

Studi Peningkatan Performa Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Dengan Modifikasi Konstruksi Turbin *Crossflow* Portabel

Budi Triyono¹⁾, Bella Maharani Marcellia Suseno²⁾, Haryadi³⁾, Vicky Wuwung⁴⁾, Dibyo Setiawan⁵⁾,
¹⁻⁵⁾Politeknik Negeri Bandung, Bandung Barat
dibyo.setiawan@polban.ac.id

Abstrak

Listrik merupakan hal yang sangat penting, pembangkit listrik tenaga air (PLTPH) piko portabel merupakan solusi penyediaan energi listrik pemanfaatan sumber air *head* rendah dan aliran kecil untuk mengisi daya laptop dan ponsel. Pada tahun 2021 telah dibuat prototipe PLTPH portabel tipe *cross flow*. PLTPH yang dikonstruksi masih memiliki beberapa kelemahan dan belum mampu menghasilkan daya listrik sesuai target desainnya. Oleh karena itu, dilakukan kajian pengembangan melalui modifikasi PLTPH portabel yang bertujuan untuk meningkatkan kehandalan, kemudahan instalasi, daya keluaran dan efisiensi. Pembahasan difokuskan untuk mengetahui peningkatan kinerja turbin yang telah dimodifikasi dibandingkan sebelumnya. Hasil dari penelitian ini berupa prototipe PLTPH portabel tipe *cross flow*. Hasil pengujian PLTPH portabel yang dimodifikasi menghasilkan kecepatan putaran 794 rpm pada debit 3.867 l/s, *head* 2 m, daya mekanik 20.13 Watt dan efisiensi 26%.

Kata Kunci: Piko Hidro, Turbin, Performa, *Cross Flow*

Abstract

Electricity is very important, the portable pico hydroelectric power plant (PLTPH) is a solution for providing electrical energy using low-head and small-flow water sources to charge laptops and cellphones. In 2021, a cross-flow type portable PLTPH prototype was created. The constructed PLTPH still has several weaknesses and is not able to produce electrical power according to its design target. Therefore, a development study was carried out through modification of the portable PLTPH which aims to increase reliability, ease of installation, output power, and efficiency. The discussion is focused on determining the improvement in performance of the modified turbine compared to before. The results of this research are a cross-flow type portable PLTPH prototype. The test results of the modified portable PLTPH produced a rotation speed of 794 rpm at a discharge of 3,867 l/s, a head of 2 m, a mechanical power of 20.13 Watts, and an efficiency of 26%.

Keywords: Piko Hydro, Turbine, Performance, *Cross Flow*.

Pendahuluan

Isu transisi energi menjadi perhatian di dunia, dalam upaya menjaga keberlangsungan ekosistem makhluk hidup. Indonesia berupaya melaksanakan kebijakan transisi energi, melalui Pemerintah Indonesia telah disahkan beberapa produk hukum menunjang transisi energi yang kemudian disusun peraturan teknis ditingkat Kementerian/Lembaga (Univeritas Katolik Parahyangan, 2023). Berdasarkan angka statistik Provinsi Jawa Barat tahun 2023 pada bagian Pertambangan dan Energi, terdapat informasi tentang data daya listrik terpasang tahun 2022 sebesar 30.196,9 MVA,

pelanggan listrik sebanyak 16.310.301 meningkat sebesar 3,45% dengan jumlah terbesar pemakaian di daerah cikarang Kabupaten Bekasi sebesar 13,16% (Barat, 2023). Selanjutnya pada media detik jabar yang ditulis oleh Erick Disy Darmawan, berdasarkan informasi tersebut diketahui bahwa di Provinsi Jawa Barat masih terdapat daerah yang belum teraliri listrik seperti 4.000 Rumah di Majalengka Belum Teraliri Listrik Mandiri (Darmawan, 2023). Sesuai kedua data yang ada terdapat kesenjangan bahwa masih terdapat daerah di Provinsi Jawa Barat yang masih belum terdistribusi energi listrik.

Karakteristik Provinsi Jawa Barat secara geografis, memiliki kontur dan sungai yang dapat berpotensi untuk pemanfaatan sumber daya air yang dapat dikonversi menjadi energi listrik (Setiawan et al., 2023), Indonesia telah merealisasi pembangkitan energi listrik yang bersumber dari sumber daya air (Abdullah Nasir, 2014) sebesar 45,379 MW dari total capaian 75,091 MW (Rianta, 2021). Menurut SNI 8396:2019 tentang Klasifikasi pembangkit listrik terdapat informasi standard klasifikasi energi air skala kecil (Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air, 2019) seperti piko 5 kW; mikro 5 kW-1 MW terdapat 4 kelas A, B, C dan D; mini 1-10MW; skala menengah 10-50MW dan skala besar >50MW (Wahid & Erwanto, 2020). PLTPH memiliki konstruksi dan instalasi yang lebih sederhana (Haryadi, Ali Mahmudi, Sugianto, 2023), PLTPH tersebut dapat beroperasi pada *head* rendah (Haryadi, Ali Mahmudi, Sugianto & Dibyo Setiawan., 2023). Berikut merupakan kajian sejenis yang dilakukan peneliti dalam rangka menunjang keterkaitan kegiatan:

Budi Triyono, dkk (Triyono et al., 2014) dengan judul Alat pembangkit listrik tenaga mikro hidro portabel berfokus pada kemudahan instalasi yang cepat dan praktis, dapat beroperasi di *head* rendah sekitar 2-3 m dan dengan berat 23 kg. Hasil kegiatan diperoleh daya luaran sebesar 25 Watt, putaran 800 rpm. Daya luaran dapat dimanfaatkan untuk sumber tenaga lampu, mengisi ulang baterai gawai dan *notebook*.

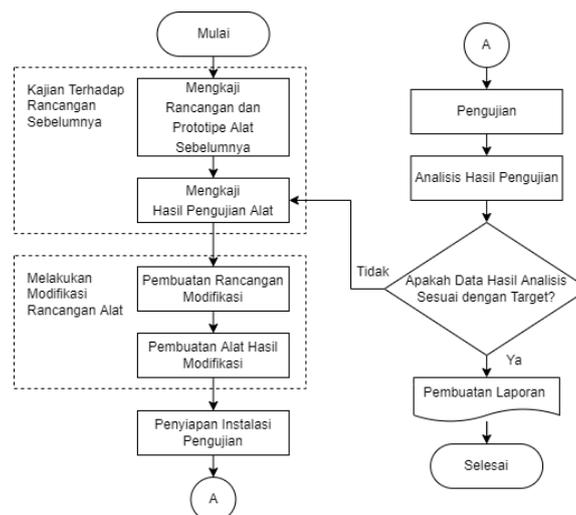
Roy Hadiyanto dkk (Hadiyanto et al., 2013) Prototipe mikro hidro portabel rancangan berfokus pada proses perancangan pada penggunaan alat yang dapat dilakukan pada aliran dan debit yang kecil dan kepraktisan alat yang bersifat portabel dan *moveable*. Prototipe digunakan tipe *cross-flow*, material dasar *HDPE* dan *runner* turbin menggunakan pipa PVC. Hasil pengujian diperoleh efisiensi maksimal 5.24% penggunaan tinggi pipa setinggi 100 cm, arus maksimal berada di 114.7 mA menggunakan resistansi 330 Ω dan tegangan maksimum sebesar 5.94 V.

Politeknik Negeri Bandung memiliki rencana strategik dan rencana induk penelitian serta peta jalan penelitian setiap kelompok keahlian didalamnya, salah satunya terkait pengembangan energi baru terbarukan dari sumber daya air. Tahun 2021 telah dilakukan penelitian terkait pengembangan pembangkit listrik tenaga piko hidro yang di laksanakan oleh Dzulfikri dkk dengan pemilihan *head* dibawah 10m (Elbatran et al., 2015) dipilih jenis turbin *cross flow* (Sugiyanto, 2016), hasil penelitian berupa prototipe PLTPH portabel dengan jenis turbin *cross flow* (Spesifikasi Turbin *Cross-Flow* PLTMH Kelas A, 2019), target luaran daya sebesar 12 W dengan debit minimal yang dibutuhkan 0.00437 m³/s atau 4,37 l/s serta *head* 4 m. Konstruksi alat tersebut memiliki kelemahan seperti bentuk saluran masuk dan saluran keluar yang tidak praktis, keandalan *runner* rendah, rangkaian listrik pada pengujian, sistem perpipaan, dan instrumen pengukuran kurang optimal. Kelemahan dimaksud mengakibatkan belum tercapainya target daya, melalui kegiatan penelitian ini dilakukan modifikasi alat PLTPH portabel yang bertujuan meningkatkan performa PLTPH dalam rangka memenuhi capaian luaran yang diharapkan.

Metode

2.1. Metode Pelaksanaan Kegiatan

Metode pelaksanaan kegiatan peningkatan performa yang dilaksanakan di tunjukkan pada diagram alir kegiatan digambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Kegiatan

Berdasarkan diagram alir gambar 1, kegiatan terbagi atas 4 tahapan kegiatan utama meliputi (1) kajian rancangan terdahulu, (2) modifikasi rancangan, (3) pengujian dan

pelaporan hasil kegiatan untuk membandingkan hasil performa alat dengan terdahulu dan (4) capaian target luaran.

2.2. Kajian Rancangan Terdahulu

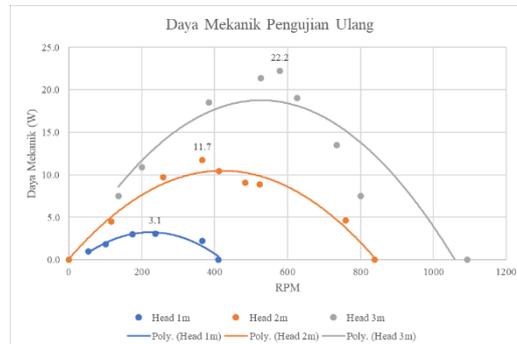
Alat PLTPH eksisting yang telah dibuat Dzulfikri dkk ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Konstruksi fisik dan persiapan pengujian turbin *crossflow* eksisting

PLTPH eksisting dilakukan pengujian kembali untuk mengetahui performa alat. Adapun persiapan dan pengujian ditunjukkan digambar 2:

Formulir yang telah tersedia, digunakan untuk mencatat dokumentasi sebelum dan sesudah di modifikasi (Salam et al., 2019). Selanjutnya dapat disusun kurva hubungan putaran turbin terhadap torsi dari variasi *head*. Kurva analisis ditunjukkan digambar 3.



Gambar 3. Kurva hubungan putaran terhadap torsi pada PLTPH *eksisting*

Pengujian yang telah dilakukan terhadap alat eksisting, diperoleh daya luaran maksimal dari *generator* dengan *head* 3 m sebesar 4,79 Watt, sedangkan daya mekanis maksimal sebesar 22,22 Watt, sehingga diperoleh untuk efisiensi *generator* sebesar 22%.

2.3. Modifikasi Rancangan Alat

Modifikasi PLTPH portabel merujuk pada hasil kajian alat sebelumnya, tahapan awal modifikasi yang dilakukan terdiri dari menyusun rancangan teknis. Rancangan

menggunakan pendekatan segitiga kecepatan turbin (Setiawan et al., 2019). Hasil ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil rancangan segitiga kecepatan turbin modifikasi

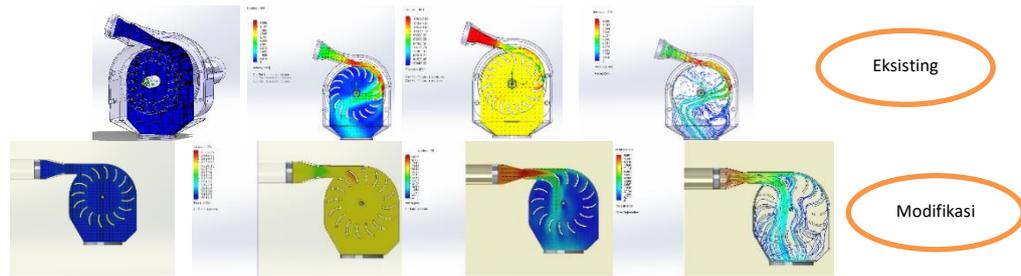
Perhitungan	Notasi	Nilai	Satuan
Debit air	Q	0.0044	m ³ /s
Daya air hidrolis	P_h	172.7	W
Kecepatan absolut luar awal	V_1	8.68	m/s
Kecepatan tangensial luar awal	u_1	4.13	m/s
Kecepatan relatif luar awal	w_1	27.3	m/s
Kecepatan tangensial dalam	u_2'	2.75	m/s
Kecepatan absolut dalam	V_1'	5.24	m/s
Kecepatan relatif dalam	w_2'	40.93	m/s
Kecepatan absolut luar akhir	V_2	26.42	m/s
Kecepatan relatif luar akhir	w_2	26.74	m/s
Daya efektif turbin	P_e	48.8	W
Luas penampang Nosel	A	714.14	mm ²

Tahap selanjutnya yaitu mengadakan komponen standard seperti: *generator dc*, poros, kopling, bantalan, baut, mur, *o-ring* dan *oil seal*. Tahap setelah pengadaan adalah penyusunan gambar rancangan modifikasi, dimensi alat PLTPH portabel memiliki PxLxT 267 mm x 190 mm x 227 mm. Berdasarkan kelemahan yang diketahui (Prasetyo et al., 2021), diperlukan modifikasi dengan menyederhanakan komponen yg dianggap masih terdapat kelemahan (Mafruddin et al., 2016). Rancangan hasil modifikasi komponen dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Realisasi rancangan modifikasi alat PLTPH *cross flow* dengan 3D print

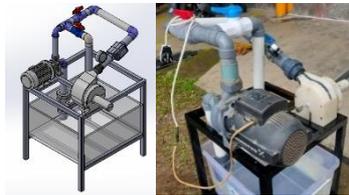
Pada gambar 5 ditampilkan hasil simulasi rancangan alat hasil modifikasi menggunakan *computational fluid dynamics* (CFD) (Triyono et al., 2024). Hasil simulasi diperoleh bahwa rancangan hasil modifikasi tersebut dapat menghasilkan daya sebesar 44,55Watt; lebih besar jika dibandingkan daya yang dihasilkan alat sebelum modifikasi yaitu 29,72 watt. Kenaikan daya mekanis antara rancangan hasil modifikasi dibandingkan rancangan sebelumnya terjadi kenaikan sebesar 33,5%.



Gambar 5. Simulasi pola aliran fluida PLTPH eksisting dan modifikasi

2.4. Modifikasi dan Instalasi Rancangan Alat

Manufaktur unit modifikasi ditunjukkan pada gambar 6, selanjutnya dilakukan pengujian kembali dengan prosedur yang sama.



Gambar 6. Perlengkapan pengujian alat PLTPH yang telah di modifikasi

Hasil dan Pembahasan

3.1. Perbandingan Kinerja

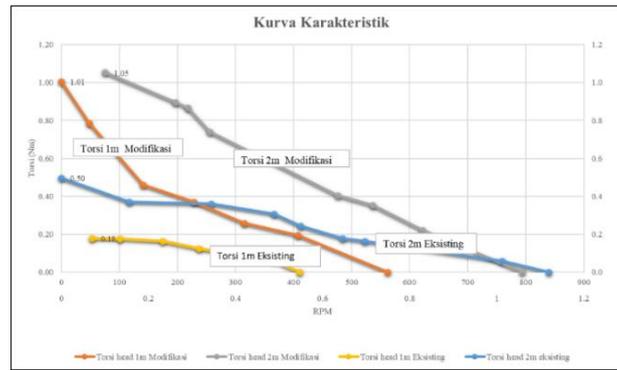
Hasil pengujian alat PLTPH sebelum dan setelah modifikasi berdasarkan hasil kedua perbandingan ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Komparasi hasil uji

Deskripsi	Eksisting	Modifikasi	Kenaikan
Luas penampang nosel [mm ²]	503,2	714,14	42%
Debit [l/s]	2,532	3,867	53%
Torsi maks [Nm]	0,50	1,05	110%
Putaran maks [rpm]	839	794	-5%
Daya 1 m	3,1W	8,83W	185%
RPM daya maks 1 m	237	228	-4%
Daya 2 m	11,7W	20,13W	72%
RPM daya maks 2 m	366	476	30%
Efisiensi pada 1 m	20%	30,5%	53%
RPM Eff maks 1 m	175	228	30%
Efisiensi 2 m	23%	26%	13%
RPM Eff maks 2 m	366	218	-40%

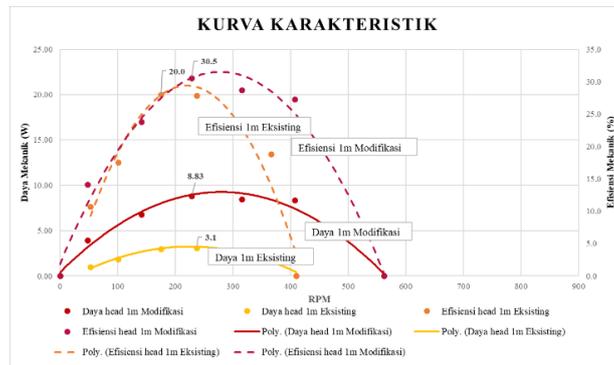
3.2. Kurva Hubungan Putaran terhadap Torsi

Gambar 8 merupakan kurva yang diperoleh dari hasil komparasi hasil pengujian, diketahui semakin besar *head*, semakin tinggi kecepatan putaran turbin yang dihasilkan. Seiring bertambahnya kecepatan putar turbin, respon torsi menurun. Besar torsi berpengaruh pada daya mekanik yang dihasilkan.



Gambar 8. Kurva Karakteristik Torsi Terhadap Putaran Turbin

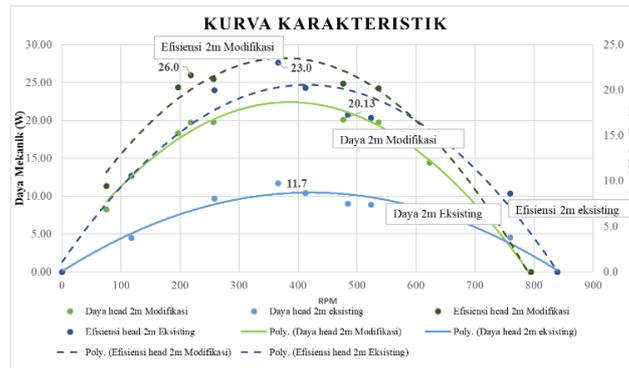
Alat hasil modifikasi menghasilkan torsi lebih besar dari alat eksisting dengan kenaikan sebesar 110%. Hal tersebut dipengaruhi desain saluran masuk air yang lebih besar dengan kenaikan 53% luas hasil mdifikasi $714,14 \text{ mm}^2$ dibandingkan alat eksisting luas $503,2 \text{ mm}^2$, sehingga debit air yang masuk menjadi lebih besar. Semakin besar debit maka daya mekanis yang dihasilkan semakin besar, karena adanya penambahan kecepatan dan massa aliran yang menumbuk permukaan sudu turbin sehingga, gaya tangensial meningkat dan berdampak pada torsi dan daya poros turbin.



Gambar 9. Kurva Karakteristik pada head 1 m

Gambar 9 menunjukkan perbandingan kurva daya dan efisiensi pada kondisi head 1 meter. Besar kenaikan daya adalah dari 3,1 watt menjadi 8,8 watt atau meningkat sebesar 185% dan kenaikan efisiensi adalah dari 20,0% menjadi 30,5%.

Gambar 10 menunjukkan perbandingan kurva daya dan efisiensi pada kondisi head 2 meter. Besar kenaikan daya pada head 2 meter adalah dari 11,7 watt menjadi 20,1 watt atau meningkat 72% dan kenaikan efisiensi dari 23,0% menjadi 26,0% atau terjadi peningkatan efisiensi 13%.



Gambar 10. Kurva Karakteristik pada head 2 m

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan, keseluruhan hasil modifikasi menunjukkan hasil yang baik dan memuaskan, meskipun demikian, tegangan dan arus belum di peroleh dikarenakan kesulitan memperoleh unit generator yang dapat beroperasi pada putaran rendah sekitar 300-500 rpm.

Simpulan dan Saran

Modifikasi yang dilakukan untuk meningkatkan performa alat PLTPH portabel diterapkan modifikasi pada beberapa komponen. Spesifikasi rancangan terbangkitkan sebesar 12 W, dengan head 4 m dan debit sebesar 4,4 l/s serta kecepatan aliran masuk sebesar 8,7 m/s. Hasil pengujian alat yang di modifikasi diperoleh kecepatan putar sebesar 794 rpm, debit 3.867 l/s, dan head 2 m, menghasilkan daya poros sebesar 20.13 W dan efisiensi 26%. Sedangkan, hasil pengujian pada alat eksisting diperoleh kecepatan putar sebesar 839 rpm, debit 2.532 l/s, dan head 2 m, memperoleh daya poros sebesar 11.7 W dan efisiensi sebesar 23%. Hasil modifikasi meningkatkan daya poros 72% dan efisiensi mekanik 13%.

Daftar Pustaka

- Abdullah Nasir, B. (2014). Suitable Selection of Components for the Micro-Hydro-Electric Power Plant. *Advances in Energy and Power*, 2(1), 7–12. <https://doi.org/10.13189/aep.2014.020102>
- Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air, Pub. L. No. 718/KEP/BSN/12/2019, SNI 8396:2019 11 (2019). <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DetailSNI/12551>
- Barat, B. P. J. (2023). Provinsi Jawa Barat Dalam Angka 2023. In *Provinsi Jawa Barat Dalam Angka 2023* (Vol. 1, Issue August). <https://jabar.bps.go.id/publication/2023/02/28/57231a828abbfdd50a21fe31/provinsi-jawa-barat-dalam-angka-2023.html>
- Darmawan, E. D. (2023). 4.000 Rumah di Majalengka Belum Teraliri Listrik Mandiri. *DetikJabar*. <https://www.detik.com/jabar/berita/d-6733747/4000-rumah-di>

majalengka-belum-teraliri-listrik-mandiri

- Elbatran, A. H., Yaakob, O. B., Ahmed, Y. M., & Shabara, H. M. (2015). Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.045>
- Hadiyanto, R., Bakri, F., & Fisika, J. (2013). Rancang Bangun Prototipe Portable Mikro Hydro Menggunakan Turbin Tipe *Cross Flow*. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, 2(1), 19–25. <http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/prosidingsnf/article/view/5554>
- Haryadi, Ali Mahmudi, Sugianto, D. S. (2023). Studi Pengaruh Debit Dan Jumlah Tingkat Helical Runner Terhadap Efisiensi Turbin Vorteks PLTPH. *Jurnal Crankshaft, Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 9–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.24176/crankshaft.v6i2.10876>
- Haryadi, Ali Mahmudi, Sugianto, & Dibyو Setiawan. (2023). Studi Pengaruh Debit dan Jenis Runner Terhadap Efisiensi Turbin Vorteks PLTPH. *Jurnal Permadi : Perancangan, Manufaktur, Material Dan Energi*, 5(2), 66–77. <https://doi.org/10.52005/permadi.v5i2.121>
- Spesifikasi turbin cross-flow PLTMH kelas A, Pub. L. No. SNI 7932:2019, 26 (2019). <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/12/28/2750/standar.nasional.indonesia.sni.pembangkit.ebt?lang=en>
- 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/pdf>
- Prasetyo, A., Haryudo, S. I., Agung, A. I., & Kartini, U. T. (2021). Analisa Perubahan Daya Aktif Generator Serta Efisiensi Mekanik Generator Yang Dipengaruhi Oleh Perubahan Kemiringan Sudut Sudu Turbin Berpenampang Pelat Datar Pada Kinerja Turbin Aliran Crossflow Poros Horizontal. *Jurnal Teknik Elektro*, 11(1), 30–39. <https://doi.org/10.26740/jte.v11n1.p30-39>
- Rianta, M. G. (2021). *Mengenal Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)*. IndonesiaRe.
- Salam, A., Sonda, L., Jamal, J., Anas, A., Ichsan, M. N., & Tanopa, R. (2019). Kaji Teoretis Dan Eksperimental Turbin Crossflow Pancaran Ganda Kapasitas 3kW-5kW. *Jurnal Sinergi Jurusan Teknik Mesin*, 16(2), 107. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v16i2.1505>
- Setiawan, D., Ode, L., & Sorimuda, M. F. (2019). Perancangan dan Optimasi Desain Turbin Francis Pada Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro di Bendungan Jatibarang Kota Semarang. *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 9(3), 20–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.35814/teknobiz.v9i3.1152>
- Setiawan, D., Rahman, Y. A., Ardi, H. M., Jakariya, J., Kurnia, D., & Nugraha, A. (2023). Pelatihan perencanaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro pada program Innovation and Investment for Inclusive Sustainable Economic Development. *KACANEGARA Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 6(2), 243–252. <https://doi.org/10.28989/kacanegara.v6i2.1515>
- Sugiyanto, D. (2016). Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Kaplan Dengan Variasi Debit Air. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 1(1), 31–42.

<https://doi.org/10.52447/jktm.v1i1.331>

- Triyono, B., Haryadi, & Nurega, P. (2014). Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Head Rendah dan Portable. *Jurusan Teknik Mesin*, 2008, 172–177. <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/425>
- Triyono, B., Yudrika, M. A., & Setiawan, D. (2024). Simulasi Turbin Portabel Jenis Cross Flow Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH). *Jurnal Crankshaft, Jurnal Teknik Mesin*, 7(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.24176/crankshaft.v7i1.11975>
- Univeritas Katolik Parahyangan. (2023). *Menuju Transisi Energi Bersih*. Suara Parahyangan. <https://unpar.ac.id/menuju-transisi-energi-bersih/#:~:text=Transisi energi adalah proses merubah,%2C panas bumi%2C dan angin.>
- Wahid, M. A., & Erwanto, Z. (2020). Perencanaan Dan Penerapan Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (Pltph) Dengan Turbin Tipe Undershoot. *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-6 ISAS Publishing Series: Engineering and Science*, 6(1), 81–87.