

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO MENGUNAKAN TURBIN PELTON

Arum Kusuma Wardhany¹⁾, Andri Trianto²⁾, Inggil Kholillulloh Salman
Wilestar³⁾, Karmila Sakerebau⁴⁾

email: arum.kusumawardhany@elektro.pnj.ac.id

^{1,2,3,4)} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta

Ringkasan

Pembangkit Listrik yang memanfaatkan tenaga air seperti pikohidro (pico hydro) dengan rentang kapasitas daya luaran 0 – 5 KW merupakan salah satu pembangkit yang potensial untuk dikembangkan secara mandiri pada saluran kecil berupa saluran irigasi. Sayangnya, penyediaan Trainer Kit dalam bentuk aktual sebagai media pembelajaran teori maupun praktek masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan trainer kit Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) menggunakan turbin Pelton sebagai media pembelajaran bagi mahasiswa. Turbin Pelton dipilih karena cocok diaplikasikan pada aliran air kecil dengan tekanan tinggi, yang banyak ditemukan pada PLTPH. Alat ini memanfaatkan air yang disempotkan ke turbin untuk menghasilkan energi listrik melalui generator. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh sudut valve terhadap kecepatan turbin, tegangan, dan arus listrik yang dihasilkan. Hasil menunjukkan bahwa sudut valve 0° memberikan kinerja maksimal, dengan RPM dan tegangan tertinggi sebesar 895 Rpm, dan 23,25 volt pada kondisi tanpa beban, sedangkan arus meningkat saat beban ditambahkan. Trainer kit ini diharapkan dapat memberikan pemahaman praktis tentang energi terbarukan kepada mahasiswa.

Kata Kunci : Pico hydro, Turbin Pelton, Energi terbarukan, Generator, Sudut valve.

1. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya yang sangat melimpah di Indonesia, pemanfaatan air sangat berkontribusi untuk kesejahteraan bagi masyarakat sejak dahulu. Pemanfaatan sumber daya air di Indonesia untuk bidang ketenagalistrikan digunakan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Kapasitas Pembangkit Listrik di Indonesia yaitu sebesar 83.813,39 MW dengan masing-masing persentase yaitu untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air sebesar 7,15%[1]. Energi yang dimiliki air diubah menjadi energi listrik melalui proses yang efektif dengan menggunakan turbin air, yang memanfaatkan adanya semburan air dari nozzle untuk menghasilkan energi mekanis[2]. Pemanfaatan tenaga air sebagai pembangkit Listrik dapat dilakukan pada pembangkit Listrik skala menengah atau kecil salah satunya Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro (PLTPH)[3]. Turbin air yang digunakan dalam pemanfaatan energi air ini seringkali berbentuk turbin impuls, seperti turbin Pelton.

Saat ini, terbatasnya trainer kit PLTPH sebagai media pembelajaran merupakan salah satu kendala yang terjadi dilapangan. Hal ini berdampak pada pembelajaran Energi Baru Terbarukan terutama mikrohidro terbatas pada pembelajaran teoritikal. Padahal pembangkit Listrik jenis ini merupakan salah satu pembangkit Listrik yang potensial untuk dikembangkan secara mandiri. Oleh sebab itu, penelitian ini membuat sebuah trainer kit PLTPH dengan menggunakan turbin Pelton. Trainer Kit PLTPH ini nantinya akan dilengkapi dengan bak tampung dibagian bawah untuk digunakan sebagai tenaga gerak pemutar turbin. Turbin yang digunakan pada Trainer Kit ini merupakan turbin pelton, turbin ini sangat cocok diaplikasikan pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro karena dengan aliran yang kecil namun mempunyai tekanan air yang tinggi. Dalam penelitian ini kami mengembangkan sebuah alat yang nantinya diharapkan bisa bermanfaat sebagai media pembelajaran mengenai energi terbarukan.

2. KAJIAN PUSTAKA

Pembangkit Listrik Tenaga *Pikohidro*

Pembangkit Listrik Tenaga *Pikohidro* adalah sebuah pembangkit listrik yang memiliki skala kecil memiliki kapasitas kurang dari 5 Kw[4]. Pada prinsipnya Pembangkit Listrik Tenaga *Pikohidro* ini memanfaatkan beda ketinggian. Dengan memanfaatkan jatuhnya air nantinya akan memutar poros turbin dan menggerakkan generator dan menghasilkan listrik. Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga *Pikohidro* ini sangat cocok untuk digunakan diperkebunan, perdesaan yang mempunyai aliran sungai yang sangat tinggi, maupun memanfaatkan aliran air pada saluran irigasi dan Sungai di dataran rendah.

Komponen utama pada Pembangkit Listrik Tenaga *Pikohidro* yaitu turbin dan generator. Turbin yang cocok untuk digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga *Pikohidro* yaitu jenis turbin pelton[5]. Pada Trainer Kit Pembangkit Listrik Tenaga *Pikohidro* ini aliran air yang digunakan menggunakan pompa air, dengan memanfaatkan debit air yang deras nantinya akan memutar poros turbin lalu menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik.

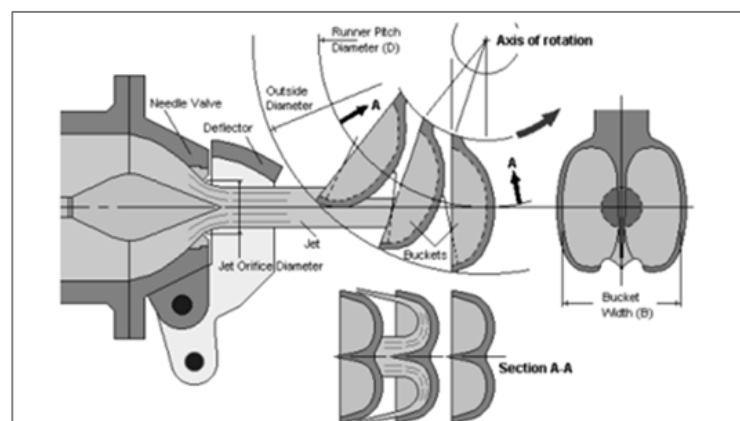
Pembangkit Listrik Tenaga *Pikohidro* memiliki beberapa kelebihan yaitu sebagai berikut:

1. Untuk biaya pembuatannya yang lebih relatif murah dibandingkan pembangkit listrik skala besar.
2. Bahan-bahan yang digunakan mudah ditemukan.
3. Ramah lingkungan karena memanfaatkan sumber daya air.
4. Sangat cocok digunakan untuk daerah terpencil yang belum terjangkau oleh listrik PLN.
5. Perawatan dan pengoperasian yang relatif sederhana.

Turbin Pelton

Turbin Pelton pertama kali ditemukan oleh Lester Allen Pelton, seorang penemu asal Amerika. Penemuan ini menjadi tonggak penting dalam teknologi pembangkit listrik tenaga air. Desain turbin ini unik karena menggunakan mangkuk ganda yang simetris, yang memungkinkan air menghantam turbin dengan cara yang lebih efisien tanpa menyebabkan turbin terganggu oleh gaya samping. Meski ditemukan di abad ke-19, desain ini tetap dipakai hingga sekarang karena kemampuannya dalam memanfaatkan energi air dengan baik.

Turbin Pelton adalah salah satu jenis turbin impuls, yang artinya turbin ini bekerja dengan memanfaatkan kecepatan air. Air disemprotkan melalui sebuah nozzle ke arah sudu-sudu (bucket) yang terpasang di roda turbin[6]. Saat air menghantam sudu-sudu ini, roda turbin berputar dan putaran tersebut digunakan untuk menggerakkan generator yang akhirnya menghasilkan listrik. Desain sederhana namun efisien ini membuat Turbin Pelton cocok digunakan di berbagai pembangkit listrik tenaga air.



Gambar 1 Turbin Pelton

Gambar 1 merupakan bagian-bagian dari turbin pelton. Komponen utama turbin Pelton meliputi runner, nozzle, dan rumah turbin [7]. Runner terdiri dari sebuah cakera dengan sejumlah sudu yang dipasang di sekelilingnya. Ukuran diameter runner ditentukan oleh besar atau tingginya head jatuh air yang dirancang. Semakin besar atau tinggi head jatuh air, semakin besar pula ukuran runner yang ideal untuk digunakan[8].

Secara umum, cara kerja turbin air adalah mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Air dialirkan melalui pipa menuju sudu-sudu turbin, dan ketika air mengenai sudu-sudu tersebut, kecepatannya berubah, yang kemudian memutar rotor turbin. Putaran rotor ini selanjutnya diteruskan ke generator untuk menghasilkan listrik. Turbin Pelton sangat efektif terutama pada aliran air yang memiliki tekanan tinggi dan cocok digunakan di wilayah yang memiliki topografi curam.

Generator

Generator adalah alat yang berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik menjadi energi listrik. Tenaga mekanik ini bisa berasal dari berbagai sumber, seperti panas, air, atau uap. Generator bisa menghasilkan listrik dalam bentuk arus AC (arus bolak-balik) atau DC (arus searah). Prinsip kerja dasar dari generator AC didasarkan pada hukum Faraday, yang menyatakan bahwa ketika sebuah penghantar (seperti kawat) berada di dalam medan magnet yang berubah-ubah, maka akan timbul gaya gerak listrik di dalam penghantar [9].

Umumnya tegangan yang dihasilkan oleh generator adalah arus AC (*Alternating current*) dan bisa juga arus DC (*direct current*). Generator yang digunakan pada Trainer Kit Pembangkit Listrik Tenaga *Pikohidro* ini menggunakan generator output tegangan DC (*direct current*), dan jenis generatornya adalah *Permanent Magnet Generator* (PMG). Jenis generator tersebut dipilih karena mempunyai beberapa kelebihan yaitu:

1. Efisien pada kecepatan rendah, cocok digunakan untuk aliran air yang kecil.
2. Tidak memerlukan sistem eksitasi terpisah, jadi lebih sederhana.
3. Ukurannya lebih kecil, pas untuk pembangkit listrik tenaga air yang ruangnya terbatas.
4. Perawatannya mudah karena tidak menggunakan sikat atau slip ring.

Secara umum generator mempunyai peranan penting dalam sistem pembangkit, generator berputar karena digerakan oleh turbin, nantinya dari putaran generator akan menghasilkan energi listrik.

Perhitungan Daya

Daya adalah jumlah energi listrik yang digunakan untuk melakukan kerja dalam suatu sistem tenaga listrik. Satuan yang biasa digunakan untuk daya listrik adalah Watt[10]. Dalam konteks kelistrikan, daya merujuk pada seberapa cepat energi listrik digunakan atau dihasilkan dalam suatu rangkaian. Satuan yang digunakan untuk mengukur daya adalah watt (W), yang menunjukkan jumlah energi yang digunakan per satuan waktu.

Secara lebih spesifik, daya listrik (P) dapat dihitung dengan mengalikan tegangan (V) dengan arus listrik (I) yang mengalir melalui suatu rangkaian. Rumus ini memberikan gambaran tentang seberapa besar energi listrik yang digunakan dalam rangkaian tersebut. Jadi, semakin tinggi tegangan atau arus yang mengalir, semakin besar pula daya listrik yang dihasilkan atau dikonsumsi.

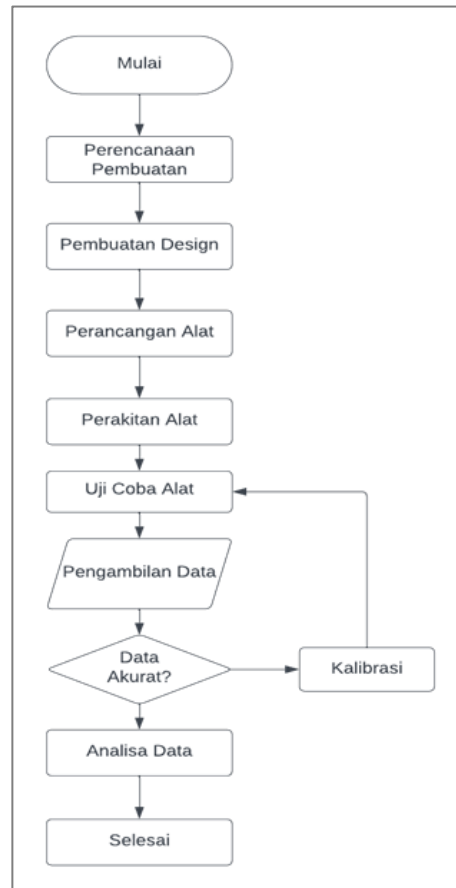
$$P = V \times I \quad \dots\dots\dots (1)$$

Di mana:

P : daya dalam watt (W), V : tegangan dalam volt (V), I : arus dalam ampere (A).

3. METODE PENELITIAN

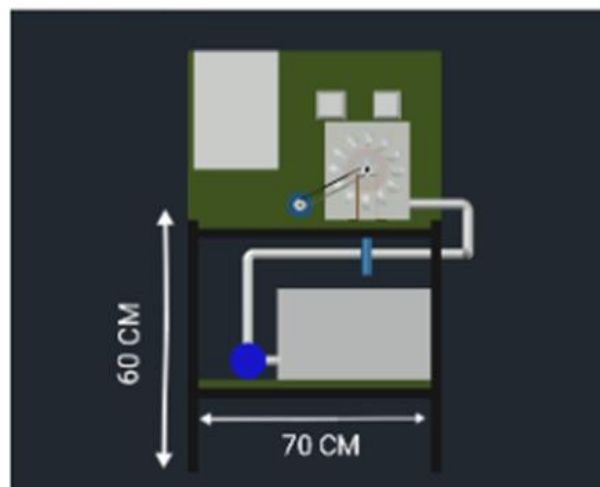
Gambar 2 merupakan flowchart alur penelitian ini mulai dari tahap perencanaan sampai akhir. Penelitian diawali dengan perencanaan pembuatan Trainer Kit PLTPH yaitu merencanakan bagian-bagian yang ingin dibuat, mulai dari merencanakan komponen yang akan dipakai, design dari Trainer Kit PLTPH yang nantinya akan dibuat. Setelah design sudah fix maka mulai perancangan sebelum dilakukan perakitan, perakitan alat dibuat mengikuti sesuai dengan apa yang sudah ada didalam design, mulai dari penempatan komponen dan bentuk trainer kit nya. Uji kontinuitas dilakukan untuk memastikan alat tersebut berfungsi dengan baik sesuai dengan deskripsi kerja. Setelah memastikan alat berfungsi dengan baik, maka dilakukan pengujian pengambilan data, apabila data nya akurat maka lanjut menganalisa data tersebut dan kalau tidak akurat maka dilakukan kalibrasi pada uji coba alat.



Gambar 2 Flowchart Penelitian

Deskripsi Alat

Gambar 3 merupakan design rancangan awal dari pembuatan dari trainer kit, didalamnya berisi komponen utama dan pendukung. Kontruksi meja sebagai dudukan turbin Panjang 70 cm dan lebar 50 cm, dengan bahan konstruksi rangka menggunakan besi. Turbin pelton yang digunakan memiliki jumlah blade 12 buah, dengan tebal 3mm dan lebar blade 6mm. Trainer kit dilengkapi dengan bak penampung air pada bagian bawah, yang diatur sedemikian rupa sehingga berupa loop tertutup, sehingga air yang telah melewati turbin akan dialirkan lagi ke bak penampungan. Mesin pompa diletakkan pada bagian bawah untuk berfungsi sebagai media pendorong air ke turbin.



Gambar 3 Desain Trainer Kit PLTPH

Cara kerja dari Trainer Kit Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro menggunakan Turbin Pelton adalah dengan menggunakan bantuan dari pompa air yang nantinya akan menyempatkan air menuju turbin sehingga turbin akan bergerak, lalu diteruskan memutar rotor pada generator. Generator berputar untuk menghasilkan energi listrik, listrik yang dihasilkan oleh generator yang digunakan adalah tegangan DC (*Direct Current*). Kemudian generator akan dihubungkan dengan MPPT/ Controller yang berfungsi sebagai alat untuk menyimpan energi listrik ke baterai agar tidak terjadi over load ketika charging terjadi. Kemudian tegangan DC (*Direct Current*) akan dikonversikan menjadi tegangan AC (*Alternating Current*) menggunakan inverter, dari inverter tersebut akan menghasilkan tegangan 220 V, lalu akan disalurkan menuju beban lampu AC (*Alternating Current*). Pada Tabel 1 merupakan komponen utama dari Trainer Kit Pembangkit Listrik Tenaga *Pikohidro* Menggunakan Turbin Pelton, yaitu turbin pelton itu sendiri dengan 12 blade dan generator type permanent magnet.

Tabel 1 Komponen Utama Trainer Kit PLTPH

No.	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah
1.	Turbin Pelton	<ul style="list-style-type: none">▪ 12 Blade, tebal 3 mm, lebar blade 6 cm▪ Diameter shaft 15 mm	1
2.	Generator	<ul style="list-style-type: none">▪ <i>Generator DC Permanent Magnet</i>▪ <i>Output 1-36 VDC</i>▪ Dimensi lebar 75 mm, tinggi 80 mm, panjang 140 mm	1

Metode Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja dari Turbin Pelton dan Trainer kit secara keseluruhan. Pengujian dilakukan pada dua kondisi yakni kondisi tanpa beban dan berbeban. Pada pengujian dengan kondisi berbeban, beban yang digunakan adalah lampu DC 10 watt yang dihubungkan secara seri dan parallel. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa besar tegangan dan arus yang keluar dari generator dan beban lampu. Selain itu, pengujian juga dilakukan dengan variasi bukaan valve pada pipa aliran untuk mengetahui pengaruhnya pada tegangan dan arus yang dihasilkan.

Prosedur Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan multimeter untuk mengukur tegangan
2. Putar selector switch pada multimeter ke arah tegangan (V)
3. Mengisi air pada bak penampungan sampai air dari bak penampungan terisi hingga $\frac{1}{2}$.
4. Hidupkan MCB baterai untuk menghidupkan MPPT
5. Hidupkan MCB generator untuk menghubungkan generator dengan MPPT.
6. Hidupkan pompa air untuk menghisap air dari bak penampungan yang mengarah ke turbin.

Dengan pengujian ini, secara tidak langsung, dapat menguji pemanfaatan dari Trainer kit yang dibuat untuk mendukung teori pembangkitan energi Listrik terbarukan tenaga hidro, dimana arus dan tegangan yang dihasilkan berpengaruh dari aliran air yang mengalir melalui turbin.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Variasi bukaan valve pada kondisi tanpa beban.

Seperti telah dijelaskan pada metode pengujian, pengujian akan dilakukan pada kondisi berbeban dan tanpa beban. Pada kondisi tanpa beban, dikarenakan belum ada beban yang dihubungkan ke dalam trainer kit, maka tidak ada arus yang mengalir. Sehingga, jika dimasukkan ke dalam persamaan (1) maka belum ada daya keluaran yang dihasilkan oleh trainer kit tersebut. Pada pengujian ini, nilai hasil pengujian yang dapat diamati adalah hubungan antara derajat bukaan valve, terhadap putaran turbin dan nilai tegangan yang dihasilkan. Pada bukaan Valve 0° berarti air dapat mengalir seluruhnya melalui pipa, sementara pada kondisi bukaan 90° air yang mengalir melalui pipa berada pada kondisi minimum. Tabel 2 merupakan hasil pengujian tanpa beban, hasil pengujian menunjukkan hubungan antara bukaan valve dengan kecepatan turbin dan tegangan yang dihasilkan.

Tabel 2 Hasil Pengujian Tanpa Beban

Valve	Kecepatan Turbin (Rpm)	Tegangan (V)	Arus (A)
0 °	895	23,25	-
30 °	725	22,80	-
45 °	573	22,35	-
60 °	390	15,15	-
90 °	0	0	-

Pengujian pada kondisi berbeban dengan variasi beban dan derajat bukaan valve.

Berbeda dengan pengujian pada kondisi tanpa beban, pada pengujian dengan kondisi berbeban dapat dilakukan variasi terhadap beban yang dihubungkan pada sistem. Pada penelitian kali ini, pengujian beban dilakukan dengan variasi : satu (1) buah lampu, dua (2) buah lampu dihubung seri, dan dua (2) buah lampu dihubung parallel. Adapun kondisi bukaan valve, sama seperti pada kondisi tanpa beban yakni Pada bukaan Valve 0° berarti air dapat mengalir seluruhnya melalui pipa, sementara pada kondisi bukaan 90° air yang mengalir melalui pipa berada pada kondisi minimum. Tabel 4, 5, dan 6 menunjukkan hasil pengujian sesuai dengan variasi pembebanan.

Tabel 3 Hasil Pengujian Menggunakan Beban Lampu

Valve	Kecepatan Turbin (Rpm)	Tegangan (V)	Arus (A)
0 °	444	229,9	0,072
30 °	316	229,9	0,072
45 °	205	229,9	0,072
60 °	138	229,9	0,072
90 °	0	0	0

Tabel 4 Hasil Pengujian Menggunakan Dua Beban Lampu Secara Seri

Valve	Kecepatan Turbin (Rpm)	Tegangan (V)	Arus (A)
0 °	525,4	229,9	0,047
30 °	521,5	229,9	0,047
45 °	507,8	229,9	0,047
60 °	447,9	229,9	0,047
90 °	0	0	0

Tabel 5 Hasil Pengujian Menggunakan Beban Lampu Secara Paralel

Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Keterangan
229,9	0,131	30,11	2 Lampu
229,9	0,161	36,78	3 Lampu

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada tabel 4 – 6, terlihat bahwa tegangan keluaran sistem cenderung stabil. Kontras dengan kondisi tegangan keluaran, nilai arus pada sistem berubah tergantung pada variasi pembebanan yang dilakukan. Berdasarkan variasi nilai arus itu pula, maka dapat dihitung daya luaran yang dihasilkan pada masing – masing kondisi dengan menggunakan persamaan (1) adalah sebagai berikut :

- a. Daya luaran pada beban satu buah lampu

$$P = V \times I$$

$$P = 229,9 \times 0,072$$

$$P = 16,55 \text{ Watt}$$

- b. Daya luaran pada beban 2 lampu seri

$$P = V \times I$$
$$P = 229.9 \times 0,047$$
$$P = 10,80 \text{ Watt}$$

c. Daya luaran pada beban lampu paralel

Perhitungan Daya 2 Lampu:

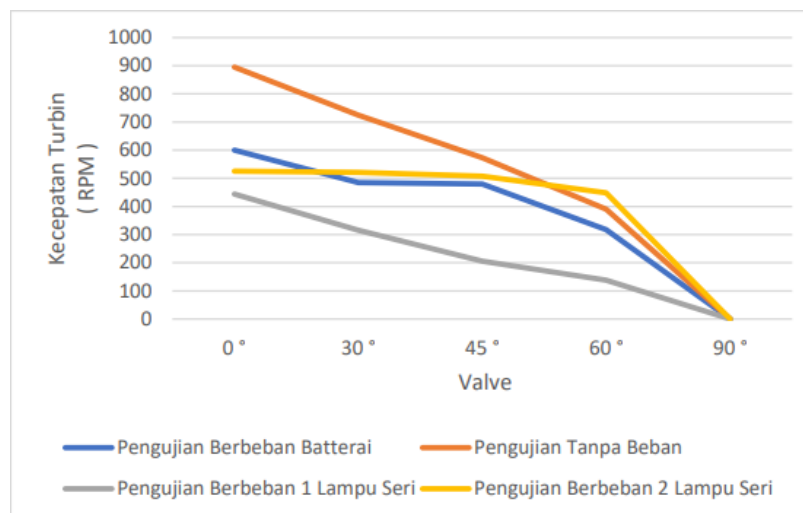
$$P = V \times I$$
$$P = 229.9 \times 0,131$$
$$P = 30,11 \text{ Watt}$$

Perhitungan Daya 3 Lampu:

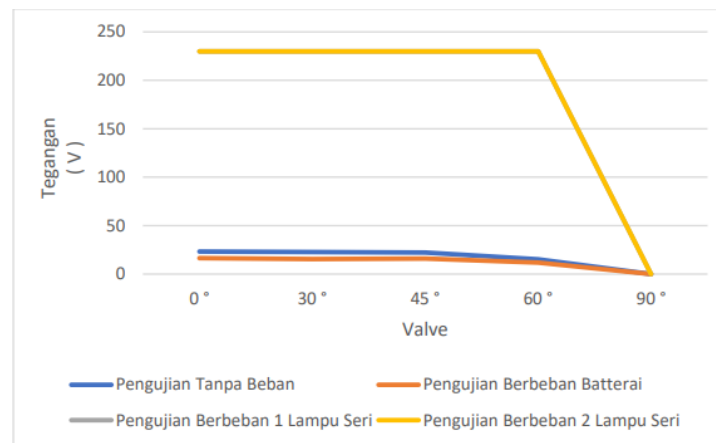
$$P = V \times I$$
$$P = 229.9 \times 0,160$$
$$P = 36,78 \text{ Watt}$$

Analisis Data

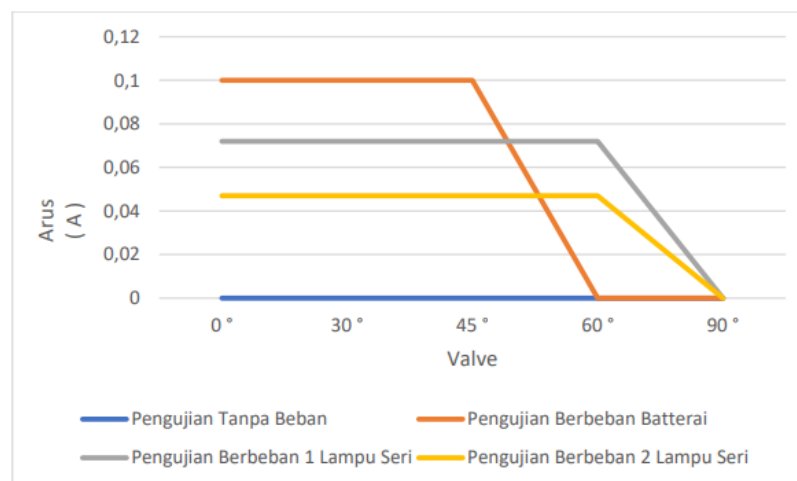
Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa kecepatan putar turbin menurun seiring perubahan jumlah debit air yang mengalir pada pipa akibat dari variasi bukaan valve yang diujikan. Hal ini berlaku pada kondisi pengujian tanpa beban maupun berbeban. Sementara itu, nilai tegangan luaran pada pengujian tanpa beban tetap konstan pada semua sudut valve, yaitu 23,25 V. Pada pengujian dengan kondisi berbeban, pada semua variasi pembebanan, didapat bahwa nilai tegangan luaran tetap stabil pada semua variasi pembebanan, sementara nilai arus luaran berubah sesuai dengan pembebanan yang dihubungkan pada sistem. Gambar 4 menunjukkan pengaruh bukaan valve pada pipa terhadap indikator kinerja alat yaitu kecepatan turbin, tegangan luaran, dan nilai arus luaran.



a)



(b)



(c)

Gambar 4 Grafik Pengaruh bukaan Valve terhadap kinerja alat (a) Kecepatan Putar Turbin; (b) Tegangan Keluaran; (c) Arus Keluaran

Hasil pengujian yang dilakukan pada trainer kit PLTPH yang dibuat menunjukkan relevansi dengan teori yang ada terkait Pembangkit Listrik Tenaga Air dimana putaran turbin, nilai tegangan dan arus serta daya yang dihasilkan akan dipengaruhi oleh debit aliran air yang mengenai sistem turbin [11].

5. KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian serta pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Trainer Kit PLTPH yang telah dibuat dapat beroperasi sesuai dengan teori yang ada terkait Pembangkit Listrik Tenaga Air dimana aliran air akan mempengaruhi putaran turbin, sehingga berpengaruh pada nilai tegangan dan arus luaran. Sehingga secara fungsi, trainer kit ini dapat digunakan sebagai media pembelajaran sehingga bahasan terkait Teori pembangkitan Listrik dengan energi baru terbarukan dapat dibuktikan dan diujicobakan langsung oleh peserta didik.

Pada uji pembebanan, didapatkan hasil bahwa posisi bukaan katup (sudut valve) sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Air. Untuk mendapatkan kinerja maksimal, baik dari segi putaran per menit (RPM) maupun tegangan dan arus, posisi katup yang paling optimal adalah pada sudut 0° sehingga air dapat mengalir sepenuhnya melalui pipa. Hasil pengujian

juga menunjukkan bahwa Trainer kit Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro yang dibuat dapat menghasilkan daya maksimum yang diperoleh saat pengujian maksimal 36,78 watt.

Saran

Pengembangan pada Trainer Kit PLTPH ini dapat dilakukan pada beberapa aspek yaitu :

1. Melakukan pengembangan pada variasi titik jatuh air ke turbin untuk menguji pengaruh tinggi jatuh air terhadap kinerja sistem
2. Penambahkn Sistem kontrol dan monitoring terotomasi pada Trainer Kit yang dapat diterapkan pada beberapa aspek, misalnya pengaturan kecepatan debit air, pengaturan bukaan valve otomatis, dan sistem monitoring kinerja otomasi berbasis Internet of Things (IoT)

6. DAFTAR PUSTAKA

1. ESDM, "72F25-Web-Publish-Statistik-2022," *Statistik Ketenagalistrikan PIn*, vol. 36, pp. 1–114, 2022.
2. Yusmartato, Z. Pelawi, Yusniati, Fauzi, and S. A. Sitanggang, "Pemanfaatan Aliran Air Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Pico hidro (PLTPH) Di Desa Bandar Rahmat Kecamatan Tanjung Tiram Kabupaten Batu Bara," *Journal of Electrical Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 25–28, 2022.
3. I. D. N. D. Putra and W. Winarso, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro Menggunakan Generator DC Shunt," *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, vol. 4, no. 1 SE-Articles, pp. 1–10, Jun. 2022, doi: 10.30595/jrre.v4i1.11634.
4. Y. I. Nakhoda, I. B. Sulistiawati, and A. Soetedjo, "Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro menggunakan Komponen Bekas dengan Pemanfaatan Potensi Energi Terbarukan di Desa Gelang Kecamatan Sumberbaru Kabupaten Jember," *Jurnal Aplikasi Dan Inovasi Ipteks "Soliditas" (J-Solid)*, vol. 1, no. 2, p. 100, 2019, doi: 10.31328/js.v1i2.903.
5. D. Ramaputra and J. Haurissa, "ANALISA KINERJA TURBIN TURGO DAN TURBIN PELTON SKALA LABORATORIUM," *DINAMIS*, vol. 19, no. 1, pp. 28–34, Jul. 2022, doi: 10.58839/JD.V19I1.1103.
6. R. Bangun *et al.*, "Rancang Bangun PLTMH Menggunakan Turbin Pelton," *Jurnal Teknik Informatika dan Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 100–111, Jul. 2022, doi: 10.55542/JURTIE.V4I2.352.
7. D. Teknik, J. Mesin, and U. Merdeka, "Otomatisasi perencanaan turbin air jenis pelton," pp. 873–878, 2013.
8. A. R. Harahap, "Pengaruh Jumlah Bucket Terhadap Kinerja Prototype Turbin Pelton," *Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*, 2018.
9. U. Amri, P. Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Jurusan Teknik Elektro, and P. Negeri Lhokseumawe, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (Pltph) (Analisis Daya Beban Ouput Pada Generator)," *Jurnal Tektro*, vol. 5, no. 1, p. 100, 2021.
10. Suseno, "Faktor Daya Listrik," *Erlangga*, pp. 5–21, 2019.
11. A. K. Wardhany, D. Monika, R. Ariansyah, M. R. Lubis, M. Arifin, and A. D. Aji, "Performance Analysis of Micro-Hydro Plants Using Crossflow Turbines at Varying Water Fall Heights," *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 25, no. 1 SE-Articles, pp. 62–68, Apr. 2025, doi: 10.23917/emitor.v25i1.7067.