



UNIVERSITAS NEGERI PADANG

**Analisis Numerik Pengaruh Perubahan Kecepatan Inlet dan Sudut Sudu
Guide Vane terhadap Performa Turbin Aksial pada Sistem Mikrohidro
dengan Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Serjana Teknik

TUGAS AKHIR

Refitra Irawan

21338083

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

PADANG

2025

HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Judul : Analisis Numerik Pengaruh Perubahan Kecepatan Inlet dan Desain Guide Vane terhadap Performa Turbin Aksial pada Sistem Mikrohidro dengan Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)

Nama : Refitra Irawan
NIM : 21338083
Tahun Masuk : 2021
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Telah disetujui keasliannya dan diajukan persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana

Padang, 29 Oktober 2025

Disetujui oleh:

Koordinator Program Studi
S1 Teknik Mesin

Dosen Pembimbing,



Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D.Eng
NIP. 197607062003121001



Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D.Eng
NIP. 197607062003121001

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

*Dinyatakan lulus setelah mempertahankan skripsi di depan tim penguji Program Studi
S1 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri
Padang*

Judul : Analisis Numerik Pengaruh Perubahan Kecepatan Inlet dan Sudut Sudu Guide Vane terhadap Performa Turbin Aksial pada Sistem Mikrohidro dengan Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)

Nama : Refitra Irawan

NIM : 21338083

Tahun Masuk : 2021

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Departement : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Padang, 29 Oktober 2025

Tim Penguji

1 Ketua : Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D.Eng.

1. 

2 Anggota : Prof. Dr. Ir. Arwizet K, S.T., M.T.

2. 

3 Anggota : Andre Kurniawan, S.T., M.T.

3. 

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulisan saya, Tugas Akhir dengan berjudul “Analisis Numerik Pengaruh Perubahan Kecepatan Inlet dan Sudut Sudu Guide Vane terhadap Performa Turbin Aksial pada Sistem Mikrohidro dengan Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)” adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di universitas negeri padang, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini murni gagasan, penilaian, dan rumusan saya sendiri, tanpa bantuan dari pihak lain, kecuali arahan dari tim pembimbing dan penguji.
3. Di dalam karya tulis ini tidak terdapat hasil karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali dikutip secara tertulis dengan jelas dan dicantumkan pada daftar pustaka
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila ada kemungkinan hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik, berupa pencabutan gelar yang telah saya peroleh karena karya tulis ini. Serta sanksi sesuai dengan norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, 29 Oktober 2025

Saya yang Menyatakan,

Refitra Irawan

Nim. 21338083

ABSTRAK

Analisis Numerik Pengaruh Perubahan Kecepatan Inlet dan Sudut Sudu Guide Vane terhadap Performa Turbin Aksial pada Sistem Mikrohidro dengan Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)

Penelitian ini membahas analisis performa turbin aksial propeller sebagai salah satu alternatif penerapan teknologi mikrohidro pada daerah dengan potensi energi air head rendah. Rancangan turbin diuji menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD) melalui perangkat lunak ANSYS untuk mempelajari distribusi kecepatan aliran, pola tekanan, torsi, dan daya yang dihasilkan. Variasi sudut sudu yang digunakan adalah 45° , 60° dan 0° . dengan debit serta kecepatan aliran yang berbeda. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan aliran menghasilkan torsi dan daya yang lebih besar, dengan sudut sudu lurus memberikan performa paling optimal dalam mengarahkan aliran fluida. Performa turbin hasil simulasi memiliki kesesuaian dengan karakteristik turbin propeller nyata yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro, meskipun efisiensinya masih lebih rendah akibat keterbatasan desain sudu tetap. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa turbin aksial propeller dengan desain sederhana tetap berpotensi diaplikasikan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik skala kecil pada daerah terpencil.

Kata Kunci : Turbin aksial, turbin propeller, mikrohidro, simulasi CFD, ANSYS, torsi, daya, energi terbarukan

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur dan kemuliaan hanya kepada Allah Yang Maha Esa atas segala limpahan kasih karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “*Analisis Numerik Pengaruh Perubahan Kecepatan Inlet dan Sudut Sudu Guide Vane terhadap Performa Turbin Aksial pada Sistem Mikrohidro dengan Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)*”.

Shalawat beserta salam semoga selalu dilimpahkan oleh Allah Subhanahu Wa Ta’ala kepada junjungan umat islam, Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wasallam yang telah membawa umat manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang penuh dengan cahaya ilmu pengetahuan.

Dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini penulis banyak mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D. Eng. selaku dosen pembimbing dan Ketua Prodi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Padang, yang telah memberikan bimbingan, saran-saran dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. Ir. Arwizet K., S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam pengerjaan tugas akhir.
3. Bapak Andre Kurniawan, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam pengerjaan tugas akhir.

4. Bapak Dr. Eko Indrawan, S.T., M.Pd. selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
5. Ibu Primawati, S.Si., M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik, yang selalu memberikan arahan dan nasihat kepada penulis.
6. Bapak dan ibu dosen beserta staf administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
7. Orang tua memberikan dorongan, nasehat, semangat, doa dan kasih sayang yang begitu besar sehingga penulis dapat melakukan penyusunan tugas akhir dengan penuh semangat dan sungguh-sungguh.

Semoga Allah Subhanahu Wa Ta'ala memberikan balasan yang baik kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulis menyadari bahwa Proposal Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan.

Padang, Oktober 2025

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Persetujuan Tugas Akhir	i
Halaman Pengesahan Tugas Akhir	ii
Pernyataan	iii
Abstrak	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
BAB I. Pendahuluan	
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Rumusan Masalah	6
D. Batasan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Landasan Teori	8
1. Turbin	8
a. Klasifikasi Turbin	9
b. Pemilihan Turbin	14
c. Komponen Turbin	15
d. Prinsip Kerja Turbin	22
e. Analisis Turbin	30
2. Computational Fluid Dynamic	32
3. Perangkat Pendukung Simulasi	35
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
A. Jenis Penelitian	37
B. Waktu dan Tempat Penelitian	38
C. Alat dan Bahan Penelitian	38
D. Diagram Alir	39

E. Persiapan Data	40
F. Prosedur Penelitian.....	40
G. Analisis Data	56
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Desain.....	58
B. Hasil dan Pembahasan.....	60
C. Karakteristik Spesifik Speed, Daya, Peforma dan Efisiensi.....	120
D. Perbandingan Simulasi dengan Penelitian Terdahulu	127
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan.....	129
B. Saran	130
DAFTAR PUSTAKA	131

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kelangkaan sumber energi fosil menjadi isu global yang mendesak, mengingat cadangan minyak bumi, gas alam, dan batubara semakin menipis akibat eksploitasi besar-besaran untuk memenuhi kebutuhan industri, transportasi, dan rumah tangga. *International Renewable Energy Agency* (IRENA, 2022) mencatat bahwa konsumsi energi fosil dunia terus meningkat, sementara pertumbuhan cadangan baru jauh lebih lambat dibandingkan laju pemakaiannya. Menurut Munson et al. (2013), ketergantungan berlebihan pada energi fosil tidak hanya menimbulkan risiko krisis energi, tetapi juga meningkatkan emisi gas rumah kaca yang berdampak buruk pada lingkungan. Hal ini sejalan dengan pandangan Wiranto (2004) yang menegaskan bahwa keberlanjutan sistem energi masa depan memerlukan transisi menuju sumber energi terbarukan yang lebih bersih dan dapat diperbarui. Oleh karena itu, pengembangan teknologi konversi energi berbasis sumber daya alam yang melimpah, seperti energi air melalui sistem turbin mikrohidro, menjadi langkah strategis untuk mengurangi tekanan terhadap sumber energi fosil yang semakin langka.

Energi terbarukan menjadi solusi utama dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta menekan dampak negatif terhadap lingkungan. Berbagai jenis energi terbarukan telah dikembangkan, seperti

energi surya, angin, biomassa, panas bumi, dan hidro, yang masing-masing memiliki karakteristik dan keunggulan dalam menghasilkan energi listrik. Salah satu sumber energi terbarukan yang sangat potensial dan telah lama dimanfaatkan adalah energi aliran air, baik dalam skala besar seperti Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), maupun dalam skala kecil yang mengandalkan sistem mikrohidro dengan teknologi turbin sebagai komponen utamanya.

Komponen utama pembangkit listrik adalah turbin, yang berfungsi mengubah energi kinetik fluida menjadi energi listrik. Dimana turbin mengubah energi kinetik fluida menjadi energi listrik. Turbin air secara umum dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Turbin impuls bekerja berdasarkan prinsip perubahan momentum fluida, contohnya turbin Pelton dan Crossflow. Sementara itu, turbin reaksi bekerja berdasarkan perubahan tekanan dan kecepatan aliran saat fluida melewati sudu-sudu turbin, seperti turbin Francis, Kaplan, dan aksial. Menurut Mosonyi (1991), turbin reaksi mampu mencapai efisiensi konversi energi sebesar 90% hingga 95%, menjadikannya lebih unggul dibandingkan turbin impuls, terutama dalam sistem aliran bertekanan rendah hingga sedang.

Turbin aksial merupakan salah satu jenis turbin reaksi yang efisien dan banyak digunakan dalam pembangkit listrik tenaga air. Aliran fluida dalam turbin ini bergerak sejajar (aksial) dengan poros, menjadikan interaksi fluida dengan sudu (*runner blade*) sangat menentukan efisiensi kerja sistem. Turbin aksial sangat cocok diterapkan pada aliran air berdebit besar dan tekanan

rendah hingga sedang, seperti pada sistem mikrohidro atau pembangkit hidrokinetik di sungai terbuka (Zhang et al., 2021).

Kecepatan aliran air merupakan faktor krusial dalam kinerja turbin karena menentukan jumlah energi kinetik yang tersedia untuk dikonversi menjadi energi mekanik. Dalam sistem pembangkit listrik tenaga air, kecepatan aliran air dipengaruhi oleh *head* turbin, debit air, serta hambatan di sepanjang jalur aliran. Menurut Munson et al. (2013), "Kecepatan aliran air yang tinggi memungkinkan peningkatan energi kinetik yang dapat dikonversi oleh turbin, tetapi juga harus diimbangi dengan desain sudu yang optimal untuk mengurangi kehilangan energi akibat turbulensi." Pada turbin aksial, aliran air sejajar dengan poros turbin, sehingga desain sudu dan sudut masuk air sangat menentukan efisiensi konversi energi. Penggunaan komponen seperti *guide vane* untuk mengatur arah dan kecepatan aliran air serta rumah turbin untuk mengarahkan fluida secara optimal sangat penting dalam mengurangi kehilangan energi dan meningkatkan efisiensi sistem. Dengan pengelolaan kecepatan aliran yang optimal, turbin dapat menghasilkan daya lebih tinggi dengan efisiensi yang maksimal, menjadikannya solusi efektif dalam pemanfaatan energi terbarukan berbasis aliran air. Karakteristik utama dari turbin aksial adalah kemampuannya untuk beroperasi secara optimal pada kondisi *low head* dengan *flowrate* yang tinggi. Hal ini membuatnya ideal digunakan di daerah sungai datar atau saluran irigasi dengan volume air besar tetapi perbedaan ketinggian yang kecil.

Head turbin, atau perbedaan ketinggian antara permukaan air di reservoir dan turbin, menentukan energi potensial yang tersedia untuk konversi menjadi energi mekanik. Semakin besar *head*, semakin besar energi potensial yang dapat diubah menjadi energi listrik. Selain itu, komponen seperti *guide vane* dan rumah turbin juga berperan penting. *Guide vane* berfungsi sebagai katup yang mengatur kapasitas air menuju turbin dengan arah dan kecepatan tertentu, sehingga memungkinkan kontrol yang presisi terhadap output daya dan efisiensi operasional. Rumah turbin, atau turbine *casing*, berfungsi melindungi komponen internal turbin serta mengarahkan aliran air secara efisien melalui sudu-sudu turbin, sehingga desain yang optimal dapat meminimalkan kehilangan energi dan meningkatkan efisiensi keseluruhan system (Mafruddin, 2017).

Urgensi penelitian ini terletak pada pentingnya memahami pengaruh kecepatan fluida dan variasi sudut *guide vane* terhadap performa turbin aksial dalam sistem mikrohidro. Menurut Kumar dan Singh (2020), efisiensi turbin sangat dipengaruhi oleh desain geometri sudu dan karakteristik aliran fluida karena keduanya menentukan konversi energi kinetik menjadi energi mekanik. Hal ini sejalan dengan pendapat Zhang et al. (2021) yang menyatakan bahwa perubahan kecil pada sudut sudu maupun kondisi aliran dapat mengubah distribusi tekanan dan torsi secara signifikan, sehingga berdampak langsung terhadap kinerja hidraulik turbin. Moll (2016) menegaskan bahwa kemampuan *guide vane* dalam mengatur arah serta kecepatan aliran merupakan faktor kunci peningkatan efisiensi turbin reaksi, terutama pada kondisi *low head*

yang umum dijumpai pada sistem mikrohidro di daerah pedesaan Indonesia (Mafruddin, 2017). Oleh karena itu, penelitian ini mendesak dilakukan untuk mengisi kekosongan kajian empiris mengenai pengaruh simultan antara kecepatan fluida dan sudut *guide vane* terhadap kinerja turbin aksial, sebagaimana ditegaskan Munson et al. (2013) bahwa optimalisasi sistem konversi energi air menuntut analisis kuantitatif antara parameter aliran, geometri sudu, dan distribusi tekanan agar efisiensi turbin dapat ditingkatkan secara maksimal.

Kejadian seperti ini sering terjadi di lapangan, terutama pada sistem mikrohidro yang dibangun di wilayah pedesaan atau terpencil. Masyarakat di daerah tersebut sangat menggantungkan pasokan listrik dari pembangkit lokal yang sederhana, namun sering menghadapi masalah pasokan yang tidak stabil. Fluktuasi kecepatan aliran akibat musim, serta variasi *head* karena perbedaan elevasi, kerap membuat turbin bekerja tidak optimal. Akibatnya, aktivitas sehari-hari seperti penerangan, pengisian perangkat elektronik, hingga pengoperasian alat pertanian menjadi terhambat.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya penting dari sisi teknis dan akademis, tetapi juga memiliki nilai fungsional langsung dalam membantu masyarakat mengakses energi terbarukan secara efisien dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah pemahaman tersebut dengan menganalisis pengaruh kecepatan fluida dan *head* terhadap distribusi aliran serta kinerja turbin aksial secara menyeluruh, dengan menggunakan program computer ansys.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas maka identifikasi masalah pada penelitian ini adalah :

1. Sumber energi fosil yang mulai tidak mencukupi pemenuhan kebutuhan manusia
2. Sumber energi air dapat digunakan untuk alternatif pengganti energi fosil, namun belum dimanfaatkan dengan baik.
3. Sumber air yang ada memiliki kapasitas yang kecil, baik debit dan headnya
4. Rendahnya head pada lokasi tertentu membatasi terhadap pemilihan dan performa turbin.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini merumuskan beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Belum banyak informasi terkait pengaruh perubahan kecepatan fluida terhadap performa pada turbin aksial.
2. Belum diketahui pengaruh perubahan sudut guide vane terutama sudut negative terhadap performa pada turbin aksial.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan mengenai turbin aksial yang dimuat dalam latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan masalah utama dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh perubahan kecepatan aliran fluida pada turbin aksial
2. Bagaimana pengaruh perubahan desain sudut guide vane terhadap performa turbin aksial

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini dilaksanakan adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi desain sudut sudu dan bentuk *runner* terhadap kinerja hidraulik turbin aksial.
2. Mengetahui pengaruh kecepatan aliran dan *head* terhadap efisiensi sistem turbin aksial pada sistem mikrohidro.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Hasil analisis dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan desain *runner* yang lebih efisien.
2. Mendukung pemanfaatan energi terbarukan, terutama pada wilayah terpencil, melalui peningkatan efisiensi desain turbin aksial yang disesuaikan dengan karakteristik aliran lokal.

3. Membantu perancang turbin dalam menentukan konfigurasi *runner* dan *guide vane* yang optimal berdasarkan data simulasi numerik, sehingga dapat meminimalkan kehilangan energi dan meningkatkan performa konversi energi fluida menjadi daya mekanik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menganalisis performa turbin aksial propeller menggunakan simulasi numerik berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan perangkat lunak ANSYS Fluent. Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi sudut sudu dan kecepatan aliran memberikan pengaruh signifikan terhadap distribusi kecepatan, pola tekanan, serta torsi yang dihasilkan oleh turbin. Peningkatan kecepatan aliran terbukti meningkatkan daya mekanik dan efisiensi konversi energi.

Desain dengan sudut sudu $60^\circ (+)$ memperlihatkan kinerja paling optimal, ditandai dengan distribusi aliran yang stabil, kecepatan maksimum fluida mencapai 4,2 m/s, serta efisiensi hingga 86 %. Sebaliknya, desain sudu 45° menunjukkan performa lebih rendah akibat adanya zona recirculation yang meningkatkan rugi energi. Hal ini membuktikan bahwa sudut sudu merupakan parameter penting dalam menentukan kualitas aliran dan performa turbin.

Jika dibandingkan dengan turbin propeller nyata, hasil penelitian menunjukkan pola kesesuaian dalam hal efisiensi dan karakteristik operasional. Turbin propeller industri dengan sudu tetap memiliki efisiensi 70–85%, sedangkan hasil simulasi ini mendekati nilai tersebut meskipun tanpa adanya kontrol sudu adaptif. Dengan demikian, rancangan yang diuji

memiliki potensi untuk diterapkan secara praktis di lapangan, khususnya pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian pada desain turbin air aksial propeller untuk penelitian berikutnya agar dapat diperbaiki sebagai berikut :

1. Penelitian berikutnya sebaiknya dilengkapi dengan uji eksperimental fisik untuk memvalidasi hasil simulasi numerik agar akurasi hasil lebih terjamin.
2. Perlu dilakukan optimasi geometri sudu dengan variasi profil airfoil, jumlah sudu, dan sudut kemiringan untuk meningkatkan efisiensi konversi energi.
3. Penggunaan sudu variabel (adjustable blade) dapat diteliti lebih lanjut agar turbin mampu beradaptasi dengan variasi debit dan head, seperti pada turbin Kaplan.

DAFTAR PUSTAKA

- Wiranto, A. (2004). *Penggerak Mula Turbin*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- A, K. (2021). *Hydropower Engineering: Principles and Practices*:. International Journal of Energy Research .
- azhari. (2013). *Pengaruh Sudu Pengarah Aliran pada Turbin Aliran Aksial Head Rendah* . 148-151.
- Cao, Y. Y. (2016). Optimum design and thermodynamic analysis of a gas turbine and ORC combined cycle with recuperators. 32-41.
- Dixon, B. P. (1998). *Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbomachinery*. Oxford: Pergamon Press Ltd. .
- Haris, M. A. (2009). *Studi eksperimental perancangan turbin air*. makassar: Fakultas teknik Universitas Hasanuddin.
- Irawan, H. &. (2017). Analisis Performansi Sistem Pembangkit Listrik. *JHP17: Jurnal Hasil Penelitian*,, 3(01).
- IRENA. (2022). *Renewable Energy Statistics* . International Renewable Energy Agency.
- Khattak, M. A. (2016). Common Type of Turbines in Power Plant. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 77 - 100.
- L, Z. (2021). *Advances in Hydropower Turbine Design*. Journal of Fluid Mechanics. .
- Laksmiana, S. C. (2018). Pengaruh Sudut Pengarah Aliran pada Turbin Air. *REM (Rekayasa Energi*, 35-39.
- Luknanto., D. (1996). *Turbin Air*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Mafruddin, d. M. (2017). Pengaruh Bukaannya *Guide Vane* Terhadap Kinerja Turbin Pikohidro Tipe Crossflow. *Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*, 31-37.
- Pietersz, R. (2013). Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Optimalisasi Kinerja Turbin Kinetik Roda Tunggal. *Jurnal Rekayasa Mesin Vol.4*, 220-226.
- Putra, A. (2024). PENGERTIAN DASAR MEKANIKA FLUIDA : DINAMIKA FLUIDA DALAM. *Jurnal Multidisiplin Saintek*.

- Quaranta, E. (2022). The Very Low *Head* Turbine for hydropower generation in existing. *Elsevier*, 1-13.
- Raswari. (1986). *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan: Jilid I*. Jakarta: UI-Press.
- Syahrial, A. (2010). *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Irigasi Di Desa Kedai Paya Kabupaten Aceh Barat Daya*. Banda Aceh: Fakultas Teknik Unsyiah.
- White, F. M. (2016). *Fluid Mechanics*. McGraw-Hill Education.
- Zulkifli. (n.d.). ANALISIS PENGARUH DEBIT AIR TERHADAP PUTARAN RUNNER TURBIN CROSSFLOW. *AL-GAZALI JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING*, 57-61.