



UNIVERSITAS NEGERI PADANG

**ANALISIS PENGARUH VARIASI JUMLAH SUDU TERHADAP
KINERJA TURBIN CROSSFLOW DI PT XYZ**

TUGAS AKHIR

Farhan Rahmat Putra

21338062

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

PADANG

2025

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Judul : Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Sudu terhadap
Kinerja Turbin Crossflow di PT XYZ

Nama : Farhan Rahmat Putra

NIM : 21338062

Tahun Masuk : 2021

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Fakultas Teknik

Padang, 27 Oktober 2025

Disetujui oleh:

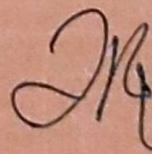
Koordinator Program
Studi S1 Teknik Mesin



Yolli Fernanda, S.T., M.T, Ph.D.

NIP. 197607062003121001

Pembimbing Tugas Akhir



Andre Kurniawan, S.T., M.T.

NIP. 199105252019031027

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

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

Judul : Analisis Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Kinerja
Turbin *Crossflow* di PT XYZ

Nama : Farhan Rahmat Putra

NIM : 21338062

Tahun Masuk : 2021

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Fakultas Teknik

Padang, 27 Oktober 2025

Tim Penguji

Nama

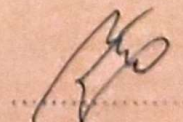
1. Ketua : Andre Kurniawan, S.T., M.T.



2. Anggota : Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D.Eng.



3. Anggota : Dr. Randi Purnama Putra, S.Pd., M.T.



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulisan saya, tugas akhir dengan judul “Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Sudu terhadap Kinerja Turbin *Crossflow* di PT XYZ” 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 hasil gagasan, rumusan, dan penilaian saya sendiri, tanpa bantuan tidak sah 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 sungguh-sungguh tanpa ada paksaan dari pihak lain dan apa bila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dari tulisan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik, berupa pencabutan gelar yang telah saya peroleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma dan ketentuan hukum yang berlaku.



Padang, 27 Oktober 2025

Saya yang menyatakan,

Farhan Rahmat Putra
NIM. 21338062

ABSTRAK

Farhan Rahmat Putra: Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Crossflow Di PT XYZ

Turbin crossflow merupakan salah satu jenis turbin air berkapasitas kecil yang banyak digunakan pada pembangkit listrik tenaga air skala mikro. Turbin ini memiliki konstruksi sederhana dan mampu beroperasi pada debit serta tinggi jatuh air rendah. Efisiensi turbin sangat dipengaruhi oleh jumlah sudu yang digunakan, karena menentukan interaksi antara fluida dan runner. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah sudu terhadap kinerja turbin crossflow, terutama terhadap torsi, daya efektif, dan efisiensi. Metode yang digunakan adalah simulasi numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics (CFD)* menggunakan perangkat lunak *ANSYS Fluent*. Jumlah sudu yang divariasikan terdiri dari 18, 24, 30, dan 32 sudu. Parameter yang diamati meliputi distribusi tekanan, kecepatan, dan pola aliran fluida. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jumlah sudu sangat berpengaruh terhadap performa turbin. Konfigurasi 18 sudu menghasilkan torsi tertinggi sebesar 0,2139 Nm dengan efisiensi 31,8%, sedangkan konfigurasi 32 sudu menghasilkan torsi terendah sebesar 0,0420 Nm dengan efisiensi 6,10%. Semakin sedikit jumlah sudu, aliran fluida menjadi lebih fokus dan stabil, sehingga energi kinetik fluida dapat dikonversi lebih optimal menjadi energi mekanik.

Kata kunci: Turbin Crossflow, Jumlah Sudu, Torsi, Daya Efektif, Efisiensi, Simulasi CFD

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir penelitian yang berjudul **“Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Sudu terhadap Kinerja Turbin Crossflowdi PT XYZ”**. Shalawat dan salam penulis aturkan kepada Nabi besar kita Muhammad SAW yang telah membawa kita kepada alam yang berilmu pengetahuan seperti saat sekarang ini.

Tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang. Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari pengarahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Andre Kurniawan, S.T., MT. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan waktu untuk bimbingan, petunjuk, pengarahan dan nasihat dalam menyelesaikan proposal ini.
2. Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D. selaku penguji I dan sekaligus koodinator Prodi Teknik Mesin Universitas Negeri Padang.
3. Dr. Randi Purnama Putra, S.Pd., M.T. selaku penguji II.
4. Dr. Rizky Ema Wulansari, S.Pd., M.Pd.T selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Dr. Eko Indrawan, S.T., M.Pd. selaku Ketua Departemen S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Padang.

6. Bapak/Ibu dosen beserta staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
7. Dr. Muhammad Anwar, S.Pd., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
8. Kepada keluarga Penulis yang sudah memberi dukungan dan semangat kepada penulis selama penyusunan tugas akhir.
9. Kepada teman-teman yang memberi semangat serta dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir.
10. Rekan-rekan sedepartemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, terkhususnya S1 Teknik Mesin yang telah memberikan semangat dan dukungan untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Teristimewa kepada diri Penulis sendiri yang telah berusaha rajin dalam mengerjakan tugas akhir ini dan selalu memotivasi diri untuk tetap bersemangat menyelesaikan hingga selesai.

Semoga semua bantuan yang telah diberikan kepada Penulis mendapat balasan yang sesuai dari Allah SWT. Sebagai manusia yang tidak terhindar dari kesalahan dan kekurangan, Penulis menyadari bahwa dalam tugas akhir ini masih terdapat kekurangan dan masih jauh dari sempurna.

Padang, 27 Oktober 2025

Farhan Rahmat Putra
21338062

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	4
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Landasan Teori	7
B. Penelitian Relevan	32
C. Kerangka Konseptual	35
BAB III PROSEDUR PROYEK AKHIR.....	36
A. Jenis penelitian.....	36
B. Variabel Penelitian	36
C. Lokasi dan Waktu Penelitian	37
D. Alat dan Bahan.....	37
E. Perancangan Geometri Turbin Crossflow	38
F. Domain.....	39
G. Teknik Pengumpulan Data.....	39
H. Diagram Alur Penelitian.....	40
I. Prosedur Penelitian	41
J. Analisis Data	51

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	52
A. Hasil penelitian	52
B. Pembahasan.....	74
BAB V PENUTUP	77
A. Kesimpulan	77
B. Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	81

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter Simulasi	41
Tabel 3.2 Parameter pada boundary condition.....	46
Tabel 3.3 Data input pada reference values	47
Tabel 3.4 Validasi Sudu Referensi	50
Tabel 3.5 <i>Grid Independency Analysis</i>	51
Tabel 4.1 Nilai Torsi dan Instrumen Penelitian	55
Tabel 4.2 Analisis Eksperimen	56
Tabel 4.3 Nilai Daya dan Efisiensi Turbin Crossflow	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Turbin Pelton	15
Gambar 2.2 Turbin Turgo.....	15
Gambar 2.3 Turbin Crossflow	16
Gambar 2.4 Turbin francis.....	17
Gambar 2.5 Turbin <i>kaplan</i>	18
Gambar 2.6 Turbin <i>vortex</i>	19
Gambar 2.7 Komponen utama turbin crossflow.....	19
Gambar 2.8 Basin Turbin	21
Gambar 2.9 (a) Aliran Laminar (b) Aliran Turbulen (c) Aliran Transisi.....	25
Gambar 2.10 Segitiga kecepatan pada turbin crossflow	29
Gambar 2.11 Software Solidworks 2022	31
Gambar 2.12 Software ansys	32
Gambar 2.13 Bagan Struktur Alur Kerja Penelitian.....	35
Gambar 3.1 Desain turbin crossflow dengan 18 sudu.....	38
Gambar 3.2 Desain turbin crossflow dengan 24 sudu.....	38
Gambar 3.3 Desain turbin crossflow dengan 32 sudu.....	39
Gambar 3.4 Domain fluida turbin crossflow	39
Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian	40
Gambar 3.6. Import <i>geometri</i> pada ansys fluent	42
Gambar 3.7 Pemberian label kondisi batas pada domain	42
Gambar 3.8 Pembuatan meshing.....	44
Gambar 3.9 Proses <i>setup</i>	44
<i>Gambar 3.10</i> Input <i>nilai batas</i> error.....	48
Gambar 4.1 Desain Blade Turbin dengan variasi jumlah sudu (a) 18 (b) 24 (c) 32	52
Gambar 4.2 Torsi sudu 18	53
Gambar 4.3 Torsi sudu 24	54
Gambar 4.3 Torsi sudu 32	54
Gambar 4.4 Data perbandingan nilai torsi.....	61

Gambar 4.5. Data perbandingan nilai Daya Efektif.....	65
Gambar 4.6. Data perbandingan nilai Efisiensi	66
Gambar 4.7. Velocity contour sudu turbin crossflow tampak samping dengan variasi jumlah sudu (a) 18 (b) 24 (c) 30 (d) 32	69
Gambar 4.8 Pressure contour sudu turbin crossflow tampak atas dengan variasi jumlah sudu (a) 18 (b) 24 (c) 30 (d) 32	71
Gambar 4.9 Velocity streamline turbin crossflow dengan variasi jumlah sudu (a) 18 (b) 24 (c) 30 (d) 32.....	73

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi, perkembangan industri, serta meningkatnya jumlah penduduk. Energi listrik telah menjadi salah satu kebutuhan utama dalam menunjang aktivitas masyarakat modern, baik untuk keperluan rumah tangga, industri, maupun layanan publik. Namun, hingga saat ini sebagian besar kebutuhan energi listrik di Indonesia masih dipasok dari pembangkit listrik berbasis energi fosil, seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Ketergantungan yang tinggi terhadap energi fosil menimbulkan berbagai persoalan, di antaranya keterbatasan ketersediaan sumber daya, fluktuasi harga energi, serta dampak lingkungan berupa emisi gas rumah kaca yang berkontribusi pada pemanasan global (Sihombing et al., 2021).

Dalam upaya mengurangi ketergantungan pada energi fosil, pemerintah Indonesia terus mendorong pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT). Salah satu potensi EBT yang cukup besar di Indonesia adalah energi air, yang dapat dimanfaatkan melalui pembangunan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). PLTMH menjadi salah satu pilihan menarik karena mampu memanfaatkan aliran sungai atau saluran irigasi dengan kapasitas kecil hingga menengah, sehingga cocok untuk diterapkan di daerah pedesaan atau kawasan industri yang jauh dari pasokan listrik utama (Hartanto et al., 2020).

Turbin air merupakan komponen utama dalam sistem PLTMH karena berfungsi mengubah energi potensial aliran air menjadi energi mekanik dan selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik melalui generator. Di antara berbagai jenis turbin air, turbin crossflow menjadi salah satu pilihan yang banyak digunakan pada PLTMH skala kecil hingga menengah. Turbin crossflow dikenal sebagai turbin impuls dengan desain sederhana, biaya pembuatan yang relatif rendah, dan kinerja yang cukup baik pada kondisi debit menengah serta head rendah hingga menengah. Selain itu, turbin crossflow juga memiliki keunggulan dalam menghadapi aliran yang bercampur dengan sampah atau material padat, karena bentuknya yang sederhana membuatnya lebih tahan terhadap penyumbatan dibandingkan jenis turbin lain (Rantererung, 2024).

Salah satu faktor penting yang memengaruhi kinerja turbin crossflow adalah jumlah sudu pada runner. Jumlah sudu berpengaruh terhadap pola aliran fluida, distribusi gaya pada sudu, serta besarnya torsi dan daya yang dihasilkan. Jika jumlah sudu terlalu sedikit, kontak antara fluida dan sudu berkurang sehingga energi yang ditransfer ke runner menjadi tidak optimal. Sebaliknya, jika jumlah sudu terlalu banyak, akan menimbulkan rugi-rugi aliran akibat interaksi antar sudu yang semakin rapat. Oleh karena itu, pemilihan jumlah sudu yang tepat sangat penting untuk memperoleh kinerja turbin yang maksimal (Sihombing et al., 2021).

Penelitian mengenai variasi jumlah sudu turbin crossflow telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Hartanto et al. (2020) menganalisis desain turbin crossflow dengan berbagai variasi sudu untuk aplikasi PLTMH skala kecil, dan menemukan bahwa terdapat jumlah sudu optimal yang mampu menghasilkan efisiensi lebih tinggi dibandingkan desain standar. Sementara itu, Rantererung (2024) menggunakan pendekatan Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk mengevaluasi kinerja turbin impuls dengan variasi sudu dan menunjukkan bahwa metode numerik mampu memberikan gambaran pola aliran serta distribusi tekanan yang lebih detail dibandingkan metode analitik. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan pentingnya pemanfaatan metode CFD dalam menganalisis desain turbin, termasuk turbin crossflow, agar dapat diperoleh informasi yang lebih akurat mengenai pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja turbin.

CFD telah berkembang menjadi alat analisis yang andal dalam bidang teknik fluida, khususnya untuk menganalisis kinerja turbin air. Melalui CFD, dapat dilakukan simulasi aliran fluida di sekitar sudu turbin, sehingga diperoleh informasi mengenai pola aliran, distribusi kecepatan, tekanan, torsi, hingga daya yang dihasilkan. Hal ini memberikan keuntungan karena analisis dapat dilakukan tanpa perlu membuat prototipe fisik yang memakan biaya besar dan waktu lama. Selain itu, variasi desain turbin seperti jumlah sudu dapat diuji secara lebih fleksibel dengan simulasi numerik.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis numerik variasi jumlah sudu turbin crossflow, yaitu 18, 24, dan 32 sudu, terhadap kinerja turbin dan kapasitas energi yang dihasilkan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan studi numerik menggunakan CFD untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah sudu terhadap kinerja turbin crossflow pada PLTMH PT XYZ.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang, dapat diidentifikasi beberapa masalah utama yang mendasari penelitian ini:

1. Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat, sementara pasokan energi masih didominasi oleh sumber fosil yang berdampak negatif terhadap lingkungan.
2. Pemanfaatan energi baru terbarukan melalui PLTMH berpotensi besar untuk dikembangkan, namun masih terkendala optimasi desain turbin.
3. Turbin crossflow menjadi salah satu pilihan untuk PLTMH skala kecil hingga menengah, tetapi kinerja turbin sangat dipengaruhi oleh jumlah sudu.

C. Batasan Masalah

Untuk menjaga penelitian tetap terarah dan fokus, batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian hanya difokuskan pada pengaruh variasi jumlah sudu (18, 24, dan 32 sudu) terhadap kinerja turbin crossflow.
2. Penelitian ini menggunakan metode numerik dengan pendekatan model turbulensi *K-omega SST*.

3. Perhitungan *Reynold Number* diambil pada penampang aliran masuk.
4. Simulasi menggunakan software *Ansys Fluent 2025 R1 Student Version*.
5. Lokasi studi hanya bersifat simulasi di PLTMH PT XYZ dan tidak dilakukan uji eksperimental langsung.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi dan batasan masalah yang ada, maka Bagaimana pengaruh variasi jumlah sudu pada turbin *crossflow* terhadap torsi yang dihasilkan dengan menggunakan *Computation Fluid Dynamics* (CFD).

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari identifikasi masalah yang ada, maka yang menjadi tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah sudu pada turbin *crossflow* terhadap torsi yang dihasilkan dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi Penulis

Menambah wawasan dan pengalaman dalam penerapan metode simulasi CFD pada analisis turbin *crossflow*. Melatih kemampuan dalam melakukan penelitian numerik di bidang energi terbarukan.

2. Bagi Akademisi dan Peneliti

Memberikan kontribusi ilmiah mengenai pengaruh variasi jumlah sudu terhadap kinerja turbin crossflow. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berfokus pada optimasi desain turbin untuk PLTMH.

3. Bagi Industri dan Pembangunan PLTMH

Memberikan informasi teknis mengenai jumlah sudu optimal yang dapat digunakan pada desain turbin crossflow. Mendukung pengembangan energi terbarukan di Indonesia dengan desain turbin yang lebih efisien dan ekonomis.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan melalui simulasi menggunakan Ansys Fluent, dapat disimpulkan bahwa jumlah sudu berpengaruh signifikan terhadap kinerja turbin crossflow, khususnya terhadap nilai torsi, daya efektif, dan efisiensi.

1. Variasi jumlah sudu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 18, 24, dan 32 sudu. Dari hasil simulasi, jumlah sudu 18 menghasilkan kinerja terbaik dengan torsi tertinggi sebesar 0,2139 Nm, daya mekanik sebesar 33,5963 W, dan efisiensi sebesar 31,8%.
2. Peningkatan jumlah sudu justru menyebabkan penurunan torsi dan efisiensi. Pada jumlah sudu 24 dan 32, torsi hanya mencapai 0,0416 Nm dan 0,0420 Nm, dengan efisiensi sekitar 6%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah sudu tidak selalu meningkatkan performa turbin.
3. Penurunan performa pada jumlah sudu yang lebih banyak disebabkan oleh peningkatan hambatan fluida (drag) dan turbulensi internal, yang mengurangi kemampuan fluida dalam mentransfer energi kinetiknya ke runner turbin.

4. Hasil simulasi velocity contour, pressure contour, dan streamline memperlihatkan bahwa jumlah sudu 18 memberikan pola aliran yang paling stabil dan terarah, dengan zona tekanan tinggi yang terkonsentrasi di sekitar leading edge sudu. Kondisi ini menghasilkan gaya puntir maksimal terhadap poros turbin.

Dengan demikian, jumlah sudu 18 dapat dikatakan sebagai konfigurasi optimal pada desain turbin crossflow dalam penelitian ini, karena memberikan kinerja terbaik dari segi torsi, daya efektif, dan efisiensi konversi energi.

B. Saran

1. Desain Geometri Sudu

Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan modifikasi terhadap profil geometri sudu (seperti ketebalan, kelengkungan, dan sudut serang fluida), serta menguji kombinasi antara jumlah sudu dan bentuk profil untuk mendapatkan konfigurasi yang lebih optimal.

2. Variasi Parameter Lain

Selain jumlah sudu, perlu dilakukan analisis terhadap parameter desain lainnya seperti kecepatan aliran masuk, diameter runner, dan head air untuk melihat pengaruhnya terhadap kinerja turbin crossflow secara menyeluruh.

3. Validasi Eksperimen

Disarankan melakukan uji eksperimen langsung di laboratorium atau instalasi uji mini untuk memvalidasi hasil simulasi CFD yang diperoleh, sehingga diperoleh data yang lebih representatif terhadap kondisi sebenarnya.

4. Peningkatan Kapasitas Komputasi

Penggunaan perangkat keras (hardware) dengan spesifikasi tinggi dan pengaturan *mesh* yang lebih halus akan membantu menghasilkan simulasi yang lebih stabil dan akurat, serta mempercepat waktu komputasi.

DAFTAR PUSTAKA

- BPPT. (2020). *Outlook Energi Indonesia 2020*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Fahmi. (2025). *[Judul Referensi Tidak Lengkap]*. [Nama Penerbit atau Sumber].
- Harahap, A., Nugroho, B., & Setiawan, D. (2021). *Potensi Energi Terbarukan di Indonesia dan Implementasi PLTMH*. Jurnal Energi Berkelanjutan, 15(2), 45-58.
- Hasan, F., Pratama, R., & Nugroho, B. (2022). *Analisis Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Indonesia*. Journal of Renewable Energy, 8(3), 101-117.
- Hermawan, A., & Yuliana, S. (2019). *Analisis Efisiensi Turbin Mikrohidro di Wilayah Sumatera Barat*. Jurnal Teknik Elektro, 7(1), 55-69.
- International Energy Agency (IEA). (2020). *Renewable Energy Policies in Southeast Asia*. IEA Publications.
- Kementerian ESDM. (2020). *Potensi dan Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Indonesia*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kurniawan, R., & Agung, T. (2021). *Evaluasi Kinerja Turbin Mikrohidro pada PLTMH di Jawa Barat*. Journal of Hydropower Engineering, 12(4), 65-80.
- Nugroho, B. (2020). *Peran Energi Terbarukan dalam Pembangunan Industri Berkelanjutan di Indonesia*. Journal of Energy Economics, 5(2), 45-60.
- Prasetyo, H., & Wahyudi, A. (2019). *Strategi Pengembangan PLTMH di Wilayah Terpencil*. Jurnal Energi Baru dan Terbarukan, 6(1), 33-48.
- Pratama, R., Supriyanto, A., & Yusra, H. (2021). *Optimalisasi Pemanfaatan Energi Biomassa di Indonesia*. Jurnal Teknologi Energi, 14(3), 89-102.
- Pratama, R., Nugroho, B., & Hasan, F. (2022). *Efisiensi Energi dalam Industri Semen di Indonesia*. Journal of Industrial Energy Efficiency, 9(1), 77-92.
- PT Semen Padang. (2020). *Laporan Tahunan Konsumsi Energi di PT Semen Padang*. PT Semen Padang.
- Rahman, M., & Oktaviani, D. (2020). *Dampak Perubahan Iklim terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Air di Indonesia*. Jurnal Ilmu Lingkungan, 11(2), 32-49.

- Samsudin, R., & Wibowo, T. (2020). *Implementasi dan Tantangan Pengembangan PLTMH di Indonesia*. Jurnal Teknik Energi, 13(2), 71-86.
- Santoso, J., & Wijaya, A. (2020). *Analisis Performa PLTMH di Daerah Terpencil: Studi Kasus di Jawa Tengah*. Journal of Small Hydro Power, 7(4), 22-39.
- Setiawan, D., Nugroho, B., & Pratama, R. (2021). *Waste Heat Recovery System dalam Industri Semen sebagai Upaya Efisiensi Energi*. Jurnal Teknik Industri, 10(3), 112-127.
- Supriyanto, A., Hasan, F., & Pratama, R. (2019). *Pemanfaatan Mikrohidro sebagai Sumber Energi Terbarukan di Industri Semen: Studi Kasus di PT Semen Padang*. Renewable Energy Journal, 6(1), 55-70.
- Sudiarja, H., & Handayani, T. (2022). *Efisiensi Energi melalui Penerapan Waste Heat Recovery di Pabrik Semen*. Jurnal Teknik Energi, 15(2), 134-150.
- Suwarman, D., Yusra, H., & Pratama, R. (2022). *Pemanfaatan Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia*. Journal of Renewable Energy Research, 8(3), 88-104.
- Sulistiyono, R., & Mahendra, P. (2020). *Fluktuasi Debit Air dan Dampaknya terhadap Produksi Energi PLTMH di Indonesia*. Jurnal Hidrologi Terapan, 9(2), 50-64.
- Wijaya, A., & Handayani, T. (2021). *Analisis Efisiensi dan Kinerja Turbin Mikrohidro di Daerah Berhutan Tropis*. Jurnal Teknik Energi Baru, 11(1), 25-42.
- Yusra, H., Pratama, R., & Supriyanto, A. (2020). *Analisis Pengembangan Energi Terbarukan di Indonesia*. Journal of Energy Sustainability, 7(1), 100-115.