

Perancangan *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Berbasis Turbin *Crossflow* Skala Laboratorium Menggunakan Metode VDI 2221

Fajar Kartono^{1*}, Joko Prihartono², Tan Rico Satria³

¹⁻³ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tama Jagakarsa, Indonesia

Email: fajarthartono770@gmail.com^{1*}, prihartonojoko2463@gmail.com², ricosatria0772@gmail.com³,

*Penulis Korespondensi: fajarthartono770@gmail.com

Abstract. The energy that is stored in water can be used to generate electricity by taking advantage of the potential energy available, like the energy from waterfalls and the movement of flowing water. Micro-hydropower plants (PLTMH) are one solution to address the energy crisis, particularly in electricity. VDI 2221 is a method that German engineers use as a guideline when designing construction projects. The VDI (Verein Deutscher Ingenieure or German Engineers Association) design process involves several stages: task description, design concept determination, physical design, and detailed design. Based on the solution principle matrix table, 3 variants were obtained, each of which has criteria. Of the 3 variants that have been evaluated, variant 2 was obtained with results that met the requirements. The cost analysis table shows that the total cost for designing a prototype test equipment for a micro-hydroelectric power plant (PLTMH) based on a laboratory-scale crossflow turbine is Rp 10,032,000. This cost includes instrumentation, control and electrical panels, measuring instruments, pipe instruments, frame and casing, and unforeseen costs.

Keywords: Crossflow Turbine; Energy; Laboratory; Power Plant; VDI 2221.

Abstrak. Energi yang tersimpan dalam air dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dengan memanfaatkan energi potensial yang tersedia, seperti energi dari air terjun dan pergerakan air yang mengalir. Pembangkit listrik mikrohidro (PLTMH) menawarkan solusi terhadap krisis energi, terutama dalam hal penyediaan listrik. VDI 2221 adalah metode yang digunakan oleh para insinyur Jerman sebagai pedoman dalam mendesain proyek konstruksi. Dalam perancangan VDI (Verein Deutscher Ingenieure atau Persatuan Insinyur Jerman) ini dilakukan beberapa tahap, yaitu: Penjabaran tugas, penentuan konsep rancangan, perancangan wujud dan perancangan detail. Berdasarkan tabel matrik prinsip solusi didapatkan 3 varian yang masing-masing memiliki kriteria. Dari 3 varian yang sudah dievaluasi, diperoleh varian 2 dengan hasil yang memenuhi syarat. Dari tabel analisa biaya didapatkan total biaya yang dikeluarkan untuk perancangan alat uji *prototype* pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) berbasis turbin *crossflow* skala laboratorium ini sebesar Rp 10.032.000. Biaya tersebut meliputi alat instrumen, panel kontrol dan kelistrikan, alat ukur, instrumen pipa, rangka dan *casing*, dan biaya yang tidak terduga.

Kata kunci: Energi; Laboratorium; Pembangkit Listrik; Turbin Crossflow; VDI 2221.

1. LATAR BELAKANG

Pembangkit listrik mikrohidro ialah solusi yang dapat membantu mengatasi krisis energi, terutama dalam hal listrik. Selain menjadi sumber energi terbarukan, PLTMH menawarkan beberapa keunggulan. Teknologi yang digunakan relatif sederhana, sehingga memungkinkan masyarakat setempat untuk mengelola dan mengoperasikan sistem ini. Biaya pembangkit listrik melalui PLTMH juga kompetitif dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis lainnya. PLTMH merupakan pembangkit listrik yang mengaplikasikan energi air dan memiliki daya *output* kurang dari 100 kW. Prinsip dasarnya adalah menggunakan variasi ketinggian dan pergerakan air dari sumber-sumber seperti saluran irigasi, sungai, dan air terjun. Saat air mengalir, ia menggerakkan *runner* turbin, menciptakan energi. Energi ini kemudian digunakan untuk mengoperasikan generator, yang menghasilkan listrik. (Mafruddin et al., 2016)

Adapun didalam suatu perancangan desain konstruksi mesin dikenal dengan istilah VDI 2221. VDI 2221 adalah metode yang digunakan oleh insinyur Jerman sebagai referensi mendasar saat membuat desain produk yang dijelaskan oleh G. Pahl dan W. Beitz. Oleh karena itu dalam perancangan *prototype* PLTMH berbasis turbin *crossflow* skala laboratorium menggunakan metode VDI 2221 melibatkan empat langkah utama yaitu penjabaran tugas, penentuan konsep desain, perancangan bentuk, dan desain terperinci.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

Bagaimana Merancang *Prototype* PLTMH Berbasis Turbin *Crossflow* Skala Laboratorium Menggunakan Metode VDI 2221?

Batasan Masalah

Batasan permasalahan dalam penelitian ini meliputi hasil desain konsep, analisis biaya, analisis biaya dari konsep desain dan perancangan menggunakan metode VDI 2221.

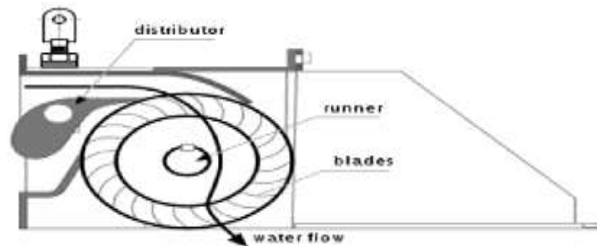
2. KAJIAN TEORITIS

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan teknologi yang menggunakan aliran air alami untuk menghasilkan energi listrik. Sistem ini menangkap pergerakan air dan mengubahnya menjadi listrik yang dapat digunakan melalui penggunaan turbin, yang menciptakan energi mekanik. Sebagai alternatif tipe turbin Bánki-Michell/*Crossflow* akan diterapkan dalam pemanfaatan sistem pembangkit listrik mikro hidro ini. Studi ini dirancang untuk menggunakan pada skala laboratorium. (Ahyadi & Prasetyo, 2022)

Turbin *Crossflow*

Turbin *crossflow* tergolong dalam kategori turbin impuls atau tekanan yang serupa. Karena tidak ada penurunan tekanan saat aliran melalui sudu turbin, perubahan utama terjadi di nosel atau pemandu pancaran air. *Runner* mendapatkan energi dalam bentuk gerak, yang disebut energi kinetik. Saat air melewati *runner* turbin, energi kinetik ini berubah menjadi kerja bermanfaat yang menggerakkan poros (Pangestu, 2021) . Sedikit energi hilang, sebagian besar karena gesekan pada bilah turbin, tetapi sebagian besar juga digunakan untuk melakukan kerja. Turbin impuls sumbu horizontal ini beroperasi dengan mengubah tekanan air menjadi energi kinetik di adaptor saluran masuk. Air mengalir ke dalam turbin mengenai sudu-sudu yang membuat *runner* berputar, kemudian mengalir melewati turbin dan mengenai set sudu selanjutnya. (Umurani, 2020)



Gambar 1. Arah aliran di dalam ruang turbin *crossflow*.

Metode VDI 2221

Desain adalah proses di mana orang menciptakan alat untuk memecahkan masalah dan meningkatkan kehidupan sehari-hari. Desain mesin mengacu pada pembuatan rencana untuk sebuah mesin dan semua bagian yang menyertainya (Prihartono, 2022). Metode VDI 2221 ialah metode perancangan yang digunakan oleh para insinyur Jerman dan didasarkan pada karya W. Beitz. dan G. Pahl.

Langkah Kerja VDI 2221

Prosedur kerja dalam VDI 2221 mencakup 7 langkah yang dikelompokkan menjadi 4 fase, ialah:

Rincian Tugas

Mencakup Langkah ini memerlukan pengumpulan informasi atau data mengenai kebutuhan dan batasan yang harus dipenuhi oleh alat tersebut. Hasil dari langkah ini adalah daftar persyaratan atau spesifikasi terperinci.

Perancangan Ide

Pada penetapan konsep desain ini mencakup 3 tahapan proses yaitu:

- a. Mencari prinsip penyelesaian dari strukturnya.
- b. Mengidentifikasi variasi yang bisa diwujudkan.
- c. Penetapan fungsi serta struktur.

Perancangan Bentuk

Dalam perancangan wujud ini, langkah pertama adalah membagi rancangan ke dalam modul yang kemudian diikuti oleh:

- a. Tata letak awal

Berbagai cara untuk menggabungkan ide solusi ditunjukkan melalui gambar sederhana terlebih dahulu, kemudian dipilih desain awal terbaik yang sesuai dengan faktor teknis dan biaya.

- b. *Lay out* definitif

- 1) Proses *assembling*

- 2) memilih tipe material, penyelesaian dan ketahanan material.
- 3) Teknik *calculation*.
- 4) Pemilihan wujud, dimensi dan toleransi
- 5) Perkiraan anggaran
- 6) Total komponen standar

Perancangan Detail

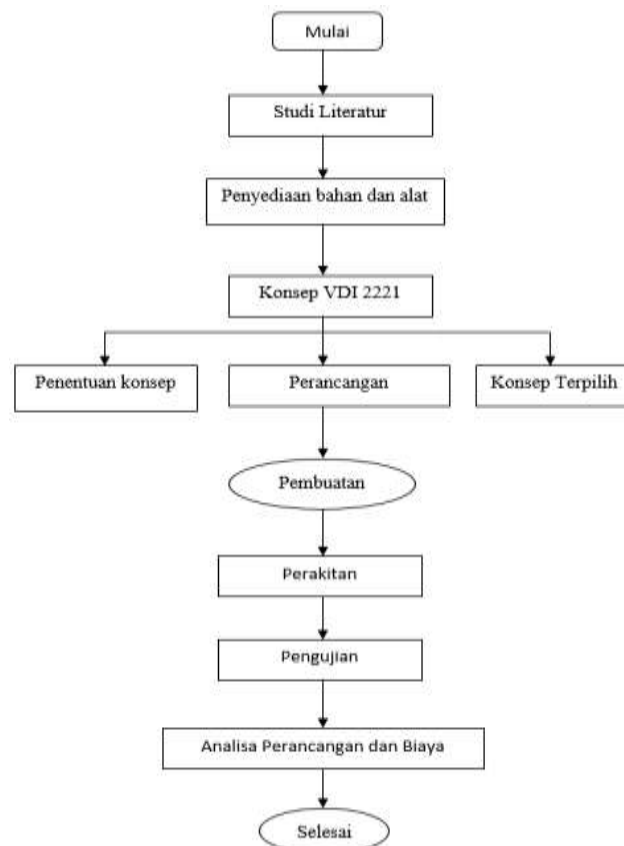
Pada tahap ini, hasil desain diubah menjadi dokumen produk, yang membantu dalam pembuatan produk untuk produksi berkelanjutan dan meningkatkan proses pengembangan.

Dokumen ini dapat mencakup:

- a. Desain produk
- b. Desain rincian untuk peralatan produk
- c. Sistem operasi
- d. Pemilihan komponen

3. METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir



Gambar 2. Diagram Alir.

Membuat Daftar Spesifikasi

Tabel 1. Daftar Spesifikasi Persyaratan PLTMH Berbasis Turbin *Crossflow*.

Parameter	Spesifikasi	Demand (D) / Wishes (W)
Geometri Rangka	Alat tidak terlalu berat	W
	Tinggi rangka 120 cm	D
	Lebar rangka 60 cm	D
	Panjang rangka 135 cm	D
	Ringkas dan optimal	W
Gaya dan Momen	Konstruksinya kuat dan kokoh.	D
	Gaya-gaya yang terlibat adalah gaya mekanik, gaya kinetik, dan gaya potensial air.	D
	Bisa digunakan oleh tenaga 1 orang dewasa.	D
Tenaga (Energi)	Energi dari alat ini adalah energi listrik, energi kinetik, energi mekanik, energi potensial.	D
	Rotor Generator mini	D
Kinematika	Rotor <i>runner</i> turbin	D
	Pompa air	D
	Material yang dipilih telah standar.	D
Material (Bahan)	Besi hollow 3x3 cm	D
	Material harus tahan korosi dan sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan	D
	Harga material ekonomis	W
	Bahan mudah diakses dan tersedia.	W
Signal	Menggunakan tombol-tombol yang dioperasikan.	D
Keselamatan	Menjamin keselamatan operator dan orang lain.	D
	Tidak teralu berisik	W

Tabel 2. Daftar Spesifikasi Persyaratan PLTMH Berbasis Turbin *Crossflow*.

Parameter	Spesifikasi	Demand (D) / Wishes (W)
Pembuatan produksi	Konstruksi sederhana dan mudah dikerjakan.	D
	Dibuat di workshop sendiri.	D
	Mutu dan toleransi ketelitian dapat dijaga.	D
	Menggunakan komponen standar.	D
	Komponen mudah dibongkar-pasang.	D
	Sistem perakitan komponen mudah dipahami.	D
	Tidak memerlukan tempat khusus untuk merakit.	D
Pengoperasian	Mudah dioperasikan (tidak rumit).	D
	Aman pada waktu pengoperasian.	D
	Dioperasikan manual.	D
	perawatan relatif mudah.	D
Perawatan	Biaya perawatan murah	W
	Mudah dibersihkan.	
	Mudah diperbaiki apabila terjadi kerusakan.	D

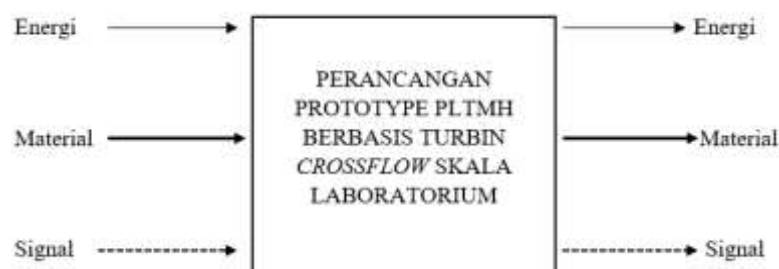
Harga	Harga relatif terjangkau	W
Lingkungan	Bebas polusi	
	Evaluasi dapat dilakukan setelah aplikasi perancangan produk selesai.	D
Jadwal	Waktu perakitan ditentukan.	D
	Membuat jadwal perancangan produk dari awal hingga akhir.	D

Membuat Abstraksi

Abstraksi pada dasarnya adalah mengesampingkan aspek-aspek yang bersifat khusus dan menekankan aspek-aspek bersifat general dan penting. Hasil penilaian dari abstraksi menunjukkan bahwa *prototype* alat pengujian PLTMH melalui turbin *crossflow* ini sangat ekologis (bebas polusi dan tidak bising) serta dapat digunakan pada *head* rendah.

Membuat Struktur Fungsi

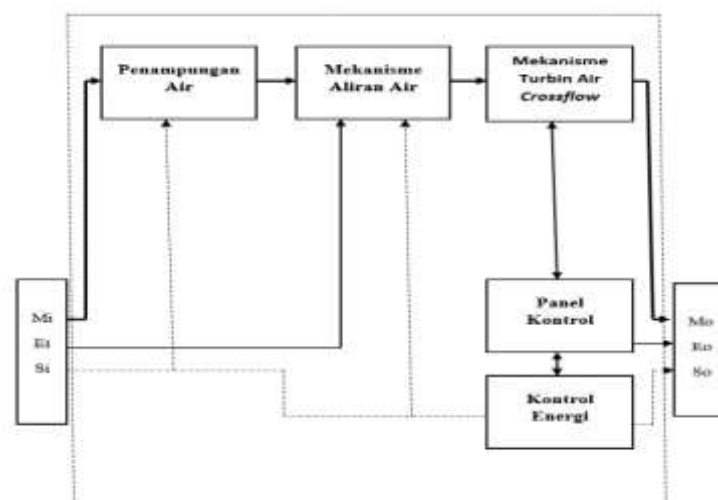
Struktur subfungsi merupakan serangkaian subfungsi yang melaksanakan fungsi keseluruhan dan memiliki hubungan antara *input* dan *output* yang di inginkan.



Gambar 3. Fungsi Keseluruhan Perancangan Alat Turbin.

Membuat Struktur Sub Fungsi

Berdasarkan fungsi keseluruhannya, struktur tersebut diorganisir dengan mengidentifikasi bagian-bagian yang dibutuhkan.



Gambar 4. Sub-Fungsi Alat.

Keterangan:

Ei : Energi input

Eo : Energi output

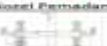
Mi : Material input

Si : Signal input

So : Signal output

Mo : Material output

Membuat Prinsip Solusi

No.	Prinsip Solusi / Sub Fungsional	1	2	3
1	Jenis Pompa	 Pompa Jet Pump	 Pompa Sentrifugal	 Pompa Aksial
2	Jenis Sudu/blade	 Sudu T. Crossflow	 Sudu T. Pelton	 Sudu T. Propeller
3	Jenis nozzel	 Pipa PVC	 Nozel Turbin Pelton	 Nozel Pemadam
4	Jenis Poros	 Poros Gandar	 Poros Transmisi	 Poros Spindle
5	Jenis Katup	 Stop Keras PVC	 Ball Valve	 Butterfly Valve
6	Jenis sistem transmisi daya	 Roda Gigi	 Pulley	 Rantai
7	Jenis Dahan/Rangka	 Besi Siku	 Besi Hollow	 Besi Siku Berlubang

Gambar 5. Prinsip Solusi.

Membuat Kombinasi Prinsip Solusi

No.	Prinsip Solusi / Sub Fungsional	1	2	3
1	Jenis Pompa	 Pompa Jet Pump	 Pompa Sentrifugal	 Pompa Aksial
2	Jenis Sudu/blade	 Sudu T. Crossflow	 Sudu T. Pelton	 Sudu T. Propeller
3	Jenis nozzel	 Pipa PVC	 Nozel Turbin Pelton	 Nozel Pemadam Kebakaran
4	Jenis Poros	 Poros Gandar	 Poros Transmisi	 Poros Spindle
5	Jenis Katup	 Stop Keras PVC	 Ball Valve	 Butterfly Valve
6	Jenis sistem transmisi daya	 Roda Gigi	 Pulley	 Rantai
7	Jenis Rangka	 Besi Siku	 Besi Hollow	 Besi Siku Berlubang

Gambar 6. Sub Varian Kombinasi Prinsip Solusi.

Varian-varian tersebut antara lain:

Varian 1= 1.2 – 2.2 – 3.2 – 4.2 – 5.1 – 6.2 – 7.2

Varian 2= 1.2 – 2.1 – 3.1 – 4.2 – 5.2 – 6.2 – 7.2

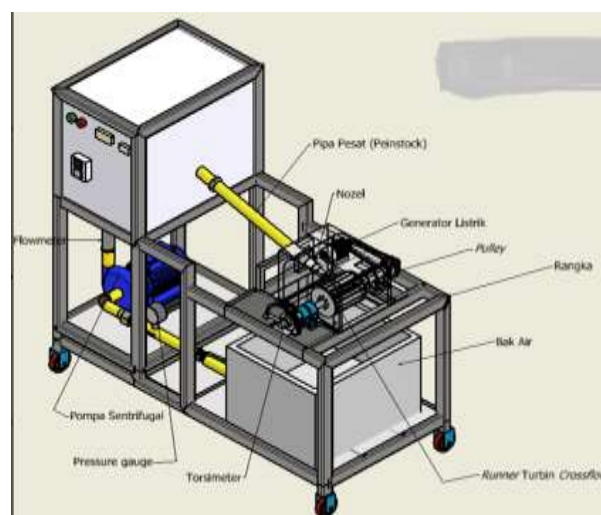
Varian 3= 1.1 – 2.3 – 3.1 – 4.2 – 5.2 – 6.1 – 7.2

Hasil Pemilihan Konsep Alat

Hasil dari perencanaan ini mencakup pengecekan konsep varian yang terpilih, khususnya hasil dari pemilihan dari opsi konsep yang telah ada, sehingga berhasil dipilih konsep varian 2 yaitu, turbin *crossflow* karena dari hasil varian solusi telah memenuhi kriteria sesuai permintaan. Alat *prototype* pembangkit listrik mudah dirakit, mudah perawatan, faktor biaya ekonomis dan mudah untuk diproduksi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan Alat *Prototype* PLTMH Berbasis Turbin *Crossflow*



Gambar 7. Hasil Perancangan Alat.

Alat uji *prototype* PLTMH berbasis turbin *crossflow* digunakan untuk mengetahui karakteristik dari performa turbin *crossflow* dalam skala laboratorium yang menggunakan energi listrik untuk penggerak energi mekanik kemudian pompa mengubah energi mekanik menjadi energi potensial, yang kemudian diubah menjadi energi kinetik dalam bentuk aliran air. Aliran air ini keluar dari nosel dan menghantam bilah turbin *runner*, sehingga *runner* berputar.

Analisa Hasil Konsep Perancangan

Proses pembuatan ide desain untuk alat uji *prototype* PLTMH ini memiliki tiga langkah utama. Pertama, menentukan fungsi alat uji dan cara pembuatannya. Selanjutnya, menemukan ide-ide dasar yang dapat memecahkan masalah. Kemudian, memecah ide-ide tersebut menjadi

berbagai desain yang mungkin dapat dibuat. Proses desain dimulai dengan membagi proyek menjadi beberapa bagian atau modul. Setelah itu, membuat desain awal dan kemudian desain akhir. Setelah desain siap, melanjutkan ke pembuatannya. Bagian ini mencakup pembuatan gambar detail yang menunjukkan dengan tepat bagaimana alat uji tersebut harus dibuat.

Analisa Biaya

Analisis biaya untuk mendesain alat ini dimulai selama fase perencanaan anggaran saat membuat *prototype* PLTMH berbasis turbin *crossflow* skala laboratorium dari awal sampai akhir.

Tabel 3. Biaya Pembuatan Alat.

TOTAL BIAYA KESELURUHAN DALAM MEMBUAT ALAT	
ANGGARAN	BIAYA
Biaya Pembelian Alat Instrumen Pompa Air dan Turbin <i>Crossflow</i>	Rp. 1.553.000
Biaya pembelian Panel Kontrol dan Kelistrikan	Rp. 405.000
Biaya Pembelian Alat Ukur	Rp. 1.194.000
Biaya Pembelian Instrumen Pipa	Rp. 404.000
Biaya Pembelian Rangka dan Rumah Turbin	Rp.1.876.000
Biaya Lain-lain/Tak Terduga	Rp. 4.600.000
Total Biaya	Rp. 10.032.000

Hasil analisis biaya dalam proses perancangan *prototype* PLTMH berbasis turbin *crossflow* skala laboratorium ini meliputi pengeluaran untuk pengadaan material serta proses semua kebutuhan baik tahapan produksi maupun pasokan material yang diperlukan selama perancangan ini, menghabiskan anggaran pembiayaan sebesar Rp. 10.032.000 (Sepuluh Juta Tiga Puluh Dua Ribu).

Analisa Biaya Terhadap Perancangan

Hasil analisis biaya dari desain *prototype* PLTMH yang berbasis turbin *crossflow* skala laboratorium yang telah dirancang memenuhi standar dan kriteria berdasarkan pada pendekatan perancang, yang dimulai dengan anggaran biaya, meliputi pembelian material, serta mencakup biaya produksi yang diperlukan untuk memproduksi alat uji turbin *crossflow* ini. Metode VDI sangat mendukung dalam proses desain, sehingga pengeluaran yang dilakukan sejalan dengan kenaikan harga komponen alat sesuai harapan perancang. Biaya yang dikeluarkan untuk anggaran yang dikeluarkan sebesar Rp 10.032.000. Biaya tersebut meliputi alat instrumen, panel kontrol dan kelistrikan, alat ukur, instrumen pipa, rangka dan *casing*, dan biaya yang tidak terduga.

5. KESIMPULAN

Proses perancangan gambar untuk konsep alat ini melibatkan penggunaan *Software Autodesk Inventor 2023*, Dalam merancang *prototype* PLTMH berbasis turbin *crossflow* ini memakai metode VDI 2221 dan menghasilkan 3 varian berbeda, dari ketiga varian tersebut dipilih varian 2 yaitu turbin *crossflow*, karena dari evaluasi konsep varian merupakan hasil yang telah memenuhi syarat. Dan dari hasil analisa pembiayaan untuk pembuatan *prototype* PLTMH berbasis turbin *crossflow* skala laboratorium ini mengikuti standar dan persyaratan yang ditetapkan oleh perancang.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, R. (2014). Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 10(4), 28–36. <https://doi.org/10.17529/jre.v10i4.1113>
- Ahyadi, H., & Prasetyo, D. A. (2022). Analisa rancang bangun turbin cross-flow saluran terbuka dengan debit air 14 liter/menit skala laboratorium. *Presisi*, 24(2), 1–10. <https://ejournal.istn.ac.id/index.php/presisi/article/view/1316>
- Alwie, R. D. D., Furwanti, A., Prasetyo, A. B., & Andespa, R. (2020). Tugas akhir. *Jurnal Ekonomi*, 18(1), 41–49.
- Arismunandar, W. (2004). *Penggerak mula turbin*. Institut Teknologi Bandung.
- Assobuni, M. A., Rachmanto, T., & Joniarta, W. (2021). Pengaruh variasi sudut kemiringan sudu turbin cross-flow terhadap unjuk kerja simulator pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). *Jurnal Teknik Mesin*, 62, 1–10.
- Dietzel, F., & Sugiyono, D. (1993). *Turbin, pompa, dan kompresor*. Erlangga.
- Firhan, M. L. (2021). Analisis kinerja pembangkit listrik tenaga mikrohidro turbin whirlpool dengan menggunakan enam sudu. *Teknovasi*, 8(4), 88–97.
- Mafruddin, M., & Irawan, D. (2014). Pembuatan turbin mikrohidro tipe cross-flow sebagai pembangkit listrik di Desa Bumi Nabung Timur. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 3(2). <https://doi.org/10.24127/trb.v3i2.12>
- Mafruddin, M., & Irawan, D. (2020). *Turbin impuls*. CV Laduny Alifatama.
- Mafruddin, M., Amrul, A., & Amrizal, A. (2016). Studi eksperimental sudut nosel dan sudut sudu terhadap kinerja turbin cross-flow. *Mechanical*, 8(1), 24–33. <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/mech/article/view/4>
- Pahl, G., & Beitz, W. (2007). *Engineering design: A systematic approach* (3rd ed.). Springer. (Digunakan sebagai rujukan Metode VDI 2221 – Verein Deutscher Ingenieure).
- Pangestu, A. D. (2021). Pembangkit listrik tenaga air dengan teknik turbulent whirlpool. *IKRAITH-Teknologi*, 5(3), 58–65.
- Prihartono, J. (2022). Perancangan alat uji kekerasan metode Brinell dan Rockwell berdasarkan VDI 2221. *Presisi*, 24(1).
- Subandono, A. (2013). Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). *ADITYA: Pendidikan Bahasa dan Sastra Jawa*, 10(4), 1–13.
- Umurani, K. S.-A. (2020). Pengaruh jumlah sudu prototipe pembangkit listrik tenaga mikrohidro tipe whirlpool terhadap kinerja. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(2), 103–111. <https://doi.org/10.30596/rmme.v3i2.5272>