

SKRIPSI

**INVESTIGASI PENGARUH JUMLAH SUDU
TURBIN *CROSSFLOW* SKALA PIKO TERHADAP
EFISIENSI MENGGUNAKAN METODE
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)**



**ILHAM SAPUTRA
03051281924053**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023**

SKRIPSI

**INVESTIGASI PENGARUH JUMLAH SUDU
TURBIN *CROSSFLOW* SKALA PIKO TERHADAP
EFISIENSI MENGGUNAKAN METODE
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD).**

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



**OLEH
ILHAM SAPUTRA
03051281924053**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

INVESTIGASI PENGARUH JUMLAH SUDU TURBIN *CROSSFLOW* SKALA PIKO TERHADAP EFISIENSI MENGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)

SKRIPSI


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

Oleh:
ILHAM SAPUTRA
03051281924053

Palembang, Juli 2023

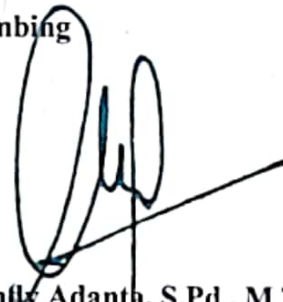
Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing

Mengetahui,

 Ketua Jurusan Teknik Mesin



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



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

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. : 033 / TM / A / 2023
Diterima Tanggal : 4-8-2023
Paraf : 25

SKRIPSI

NAMA : ILHAM SAPUTRA
NIM : 03051281924053
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : INVESTIGASI PENGARUH JUMLAH
SUDU TURBIN *CROSSFLOW* SKALA PIKO
TERHADAP EFISIENSI MENGGUNAKAN
METODE *COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMIC* (CFD)
DIBUAT TANGGAL : 7 SEPTEMBER 2022
SELESAI TANGGAL : 27 JUNI 2023

Palembang, Juli 2023

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

Diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing Skripsi



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Investigasi Pengaruh Jumlah Sudu Turbin *Crossflow* Skala Piko Terhadap Efisiensi Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics* (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

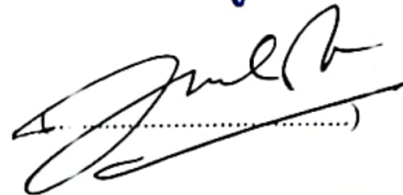
Ketua :

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



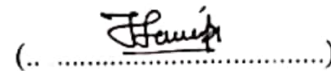
Sekretaris :

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



Anggota :

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



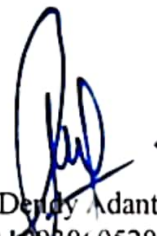
Palembang, 3 Juli 2023

Mengetahui,
& Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

Memeriksa dan Menyetujui,
Pembimbing



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

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan proposal penelitian yang berjudul “ Investigasi Pengaruh Jumlah Sudu Turbin *Crossflow* Skala Piko Terhadap Efisiensi Dengan Metode *Computational fluid dynamics* (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 proposal tugas akhir ini kepada :

1. Elson Fauzi dan Rita selaku orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materiil.
2. Agung Kurniawan dan M. Adi Setiawan, S.T selaku saudara kandung penulis yang telah memotivasi dalam penyusunan tugas akhir.
3. Dr. Dendy Adanta, S.Pd ., M.T, IPP selaku dosen pembimbing
4. Ellyanie, S.T ., M.T. 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. Oleh karena itu, kritik dan saran yang konstruktif sangat diharapkan untuk memberikan pengarahan 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, 2023


Ilham Saputra

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ilham Saputra

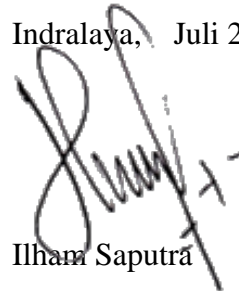
NIM : 03051281924053

Judul : Investigasi Pengaruh Jumlah Sudu Turbin *Crossflow* Skala Piko Terhadap Efisiensi Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics (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



Ilham Saputra

NIM. 03051281924053

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ilham Saputra

NIM : 03051281924053

Judul : Investigasi Pengaruh Jumlah Sudu Turbin *Crossflow* Skala Piko Terhadap Efisiensi Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (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



Ilham Saputra

NIM. 03051281924053

RINGKASAN

INVESTIGASI PENGARUH JUMLAH SUDU TURBIN *CROSSFLOW* SKALA PIKO TERHADAP EFISIENSI MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD).

Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi, Juli 2023

Ilham Saputra : dibimbing oleh Dr. Dendy Adanta S.Pd., M.T., IPP
xxvii + 90 halaman, 10 Tabel, 36 Gambar, 5 Lampiran.

RINGKASAN

Pemanfaatan energi baru terbarukan khususnya energi air sebagai salah satu alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) skala mikro mempunyai peran penting pada pembangunan ekonomi di daerah pedesaan terpencil Pemanfaatan energi air pada skala piko membutuhkan turbin kecil yang menggabungkan efisiensi dan ekonomi. Turbin *crossflow* merupakan turbin yang tepat untuk digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga air skala piko khususnya di daerah pedesaan terpencil di Indonesia karena beberapa kelebihan yang dimilikinya, yaitu konstruksi yang sederhana, performa yang baik diberbagai variasi aliran, kesesuaiannya untuk ditempatkan pada kondisi *head* yang rendah. Salah satu parameter yang mempengaruhi performa dari turbin *crossflow* adalah jumlah sudu penyusun *runner*. Oleh karena itu penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh jumlah sudu turbin *crossflow* terhadap daya mekanis dan efisiensi yang dihasilkan. Pada penelitian ini turbin *crossflow* dirancang menggunakan pendekatan segitiga kecepatan serta jumlah sudu turbin *crossflow* divariasikan sebanyak 16, 18, 22, 24, 26, dan 30 buah. Kemudian untuk menginvestigasi pengaruh jumlah sudu penyusun *runner* dilakukan simulasi 2D menggunakan ANSYS FLUENT 18.1. Dari hasil simulasi didapatkan jumlah sudu optimum untuk *runner* turbin *crossflow* hasil

perancangan adalah sebanyak 26 buah. Berdasarkan hasil simulasi pada *runner* dengan jumlah sudu 26 buah efisiensi maksimum yang dihasilkan turbin adalah sebesar 76%.

Kata Kunci : *computational fluid dynamic*, turbin *crossflow*, efisiensi, jumlah sudu.

Kepustakaan : 26 (1949-2022)

SUMMARY

INVESTIGATION THE INFLUENCE OF BLADES NUMBER TO EFFICIENCY ON PICO SCALE *CROSSFLOW* TURBINE USING *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD) METHOD.

Scientific Writing in the form of Thesis, July 2023

Ilham Saputra, supervised by Dr. Dendy Adanta S.Pd., M.T., IPP
xxvii + 90 Pages, 10 Tables, 36 Figures, 5 Appendices.

SUMMARY

The utilization of renewable energy especially water energy as an alternative to meet energy needs in Indonesia. Micro-scale hydropower plants play an important role in economic development in remote and rural areas. Utilization of water energy on a pico scale requires a small turbine that combines efficiency and economic. *Crossflow* turbine is the appropriate turbine to be used in pico-scale hydropower system especially in remote and rural areas in Indonesia due to its several advantages, simple construction, good performance in various flow variations, suitability to be placed in low *head* conditions One of the parameters that affect the performance of a crossflow turbine is the number of blades that consist in the *runner*. Therefore, the purpose of this study is to analyze the effect of the number of *crossflow* turbine blades to mechanical power and efficiency that generated by the turbine. In this study, *crossflow* turbine was designed using velocity triangle approach and the number of *crossflow* turbine blades was varied by 16, 18, 22, 24, 26, and 30 blades. Then, 2D simulation was carried out using the ANSYS FLUENT 18.1 to investigate the effect of the number of blades in the *runner*. According to the simulation result, the optimum number of blades for the *crossflow* turbine is 26 blades. Based on the simulation result, the *runner* with 26 blades has the maximum efficiency which is 76%.

xx

Keywords : computational fluid dynamics, performance, number of blades.

Citations : 26 (1949-2022)

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 ISI	xxi
DAFTAR GAMBAR	xxiii
DAFTAR TABEL	xxv
DAFTAR LAMPIRAN	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 LANDASAN TEORI	5
2.1 Studi Literatur.....	5
2.2 Turbin Air	7
2.2.1 Definisi Turbin Air	7
2.3 Energi Air	8
2.4 Analisis Segitiga Kecepatan	8
2.4.1 Tahap Pertama	9
2.4.2 Tahap Kedua.....	13
2.5 Analisis Perubahan Momentum.....	14
2.6 Analisis Geometri <i>Runner</i>	16

2.7	Geometri Nozzel	18
BAB 3	METODOLOGI	21
3.1	Diagram Alir Perancangan Turbin <i>Crossflow</i>	21
3.2	Metode Analitik	22
3.2.1	Metode <i>Computational fluid dynamics (CFD)</i>	24
3.2.2	Geometri Turbin <i>Crossflow</i>	26
3.2.3	Boundary Condition.....	29
3.2.4	Set-up Simulasi	32
3.2.5	Analisis Uji <i>Mesh</i> Independensi	32
BAB 4	HASIL DAN DISKUSI.....	35
4.1	Hasil	35
4.1.1	Hasil Analitik.....	35
4.1.2	Hasil Simulasi	44
4.2	Diskusi	55
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	59
DAFTAR	PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Skematik segitiga kecepatan.....	9
Gambar 2. 2 Kecepatan absolut air masuk nozel	10
Gambar 2. 3 Sudut β_1	11
Gambar 2. 4 Sudut β_2 dan sudut α_2	12
Gambar 2. 5 Sudut β_3 dan sudut α_3	13
Gambar 2. 6 Sudut α_4 dan sudut α_4'	14
Gambar 2. 7 Volume kontrol analisis perubahan momentum.....	15
Gambar 2. 8 Skematik sisi pada sudu.....	17
Gambar 2. 9 Skematik sudu pada sudu	17
Gambar 2. 10 Skematik sisi dan sudut nozzel.....	18
Gambar 3. 1 Diagram alir perancangan turbin <i>crossflow</i>	21
Gambar 3. 2 Diagram alir prosedur simulasi CFD.....	23
Gambar 3. 3 Jarak antar sudu <i>runner</i>	27
Gambar 3. 4 <i>Runner</i>	28
Gambar 3. 5 Tampak samping turbin <i>crossflow</i>	28
Gambar 3. 6 Turbin <i>crossflow</i> hasil perancangan	29
Gambar 3. 7 Skematik kondisi batas geometri simulasi	31
Gambar 4. 1 Segitiga kecepatan pada tahap pertama	35
Gambar 4. 2 Segitiga kecepatan pada tahap kedua	36
Gambar 4. 3 Hubungan antara sudut β_1 terhadap ΔC_x	39
Gambar 4. 4 Pengaruh β_1 terhadap P_{mech}	40
Gambar 4. 5 Pengaruh β_1 terhadap Torsi.....	42
Gambar 4. 6 Hubungan $U_1/C_{1,x}$ terhadap efisiensi	43
Gambar 4. 7 Distribusi <i>mesh</i>	44
Gambar 4. 8 Hubungan antara n (rpm) terhadap T (Nm).....	45
Gambar 4. 9 Hubungan antara n (rpm) terhadap P_{mech}	47
Gambar 4. 10 Hubungan antara n (rpm) terhadap efisiensi	50
Gambar 4. 11 Hubungan antara <i>specific speeds</i> terhadap efisiensi.....	52

Gambar 4. 12 Hubungan antara jumlah sudu, efisiensi, dan <i>specific speed</i>	53
Gambar 4. 13 Sudu aktif pada <i>runner 16 blades</i>	55
Gambar 4. 14 Sudu aktif pada <i>runner 24 blades</i>	55
Gambar 4. 15 Sudu aktif pada <i>runner 26 blades</i>	56
Gambar 4. 16 Aliran air pada <i>runner 30 blades</i>	56
Gambar 4. 17 Visualisasi kecepatan aliran.....	57
Gambar 4. 18 Visualisasi kontur tekanan.....	57
Gambar 4. 19 Perbandingan efisiensi hasil perhitungan analitik dan simulasi	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Data Geometri dan Efisiensi	6
Tabel 3. 1	Geometri Turbin <i>Crossflow</i> Hasil Perancangan.....	27
Tabel 3. 2	<i>Boundary – condition</i> simulasi CFD.....	31
Tabel 4. 1	Data perhitungan analitik ΔC_x	38
Tabel 4. 2	Data Perhitungan Analitik Daya Mekanis.....	40
Tabel 4. 3	Data perhitungan analitik torsi	41
Tabel 4. 4	Data perhitungan analitik efisiensi.....	43
Tabel 4. 5	Hasil Perhitungan <i>Grid Convergency Index</i> (GCI).....	44
Tabel 4. 6	Data Hasil Simulasi 16 <i>blades</i>	46
Tabel 4. 7	Daya Mekanis Turbin 16 <i>blades</i>	48
Tabel 4. 8	Efisiensi Turbin 16 <i>blades</i>	49
Tabel 4. 9	Specific Speeds Turbin 16 <i>blades</i>	52
Tabel 4. 10	Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Menggunakan <i>Multiple Regression Polynomial</i> Orde 2	54

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Analitik Perancangan Turbin <i>Crossflow</i>	65
Lampiran 2 Data Hasil Simulasi	70
Lampiran 3 Pengolahan Data Hasil Simulasi	71
Lampiran 4 Gambar Teknik Geometri <i>Runner</i> Simulasi	81
Lampiran 5 Visualisasi Kontur Aliran	81

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketergantungan pada sumber energi konvensional seperti batu bara dan minyak bumi dalam upaya pemenuhan kebutuhan energi memberikan banyak dampak yang buruk bagi lingkungan. Pencemaran lingkungan inilah yang mendorong transisi energi menggunakan energi baru terbarukan dalam upaya pemenuhan energi. Diantara beberapa sumber energi baru terbarukan, energi air memiliki keuntungan untuk dieksploitasi karena ekonomis serta ketersediaan teknologi untuk mengkonversinya. Selama beberapa dekade terakhir, negara – negara berkembang mulai menyadari bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) skala mikro mempunyai peran penting pada pembangunan ekonomi di daerah pedesaan terpencil, terutama daerah pegunungan (Gurung, dkk., 2012). Pemanfaatan energi air pada skala piko membutuhkan turbin kecil yang menggabungkan efisiensi dan ekonomi (Acharya, dkk., 2015a). Dengan kata lain, turbin yang digunakan harus memiliki efisiensi yang baik serta biaya fabrikasi yang rendah.

Turbin *crossflow* merupakan salah satu turbin impuls. Karakteristik utama dari turbin jenis ini adalah aliran air yang melewati *runner* sebanyak 2 (dua) kali yang menyebabkan proses konversi energi terjadi pada kedua tahap tersebut (Acharya, dkk., 2015a). Efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh turbin *crossflow* lebih rendah dibandingkan dengan turbin air lain seperti turbin Pelton, Francis, dan Kaplan (Costa Pereira dan Borges, 1996). Namun, turbin *crossflow* memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah konstruksi yang sederhana, performa yang baik diberbagai variasi aliran, kesesuaiannya untuk ditempatkan pada kondisi *head* yang rendah (Sammartano, dkk., 2013a) serta proses fabrikasi yang relatif lebih mudah (De Andrade, dkk., 2011). Selain itu, karena konstruksinya yang sederhana turbin *crossflow* memiliki biaya

manufaktur dan operasional yang relatif lebih rendah (Ranjan, dkk., 2019). Oleh karena itu turbin *crossflow* merupakan turbin yang tepat untuk digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga air skala piko khususnya didaerah pedesaan terpencil di Indonesia.

Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dapat membantu dalam memvisualisasikan kontur aliran serta parameter yang lainnya sebelum melakukan proses pembuatan. Proses ini membantu dalam mempelajari kondisi operasi turbin serta parameter dan fenomena yang mempengaruhi performa turbin. Sehingga turbin *crossflow* hasil perancangan memiliki performa yang lebih optimum.

Salah satu parameter yang mempengaruhi performa dari turbin *crossflow* adalah jumlah sudu penyusun *runner* (Totapally dan Aziz, 1994). Penelitian yang dilakukan oleh (Kumar Shukla, 2016) mengamati pengaruh jumlah sudu turbin *crossflow* terhadap efisiensi dan daya mekanis yang dihasilkan. Pada penelitiannya jumlah sudu penyusun *runner* divariasikan sebanyak 18, 22, 26, dan 30 buah kemudian didapatkan bahwa *runner* dengan jumlah sudu 22 buah memiliki efisiensi paling baik yaitu sekitar 76%. Penelitian serupa juga dilakukan oleh (Castañeda Ceballos, dkk., 2017) dengan memvariasikan jumlah sudu penyusun *runner* sebanyak 16 – 32 buah. Dari hasil penelitiannya didapatkan bahwa turbin mencapai performa maksimumnya saat memiliki 28 sudu penyusun *runner*. Kedua penulis diatas sependapat bahwa semakin banyak jumlah sudu penyusun *runner* maka efisiensi serta daya mekanis yang dihasilkan turbin *crossflow* akan meningkat. Namun, jika jumlah sudu penyusun *runner* ini melampaui kondisi optimumnya maka akan menyebabkan performa turbin *crossflow* menurun. Berdasarkan dua penelitian diatas, turbin menghasilkan performa yang optimum dengan jumlah sudu penyusun *runner* yang berbeda. Oleh karena itu, jumlah sudu optimum turbin *crossflow* berbeda – beda sesuai dengan geometri dari masing-masing turbin.

Oleh karena itu, pada penelitian ini jumlah sudu penyusun *runner* akan divariasikan yaitu 16, 18, 22, 24, 26, dan 30 buah untuk mendapatkan jumlah sudu turbin *crossflow* yang optimum sehingga turbin *crossflow* hasil perancangan akan memiliki performa yang optimum pula.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, studi ini bertujuan untuk merancang turbin air jenis *crossflow* skala piko. Proses perancangan turbin *crossflow* akan dilakukan menggunakan metode analitik yaitu dengan menggunakan pendekatan segitiga kecepatan untuk mendapatkan dimensi turbin. Selain itu, metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) juga digunakan untuk menganalisis pengaruh jumlah sudu penyusun *runner* terhadap efisiensi yang dihasilkan.

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. Di *inlet* memiliki tekanan statis sebesar 3 m (30 kPa);
6. Fluida kerja yang digunakan adalah air dengan $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$.
7. Jumlah sudu divariasikan sebanyak 16, 18, 22, 24, 26, dan 30 buah.
8. Tinggi jatuh air (*head*) yang digunakan 3 m
9. Jumlah *mesh* 50.000 - 250.000 *element*
10. Simulasi dilakukan pada kondisi 300-800 rpm.
11. Kondisi simulasi diasumsikan transien dengan *timestep size* sebesar 0.001s.

1.4 Tujuan Penelitian

Menganalisis pengaruh jumlah sudu turbin *crossflow* terhadap efisiensi yang dihasilkan turbin *crossflow*.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan, penelitian ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut :

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

- A. Fluent. (2013). ANSYS_Fluent_Theory_Guide.
- Acharya, N., Kim, C. G., Thapa, B., dan Lee, Y. H. (2015a). Numerical analysis and performance enhancement of a cross-flow hydro turbine. *Renewable Energy*, 80, 819–826. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.064>
- Acharya, N., Kim, C. G., Thapa, B., dan Lee, Y. H. (2015b). Numerical analysis and performance enhancement of a cross-flow hydro turbine. *Renewable Energy*, 80, 819–826. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.064>
- Achebe, C. H., Okafor, O. C., dan Obika, E. N. (2020). Design and implementation of a crossflow turbine for Pico hydropower electricity generation. *Heliyon*, 6(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04523>
- Adanta, D., Indra Siswantara, A., dan Putro Prakoso, A. (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 Journal Homepage*, 45, 116–127. www.akademiabaru.com/arfmts.html
- Adhikari, R., dan Wood, D. (2018a). The design of high efficiency crossflow hydro turbines: A review and extension. *Energies*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/en11020267>
- Adhikari, R., dan Wood, D. (2018b). The design of high efficiency crossflow hydro turbines: A review and extension. *Energies*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/en11020267>
- 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. <https://doi.org/10.1063/1.5046631>
- Castañeda Ceballos, Y., Cardona Valencia, M., Hincapie Zuluaga, D., Sierra Del Rio, J., Vélez García, S., dan Author, C. (2017). Influence of the Number of Blades in the Power Generated by a Michell Banki Turbine. In *INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY RESEARCH* Y.C.Ceballos dkk (Vol. 7, Issue 4).
- Cengel, Y. A., dan Cimbala, J. M. (2006). *Fluid Mechanics*.
- Costa Pereira, N. H., dan Borges, J. E. (1996). Study of the nozzle flow in a cross-flow turbine. *International Journal of Mechanical Sciences*, 38(3), 283–302. [https://doi.org/10.1016/0020-7403\(95\)00055-0](https://doi.org/10.1016/0020-7403(95)00055-0)

- De Andrade, J., Curiel, C., Kenyery, F., Aguiln, O., Vásquez, A., dan 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>
- De Andrade, J., Curiel, C., Kenyery, F., Aguiln, O., Vásquez, A., dan 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., dan 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., dan Yang, H. (2020a). 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. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100762>
- Du, J., Shen, Z., dan Yang, H. (2020b). 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. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100762>
- Galvis-Holguin, S., Sierra-Del Rio, J., dan Hincapié-Zuluaga, D. (2022). ENHANCEMENT EFFICIENCY OF MICHELL-BANKI TURBINE USING NACA 6512 MODIFIED BLADE PROFILE VIA CFD. *EUREKA, Physics and Engineering*, 2022(2), 55–67. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002351>
- Gurung, A., Ghimeray, A. K., dan Hassan, S. H. A. (2012). The prospects of renewable energy technologies for rural electrification: A review from Nepal. *Energy Policy*, 40(1), 374–380. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.10.022>
- Indra Siswantara, A., Budiarmo, B., Putro Prakoso, A., dan 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 Comparison Between 6-DOF UDF and Moving Mesh Approaches in CFD Methods for Predicting Cross-Flow Pico-Hydro Turbine Performance.
- Kumar Shukla, P. (2016). Effect of Changing Number of Blades and Discharge on the Performance of a Cross-Flow Turbine for Micro Hydro Power Plants Solar energy storage using phase change material (PCM) for different heating applications View project. <https://www.researchgate.net/publication/340263905>

- Mockmore, C. A. (1949a). The Banki Water Turbine (C. A. Mockmore dan F. Merryfield, Eds.). Corvallis, Engineering Experiment Station, Oregon State System of Higher Education, Oregon State College, 1949. <https://ir.library.oregonstate.edu/downloads/gm80hw17p>
- Mockmore, C. A. (1949b). The Banki Water Turbine Engineering Experiment Station Oregon State System of Higher Education Oregon State College Corvallis.
- Munson, B. R., Okiishi, T. H., Huebsch, W. W., dan Rothmayer, A. P. (2013a). Fluid Mechanics.
- Munson, B. R., Okiishi, T. H., Huebsch, W. W., dan Rothmayer, A. P. (2013b). Fluid Mechanics.
- Prabowoputra, D. M., Prabowo, A. R., Yaningsih, I., Tjahjana, D. D. D. P., Laksono, F. B., Adiputra, R., dan Suryanto, H. (2023). Effect of Blade Angle and Number on the Performance of Bánki Hydro-Turbines: Assessment using CFD and FDA Approaches. *Evergreen*, 10(1), 519–530. <https://doi.org/10.5109/6782156>
- Ranjan, R. K., Alom, N., Singh, J., dan Sarkar, B. K. (2019). Performance investigations of cross flow hydro turbine with the variation of blade and nozzle entry arc angle. *Energy Conversion and Management*, 182, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.075>
- Richards, S. A. (1997). COMPLETED RICHARDSON EXTRAPOLATION IN SPACE AND TIME. In *Commun. Numer. Meth. Engng* (Vol. 13).
- Roache, P. J. (1998). Verification of Codes and Calculations. In *AIAA JOURNAL* (Vol. 36, Issue 5).
- 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>
- Totapally, H. G. S., dan Aziz, N. M. (n.d.). Refinement Of Cross-Flow Turbine Design Parameters.