with a stylized flourish.

Putri Ramadhania
NIM 03051282126083

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Putri Ramadhania

NIM : 03051282126083

Judul : Investigasi Pengaruh Ketebalan Sudu Cembung *Centre 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, 8 Mei 2025



Putri Ramadhania
NIM. 03051282126083

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Putri Ramadhania

NIM : 03051282126083

Judul : Investigasi Pengaruh Ketebalan Sudu Cembung *Centre 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, 8 Mei 2025



Putri Ramadhania
NIM. 03051282126083

RINGKASAN

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

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 8 Mei 2025

Putri Ramadhania, dibimbing oleh Dr. Ir. Dendy Adanta, S.Pd, M.T, xxxii
+ 95 Halaman, 16 Tabel, 58 Gambar, 12 Lampiran

Indonesia saat ini mendominasi penggunaan energi yang bergantung pada sumber energi fosil yang ketersediannya terbatas. Menurut laporan Kementerian ESDM pada tahun 2022, rasio elektrifikasi nasional telah mencapai 99,63% yang artinya terdapat 0,37% rumah tangga di Indonesia yang belum mendapatkan akses layanan listrik. Potensi sumber daya air yang melimpah dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Turbin *crossflow* dipertimbangkan dari sejumlah karakteristik seperti konstruksi turbin sederhana, portabilitas dan biaya fabrikasi. Turbin ini mampu bekerja pada debit dan *head* yang rendah sehingga cocok untuk diimplementasikan pada daerah bersumberdaya air kecil. Namun, karena menggunakan debit dan *head* yang rendah diperlukan rekayasa *engineering* pada konstruksi turbin terutama pada bagian *upper* sudu untuk meningkatkan gaya angkatnya. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji kinerja turbin *crossflow* skala piko bersudu cembung *centre edge* dengan variasi rasio ketebalan sudu 0,3; 0,5; 1; dan 1,5 untuk mengetahui pengaruhnya terhadap efisiensi konversi energi air menjadi energi listrik.

Metode yang digunakan adalah simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Metode ini dipilih karena mampu memahami perilaku fluida dengan akurasi tinggi dan biaya yang rendah. Perangkat lunak SOLIDWORKS digunakan untuk merancang geometri 3D turbin, sementara ANSYS Fluent digunakan untuk simulasi aliran fluida. Parameter yang dikaji meliputi torsi, daya mekanis, dan debit.

Kondisi batas ditetapkan mengacu pada penelitian sebelumnya seperti putaran 100 – 600 rpm, jumlah sudu sebanyak 26 buah dan *angle of attack* 22°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin air dengan L/H 0,5 putaran 600 rpm memiliki performa lebih baik dibandingkan rasio ketebalan sudu lainnya. Efisiensi yang dihasilkan yaitu 81,80 % (P_m 210,07 W dan torsi 3,34 Nm), L/H 0,3 pada putaran 700 rpm menghasilkan efisiensi sebesar 79,78% (P_m 191,79 W dan torsi 2,61 Nm), L/H 1 pada putaran 600 rpm menghasilkan efisiensi sebesar 79,51% (P_m 198,10 W dan torsi 3,15 Nm) dan L/H 1,5 pada putaran 600 rpm menghasilkan efisiensi terendah sebesar 56,31 % (P_m 159,59 W dan torsi 2,54 Nm).

Selain itu, simulasi menunjukkan visualisasi tekanan mengungkap bahwa terjadi perbedaan tekanan pada bagian *upper* dan *lower* sudu yang membuat terjadinya gaya angkat (*lift force*). Pada visualisasi aliran kecepatan menunjukkan minimnya terjadi fenomena seperasi aliran terjadi pada profil sudu yang menyerupai airfoil yaitu L/H 0,5. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa turbin *crossflow centre edge* L/H 0,5 pada 600 rpm memberikan performa lebih optimal dibandingkan dengan 3 variasi L/H lainnya. Simulasi CFD terbukti efektif dalam menganalisis karakteristik aliran air serta pengaruh variasi ketebalan sudu terhadap efisiensi daya turbin. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah membandingkan hasil simulasi dengan melakukan fabrikasi dari desain yang sudah dibuat dan melakukan pengambilan data secara eksperimental menggunakan kondisi batas yang sama. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan teknologi turbin air skala piko sebagai solusi energi terbarukan di Indonesia.

Kata kunci : turbin *crossflow centre edge*, sudu turbin, CFD, gaya angkat

Kepustakaan : 34

SUMMARY

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

Scientific Writing in the form of a Thesis, Mei 8th 2025

Putri Ramadhania, Supervised by Dr. Ir. Dendy Adanta, S.Pd, M.T, xxxi + 95
Pages, 16 Tables, 58 Figures, 12 Apendices

Indonesia currently relies heavily on fossil fuel-based energy sources, which are limited in availability. According to a report by the Ministry of Energy and Mineral Resources (ESDM) in 2022, the national electrification ratio has reached 99.63%, meaning that 0.37% of households in Indonesia still lack access to electricity services. The country's abundant water resources have the potential to be utilized as an alternative energy source. The crossflow turbine is considered due to several characteristics such as simple turbine construction, portability, and low fabrication costs. This type of turbine can operate at low flow rates and heads, making it suitable for implementation in areas with small water resources. However, because it operates under low head and flow conditions, engineering modifications are required—especially on the upper blade section—to improve lift force. Therefore, this study examines the performance of a pico-scale crossflow turbine with a convex centre edge blade, using variations in blade thickness ratios of 0.3, 0.5, 1, and 1.5 to determine their effect on the efficiency of water-to-electricity energy conversion.

The method used in this study is Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation. This method was chosen because it can analyze fluid behavior with high accuracy and at a low cost. SOLIDWORKS software was used to design the 3D geometry of the turbine, while ANSYS Fluent was used for fluid flow simulations. Parameters studied included torque, mechanical power, and discharge. Boundary conditions were based on previous research, such as rotational speeds of 100–600 rpm, a blade count of 26, and an angle of attack of 22°. The results show that the water turbine with an L/H ratio of 0.5 at 600 rpm performs better compared to other

blade thickness ratios. The efficiency achieved was 81.80% (P_m 210.07 W and torque 3.34 Nm). The L/H 0.3 at 700 rpm produced an efficiency of 79.78% (P_m 191.79 W and torque 2.61 Nm), L/H 1 at 600 rpm achieved an efficiency of 79.51% (P_m 198.10 W and torque 3.15 Nm), and L/H 1.5 at 600 rpm had the lowest efficiency of 56.31% (P_m 159.59 W and torque 2.54 Nm).

Furthermore, the simulation's pressure visualization revealed a pressure difference between the upper and lower blades that generated lift force. The velocity flow visualization showed minimal flow separation on the blade profile resembling an airfoil, particularly at L/H 0.5. The conclusion of this study is that the centre edge crossflow turbine with an L/H ratio of 0.5 at 600 rpm offers more optimal performance compared to the other three L/H variations. CFD simulation proved effective in analyzing water flow characteristics and the impact of blade thickness variation on turbine power efficiency. Future research is recommended to compare the simulation results with experimental data by fabricating the designed model and collecting data under the same boundary conditions. This research is expected to serve as a reference for developing pico-scale water turbine technology as a renewable energy solution in Indonesia.

Keywords : crossflow turbine centre edge, blade turbine, CFD, lift force

Literature : 34

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
SKRIPSI.....	Error! Bookmark not defined.vii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	xv
RINGKASAN	xvii
SUMMARY	xix
DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR GAMBAR	xxiii
DAFTAR TABEL	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Studi Literatur	7
2.2 Turbin Air	9
2.2.1 Definisi Turbin Air	9
2.2.2 Klasifikasi Turbin Air.....	9
2.3 Rasio L/H pada Sudu	11
2.3.1 Gaya Aerodinamis	12
2.4 Daya Potensial Air	13
2.5 Hukum Bernoulli	13
2.6 Segitiga Kecepatan	14
2.6.1 Tahap Pertama	15
2.6.2 Tahap Kedua	19

2.7	Analisis Perubahan Momentum	20
2.8	Analisis Geometri <i>Runner</i>	22
2.9	Geometri <i>Nozzle</i>	23
2.10	<i>Computational Fluid Dynamic</i> (CFD)	25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1	Diagram Alir Perancangan Turbin Crossflow	27
3.2	Metode Analitik.....	28
3.3	Metode Simulasi.....	29
3.4	Persamaan Garis Sudu.....	31
3.4.1	Geometri Turbin <i>Crossflow</i>	33
3.5	<i>Convert</i> Geometri.....	35
3.6	Mesh.....	37
3.6.1	Analisis Uji Mesh Independensi	37
3.7	<i>Set-up</i> Simulasi.....	38
3.8	Fluid Flow (Fluent)	47
3.9	Target penelitian.....	48
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		49
4.1	Hasil	49
4.1.1	Hasil analitik	49
4.1.2	Hasil simulasi	52
4.2	Diskusi.....	68
4.3	Visualisasi Hasil Simulasi	70
4.3.1	Visualisasi Kontur Tekanan	70
4.3.2	Visualisasi Kecepatan Aliran	72
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		77
5.1	Kesimpulan.....	77
5.2	Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA.....		79
LAMPIRAN		83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema gaya pada sudu	13
Gambar 2. 2 Skematik segitiga kecepatan	15
Gambar 2. 3 Sudut α	16
Gambar 2. 4 Kecepatan keliling.....	16
Gambar 2. 5 Kecepatan relatif W_1 dan sudut β_1	17
Gambar 2. 6 Kecepatan air keluar sudu tahap pertama.....	18
Gambar 2. 7 Kecepatan air masuk sudu tahap kedua.....	19
Gambar 2. 8 Kecepatan air keluar sudu tahap kedua	20
Gambar 2. 9 Skematik sisi pada sudu	22
Gambar 2. 10 Skematik sudut pada sudu	23
Gambar 2. 11 <i>Discharge angle</i> pada <i>nozzle</i>	24
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	27
Gambar 3. 2 Metode simulasi	29
Gambar 3. 3 Persamaan garis rasio 0,3	29
Gambar 3. 4 Persamaan garis rasio 0,5	32
Gambar 3. 5 Persamaan garis rasio 1	32
Gambar 3. 6 Persamaan garis rasio 1,5	32
Gambar 3. 7 (a) Rasio 0,5 (b) Rasio 1 (c) Rasio 1,5.....	33
Gambar 3. 8 <i>Runner</i>	34
Gambar 3. 9 3D desain turbin <i>crossflow</i>	35
Gambar 3. 10 Skematik kondisi batas geometri simulasi	36
Gambar 3. 11 <i>Cell zone conditions</i>	36
Gambar 3. 12 Tamplilan <i>fluent launcher</i>	39
Gambar 3. 13 <i>General setting</i>	40
Gambar 3. 14 Pendefinisian fasa.....	40
Gambar 3. 15 Pembagian kondisi fasa	41
Gambar 3. 16 Jenis Turbulensi	41
Gambar 3. 17 Mendefinisikan kecepatan putar <i>rotating zone</i>	42
Gambar 3. 18 Kondisi batas <i>inlet</i>	43

Gambar 3. 19 Kondisi batas <i>blade others</i>	44
Gambar 3. 20 Kondisi batas <i>single blade</i>	44
Gambar 3. 21 Kondisi batas <i>outlet</i>	45
Gambar 3. 22 Kondisi <i>interface</i>	45
Gambar 3. 23 Proses <i>standard instalization</i>	46
Gambar 3. 24 Menentukan jumlah iterasi	46
Gambar 3. 25 Menu Workbench	47
Gambar 4. 1 Distribusi <i>Mesh</i>	53
Gambar 4. 2 Hubungan antara torsi terhadap putaran pada <i>head</i> 3m	54
Gambar 4. 3 Hubungan antara torsi terhadap putaran pada <i>head</i> 4m	55
Gambar 4. 4 Hubungan antara torsi terhadap putaran pada <i>head</i> 5m	56
Gambar 4. 5 Hubungan antara debit terhadap putaran pada <i>head</i> 3m	58
Gambar 4. 6 Hubungan antara debit terhadap putaran pada <i>head</i> 4m	59
Gambar 4. 7 Hubungan antara debit terhadap putaran pada <i>head</i> 5m	60
Gambar 4. 8 Hubungan antara P_m terhadap putaran kondisi <i>head</i> 3m	61
Gambar 4. 9 Hubungan antara P_m terhadap putaran kondisi <i>head</i> 4m	62
Gambar 4. 10 Hubungan antara P_m terhadap putaran kondisi <i>head</i> 5m	63
Gambar 4. 11 Hubungan antara efisiensi terhadap putaran kondisi <i>head</i> 3m	65
Gambar 4. 12 Hubungan antara efisiensi terhadap putaran kondisi <i>head</i> 4m	66
Gambar 4. 13 Hubungan antara efisiensi terhadap putaran kondisi <i>head</i> 5m	67
Gambar 4. 14 Perbandingan hasil efisiensi	69
Gambar 4. 15 Visualisasi kontur tekanan pada rasio L/H 0,5 pada <i>head</i> 3m.....	70
Gambar 4. 16 Visualisasi tekanan pada <i>head</i> 3m (a) L/H 0,3 (b) L/H 0,5 (c) L/H 1 dan (d) L/H 1,5	71
Gambar 4. 17 Visualisasi kecepatan.....	72
Gambar 4. 18 Aliran air pada rasio 0,3.....	73
Gambar 4. 19 Aliran air pada rasio 0,5.....	73
Gambar 4. 20 Aliran air pada rasio 1.....	74
Gambar 4. 21 Aliran air pada rasio 1,5.....	75
Gambar 4. 22 Aliran kecepatan aliran <i>head</i> 3m (a) L/H 0,3 ; (b) L/H 0,5 ; (c) L/H 1 ; L/H 1,5	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis pembangkit listrik berdasarkan kapasitas	11
Tabel 3. 1 Geometri turbin <i>crossflow</i> hasil perancangan	34
Tabel 3. 2 <i>Boundary condition</i> simulasi CFD.....	47
Tabel 3. 3 Target penelitian	48
Tabel 4. 1Tabel hasil perhitungan.....	51
Tabel 4. 2 Perhitungan <i>Grid Convergency Indeks</i> (GCI).....	52
Tabel 4. 3Tabel hasil <i>timestep independence test</i>	53
Tabel 4. 4 Data torsi hasil simulasi kondisi <i>head</i> 3m	54
Tabel 4. 5 Data torsi hasil simulasi kondisi <i>head</i> 4m	55
Tabel 4. 6 Data torsi hasil simulasi kondisi <i>head</i> 5m	56
Tabel 4. 7 Data debit (Q) hasil simulasi kondisi <i>head</i> 3m	57
Tabel 4. 8 Data debit (Q) hasil simulasi kondisi <i>head</i> 4m	58
Tabel 4. 9 Data debit (Q) hasil simulasi kondisi <i>head</i> 5m	59
Tabel 4. 10 Data daya mekanis hasil simulasi pada <i>head</i> 3m.....	61
Tabel 4. 11 Data daya mekanis hasil simulasi pada <i>head</i> 4m.....	62
Tabel 4. 12 Data daya mekanis hasil simulasi pada <i>head</i> 5m.....	63
Tabel 4. 13 Data efisiensi hasil simulasi kondisi <i>head</i> 3m	64
Tabel 4. 14 Data efisiensi hasil simulasi kondisi <i>head</i> 4m	66
Tabel 4. 15 Data efisiensi hasil simulasi kondisi <i>head</i> 5m	67
Tabel 4. 16 Hasil ANOVA <i>two way without replication</i>	69

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia saat ini mendominasi penggunaan energi yang bergantung pada sumber energi fosil seperti minyak bumi dan batu bara yang termasuk energi tidak terbarukan (Afriyanti dkk., 2020). Energi tidak terbarukan sendiri adalah energi yang ketersediaannya terbatas di alam sehingga dapat habis apabila digunakan secara terus-menerus. Salah satu pengaplikasian bahan bakar fosil yang digunakan di setiap kegiatan sehari-hari adalah pada sebagian besar pembangkit listrik di Indonesia (Afriyanti dkk., 2020). Dengan kondisi konsumsi energi ke-5 di kawasan Asia (International Energy Agency, 2022) dan ke-11 di dunia (BP Statistical, 2022) yang disebabkan oleh gaya hidup yang meningkat, serta daya saing ekonomi, optimalisasi energi dibutuhkan untuk menjawab ancaman tersebut. Pada faktanya, menurut laporan Kementerian ESDM pada tahun 2025, saat ini masih ada 1,3 juta rumah tangga di Indonesia yang belum menikmati akses listrik dari PLN yang tersebar di 6.700 dusun di 340 kecamatan (Menteri Energi Sumber Daya Mineral, 2025) Hal tersebut menggambarkan kebutuhan energi yang masih di angka yang tinggi serta adanya daerah yang tidak mendapatkan listrik menjadi tantangan Indonesia saat ini

Indonesia memiliki kekayaan energi baru terbarukan yang sangat melimpah, salah satunya air. Dalam usaha penyediaan tenaga listrik, menurut Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2022, Indonesia telah melakukan pengadaan tenaga listrik bersistem energi terbarukan yang paling besar bersumber dari tenaga air yaitu sebesar 6,4 % dari total kapasitas pembangkit listrik di Indonesia atau sekitar 6.126 MW dari total kapasitas terpasang 95.590 MW (Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam, 2022). Nilai tersebut masih tergolong kecil apabila dibandingkan dengan potensi sumber daya air di Indonesia sebesar 3,9 triliun m³ (Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2024)

Upaya pemanfaatan potensi air dapat diimplementasikan di berbagai teknologi, salah satunya sebagai penggerak turbin. Turbin air merupakan salah satu jenis mesin fluida dari kelompok mesin bertenaga yang dapat merubah energi fluida menjadi energi mekanis berupa putaran poros turbin, kemudian energi mekanis digunakan untuk memutar generator dengan menggunakan air sebagai fluida kerja (Rizky Barus and Kurniawan, 2022). Selama ini pengaplikasian turbin air memanfaatkan sumber air berupa sungai dengan aliran sungai yang kontinu dan debit air yang cukup besar serta air terjun yang memiliki air jatuh yang tinggi. Namun, pada faktanya tidak seluruh daerah di Indonesia berdaerah tinggi sehingga untuk memberikan solusi pada permasalahan di wilayah rendah belum dapat terjawab. Pengembangan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dengan *low-head* dan *low flow* skala pikohidro dapat menjadi solusi.

Pikohidro merupakan jenis pembangkit listrik tenaga air yang menghasilkan listrik maksimal 5kW dengan menggunakan tenaga air sebagai sumber penggerak turbin (Williams and Porter, 2006). Implementasi turbin *crossflow* memiliki relevansi tinggi dalam pengembangan energi terbarukan terutama untuk aplikasi pikohidro karena kemampuan beroperasi pada debit ($20 \text{ l/s} - 10\text{m}^3/\text{s}$) dan tinggi jatuh ($1\text{m} - 200\text{m}$) yang tergolong rendah dengan tetap mencapai efisiensi yang baik (Yanda dkk., 2021). Aplikasi ini sangat penting di daerah perdesaan atau terpencil di mana sumber daya air skala kecil seperti sungai kecil, saluran irigasi, atau selokan yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik skala piko. Turbin *crossflow* merupakan salah satu jenis turbin impuls yang bekerja dengan mengubah seluruh energi air yang terdiri dari energi potensial, tekanan, dan kecepatan menjadi energi kinetik untuk memutar turbin dan menghasilkan energi putar (Afandi, 2022). Pemanfaatan energi air pada turbin ini melalui dua tahap, yaitu pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu saat air masuk dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu pada air yang akan meninggalkan *runner* membuat turbin *crossflow* dapat mencapai efisiensi hingga 80% (Mafruddin and Marsuki, 2017). Selain itu, implementasi yang mudah, kesederhanaan desain, konstruksi serta biaya investasi yang rendah menjadi kelebihan dari implementasi turbin *crossflow* (Budiarto dkk., 2016).

Dalam pengoptimalan implementasi turbin *crossflow*, dapat dilakukan beberapa analisa mulai dari geometri hingga sumber aliran. Telah terdapat berbagai

penelitian yang membahas mengenai pengaruh ketebalan serta jumlah sudu dengan efisiensi turbin (Makarim dkk., 2019), membandingkan kinerja turbin melalui variasi sudut *nozzle* (Purwanto dkk., 2022), konfigurasi bentuk sudu untuk peningkatan efisiensi turbin *crossflow* (Adanta dkk., 2023) dan lain – lain. Pada penelitian ini, penulis akan membahas terkait hubungan rasio ketebalan sudu (L/H) dengan performansi turbin *crossflow* dalam segi daya dan efisiensi. Konstruksi bentuk sudu menjadi objek penelitian yang harus dikaji karena pengaruh bagian *upper* pada gaya angkat (*lift force*) yang berhubungan langsung dengan efisiensi konversi energi. Gaya angkat yang tidak memadai, membuat turbin cenderung mengalami kehilangan energi akibat terjadinya turbulensi dan gesekan. Untuk mengoptimalkan *upper* sudu tersebut, rentang nilai L/H divariasikan menjadi 4 variasi yaitu 0,3; 0,5; 1; dan 1,5. Keempat variasi tersebut diimplementasikan ke sudu cembung *centre edge* (cembung simetris) yang dinilai mampu mengurangi hambatan (*drag force*) dan menghasilkan aliran yang stabil dan terkendali serta distribusi tekanan yang lebih merata pada permukaan sudu (Yakubu dkk., 2021). Sudu cembung ini merupakan jenis sudu turbin yang memiliki profil permukaan melengkung ke arah luar (cembung) dan terletak pada bagian tengah dari rentang panjang sudu. Secara geometri, sudu ini dirancang dengan bentuk menyerupai setengah lingkaran. Sudu cembung simetris dianggap memiliki performa yang lebih produktif dibandingkan sudu *curvature* yaitu memiliki kecepatan spesifik 2,87 - 6,38 rad dibandingkan 3,91 – 6,76 rad pada sudu cekung (Adanta dkk., 2023).

Dengan memanfaatkan perangkat lunak SolidWorks 2022, penulis merancang turbin *crossflow* sudu cembung *centre edge* berdasarkan persamaan serta perhitungan analitik dalam menentukan dimensi sudu *upper* turbin. Penentuan formulasi ini akan menjadi acuan dalam menentukan desain dari bentuk serta dimensi sudu turbin yang kemudian akan dilakukan analisa terkait daya serta efisiensi yang paling optimal melalui simulasi *computational fluid dynamics* (CFD).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah pada penelitian ini yaitu mengetahui rasio L/H tubrin *crossflow* dengan konfigurasi sudu cembung tengah skala piko menggunakan metode CFD.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian tugas sarjana ini membatasi topik penelitian agar tidak melampaui ruang lingkup kajian. Ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Desain geometri menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2022
2. Simulasi dijalankan dalam 2D menggunakan perangkat lunak ANSYS 2022
3. Pendekatan transient menggunakan *moving mesh*
4. Pendekatan dua phasa menggunakan *volume of fluid* (VoF) air (*water*) dan udara (*air*)
5. Kondisi dalam simulasi menggunakan pendekatan *pressure-based* dengan asumsi densitas fluida kerja tidak berubah terhadap waktu
6. Fluida yang bekerja adalah air dengan $\rho = 998.2 \frac{kg}{m^3}$
7. Tekanan pada *inlet* sebesar (30 kPa)
8. Simulasi dijalankan pada turbin di 300 – 700 rpm
9. Meshing dengan pilihan 4 kategori : *coarse, medium, fine, finest*
10. Turbin *crossflow* skala pikohidro (<5kW)
11. Simulasi diasumsikan dalam kondisi *transient* dengan *timestep size* menggunakan bilangan courant 0.01, 0.001, 0.005

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas sarjana ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh persamaan garis dalam menentukan geometri *upper* sudu turbin *crossflow*
2. Menginvestigasi pengaruh rasio ketebalan sudu turbin terhadap performa turbin *crossflow*

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan, penelitian ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman mengenai turbin *crossflow* sebagai salah satu bentuk implementasi dari energi baru terbarukan yang dapat diterapkan di daerah terpencil dan perairan di Indonesia
2. Mengoptimalkan desain dan performansi turbin *crossflow* melalui metode *computational fluid dynamic* (CFD)
3. Menjadi referensi untuk perancangan eksperimental pada turbin *crossflow* skala piko

DAFTAR PUSTAKA

- 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>
- Afandi, A.R. (2022). Analisa Pengaruh Jumlah Sudu dan Laju Aliran Terhadap Performa Turbin Kaplan. Skripsi. Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
- Afriyanti, Y., Sasana, H., Jalunggono, G., Ekonomi, F., Tidar, U. (2020). Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Konsumsi Energi Terbarukan Di Indonesia. *DINAMIC: Directory Journal of Economic*, 2 (3):760–884
- BP Statistical. (2022). Review of World Energy 2022 [WWW Document]. URL <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics.html>
- Budi Harja, H., Abdurrahim, H., Yoewono, S., Riyanto, H. (2018). Penentuan Dimensi Sudu Turbin dan Sudut Kemiringan Poros Turbin pada Turbin Ular Archimedes. *Metal Indonesia*, 36 (1): 26. <https://doi.org/10.32423/jmi.2014.v36.26-33>
- Budiarso, Adanta, D., Warjito. (2016). Kajian Turbin Air Piko Hidro Daerah Terpencil Di Indonesia. *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV (Snttm Xv)*: 5–7.
- Cengel, Y.A., Cimbala, J.M. (2006). *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications*. New York: McGraw-Hill
- Chichkhede, S., Verma, V., Gaba, V.K., Bhowmick, S. (2016). A Simulation Based Study of Flow Velocities across Cross Flow Turbine at Different Nozzle Openings. *Procedia Technology*, 25 974–981. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.190>
- 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/https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100762>
- Indra Wijaya, Y.(2024). Analisis Pengaruh Variasi Sudut Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Air Kaplan. Skripsi. Universitas Islam Kalimantan MAB

- International Energy Agency. (2022). Southeast Asia Energy Outlook 2022 [WWW Document]. URL <https://www.iea.org/reports/southeast-asia-energy-outlook-2022>
- Kaniecki, M., Steller, J. (2003). Flow analysis through a reaction cross-flow turbine, in: Proceedings of Conference on Modelling Fluid Flow CMFF. pp. 2003–2006.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Alam. (2022). Statistik Ketenagalistrikan. Statistik Ketenagalistrikan Pln, 36 1–114.
- Launder, B.E., Spalding, D.B. (1972). Lectures in Mathematical Models of Turbulence. Academic Press.
- Mafruddin, M., Marsuki, M. (2017). Pengaruh Buka Guide Vane Terhadap Kinerja Turbin Pikohidro Tipe Cross-Flow. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 6 (1): 31–37. <https://doi.org/10.24127/trb.v6i1.464>
- Makarim, D.A., Tjahjana, D.D.D.P., Cahyono, S.I., Mazlan, S.A. (2019). Performance Investigation of The *Crossflow* Water Turbine by Using CFD. AIP Conference Proceedings, 2097 (April). <https://doi.org/10.1063/1.5098258>
- Maulana, T., Adiwibowo, P.H. (2019). Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Lurus Dengan Luas Optimum Sudu. *Jurnal Teknik Mesin*, 7 (3): 109–120.
- Mockmore, C. A., & Merryfield, F.(1949). The Banki Water Turbine, Engineerin. ed. Oregon State System of Higher Education, Oregon State College.
- Munson, B. R., Okiishi, T. H., Huebsch, W. W., dan Rothmayer, A.P. (2013). Fluid Mechanics.
- Nielsen, C. (2014). A Numerical Investigation of Flow Profile and Performance of a Low Cost *Crossflow* Turbine. *International Journal of Energy and Environment*, 5 (3): 275–296.
- Ningtyas, N.I.W., Adiwibowo, P.H. (2020). Uji Eksperimental Pengembangan Sudut Basin Cone Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex. *Jurnal Teknik Mesin*, 08 (01): 37–44.
- Purwanto, Budiono, Hermawan, Prabowoputra, D.M. (2022). Simulation Study on Cross Flow Turbine Performance with an *Angle* of 20° to the Variation of the Number of Blades. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 11 (1): 31–36. <https://doi.org/10.18178/ijmerr.11.1.31-36>

- Rizky Barus, M., Kurniawan, F. (2022). Respon Kinerja Turbin Pelton Dengan Diameter Nozle Aliran Tekanan Air Cetak. *Buletin Utama Teknik*, 17 (2): 1410–4520.
- Sammartano, V., Aricò, C., Carravetta, A., Fecarotta, O., 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>
- Saputra, I. (2023). Investigasi Pengaruh Jumlah Sudu Turbin *Crossflow* Skala Piko Terhadap Efisiensi Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD). Skripsi. Universitas Sriwijaya
- Siswantara, A.I., Budiarmo, Prakoso, A.P., Gunadi, G.G.R., Warjito, Adanta, D. (2018). Assessment of Turbulence Model for Cross-flow Pico Hydro Turbine Numerical Simulation. *CFD Letters*, 10 (2): 38–48.
- Syadhefi, M.W., 2023. Investigasi Incoming Jet *Angle* terhadap Performa Turbin *Crossflow* Skala Piko Menggunakan Metode CFD. Universitas Sriwijaya.
- Trihadi, M.R. (2024). Perbandingan Daya Mekanik dengan Efisiensi terhadap Putaran Turbin *Crossflow* Sudu Cembung di Trailing Edge dengan Kurvatur Skala Piko Menggunakan Metode CFD. Universitas Sriwijaya.
- Warjito, Budiarmo, Adanta, D. (2021). Computational analysis of flow field on cross-flow hydro turbines. *Engineering Letters*, 29 (1): 87–94.
- Warjito, W., Budiarmo, B., Adanta, D. (2021). Computational Analysis of Flow Field on *Crossflow* Hydro Turbines. *Engineering Letters*, 29 102–208.
- Williams, A., Porter, S. (2006). Comparison of Hydropower Options for Developing Countries with Regard to The Environmental, Social and Economic Aspects.
- Yakubu, Y., Anafi, F.O., Pam, G.Y., Folayan, C.O., Lee, Y.-H. (2021). Design Optimization of a Cross-Flow Micro Hydropower Turbine Using CFD Analysis. *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)* (7): 402–413.
- 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.
- Yani, A., Mihdar, M., Erianto, R. (2017). Pengaruh Variasi Bentuk Sudu Terhadap Kinerja Turbin Air Kinetik (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah

Pedesaan). Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 5 (1): 1–6.
<https://doi.org/10.24127/trb.v5i1.11>