

Prototype of Microhydro Power Generation for Street Lighting Controlled by LDR Sensor

Agus Ulinuha¹ , Tommi S. Putra²

^{1,2} Department of Electrical Engineering, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

 Agus.Ulinuha@ums.ac.id

Abstract

Potential energy of flowing water may be used to generate electricity. This will provide the electricity for street lighting in the region where the electricity from the government utility company has not reached the area. To develop the system of microhydro power, the debit of the flowing water must be firstly measured to estimate the power that may be generated. Once the system is completely constructed, the test can be carried out. The real system was developed in the irrigation channel from Samin River at the village of Karangbangun, Matesih, Karanganyar. In this channel the water flows to the farm, and from this flowing a dam was constructed. A PVC pipe was used to flow the water toward a propeller. The rotating propeller drives the generator and electric power is generated. For the test load of lamp 6 x 5 Watt and 1 x 10 Watt the voltage of 17 Volt was recorded. From the field observation, the lamp was sufficiently bright. The real system was used to supply the lamps of 4 and 5 Watt for street lighting. The switching of lamps was controlled by LDR sensors. For the given loads, the measurement recorded for the current was 1.4 Amps. The rotation speed of the turbine was 800 rpm, which is sufficient to light up the lamp.

Keywords: renewable energy; water flow; microhidro, street lighting, LDR sensor

Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro untuk Penerangan Jalan dengan Kendali Sensor LDR

Abstrak

Energi potensial air dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik untuk kebutuhan listrik pada daerah yang belum teraliri listrik PLN. Hal ini memberikan kontribusi bagi masyarakat di daerah tertentu untuk penerangan jalan. Pengujian Prototipe dilakukan di desa Karangbangun, Kecamatan Matesih, Kabupaten Karanganyar. Adapun energi potensial air diperoleh dari aliran Kali Samin yang padanya terdapat bendungan yang bertujuan untuk aliran sungai menuju persawahan. Aliran air ke sawah tersebut dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin air yang terhubung dengan generator sehingga membangkitkan tegangan. Hasil pengujian awal diperoleh tegangan 17 Volt untuk variasi beban lampu 6 x 5 W dan 1 x 10 W. Dari pengamatan lapangan diperoleh kondisi bahwa lampu menyala cukup terang. Untuk pemanfaatan sistem secara real digunakan 2 lampu LED DC dengan daya 4 W dan 5 W. Beban tersebut terhubung dengan sensor LDR sebagai kendali pensakelaran. Arus pengisian baterai yang terukur adalah 1,4 Ampere. Kecepatan pada putaran turbin yang tercatat adalah 800 rpm yang telah dapat menyalakan lampu LED DC sebagai penerangan jalan.

Kata kunci: energi terbarukan; aliran air; mikrohidro; penerangan jalan, sensor LDR

1. Pendahuluan

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan daya, pemanfaatan energi terbarukan semakin memiliki arti yang penting. Dalam kaitan ini diperlukan gagasan untuk pemanfaatan energi tersebut. Indonesia memiliki potensi pembangkit listrik tenaga air (PLTA) sebesar 75.000 MW[1]. Potensi ini baru dimanfaatkan sekitar 6 % atau 3.529 MW. Nilai ini baru menyumbang 14,2 % dari jumlah energi pembangkitan PLN. Tentu dengan

adanya potensi yang masih banyak belum digunakan, pemanfaatan sumber daya air inilah yang dijadikan sebagai pembangkit listrik pada daerah tertentu yang masih jauh dari jaringan listrik PLN.

Provinsi Jawa Tengah memiliki potensi sumber air untuk pembangkit listrik Mikrohidro setara dengan 75.926 kW. Dari nilai tersebut telah dimanfaatkan sebesar 69.832 kW atau 92%. Dengan demikian masih terdapat potensi yang belum digunakan sebesar 6.094 kW atau 8% dari potensi yang tersedia. Untuk keperluan pengembangan pembangkit listrik tenaga mikrohidro, sebaiknya dilakukan pada daerah yang memiliki potensi energi air yang melimpah dan terdapat beda tinggi air di suatu wilayah atau alur sungai, baik berupa terjunan, alur sungai yang curam atau aliran air sungai yang bisa dibendung, maka disitu dapat dibangun PLTMH [2].

Salah satu komponen penting dalam pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah turbin. Dalam pemilihan turbin dapat diperkirakan efisiensi turbin dan generator berdasarkan tinggi (*head*) dan debit air yang dihasilkan. Terdapat tiga model turbin, yaitu turbin aliran tangsial, turbin aliran aksial, turbin radial [3],[4]. Dengan memanfaatkan energi aliran air, turbin menghasilkan energi mekanik putaran dan kemudian dikopel dengan generator sebagai pembangkit listrik yang membangkitkan tegangan.

Pemanfaatan Prototipe Mikrohidro untuk memenuhi kebutuhan listrik sebagai penerangan jalan di kampung, merupakan inovasi untuk memberikan kemudahan bagi masyarakat untuk aktivitas di jalan pada malam hari dengan kebutuhan daya yang tidak terlalu besar, namun dapat digunakan untuk menyalakan lampu LED. Operasi lampu LED tersebut dikendalikan oleh sensor untuk pensakelaran lampu pada malam hari. Sensor yang dipakai untuk menyalakan lampu adalah sensor LDR (*Light Dependent Resistor*)[5]. Sensor ini pada saat kondisi gelap akan menyalakan lampu. Pentingnya kepraktisan berbagai piranti listrik tidak hanya dilakukan secara manual dengan menggunakan seklar *On/Off* untuk mengaktifkan tetapi bisa juga secara otomatis. Pada sisi lain pemanfaatan sensor LDR dapat memberikan kemudahan dan peningkatan efisiensi pemanfaatan energi [6].

Dengan pengembangan pembangkit listrik tenaga mikrohidro, maka energi dari aliran air pada saluran irigrasi dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan daya listrik [7]. Energi ini diperoleh secara cuma-cuma namun dapat dimanfaatkan untuk hal-hal yang bermanfaat. Pada area yang belum teraliri daya listrik, keberadaan sistem ini akan sangat berarti untuk menerangi jalan.

2. Literatur Review

Sebagaimana di ketahui bahwa persoalan energi merupakan hal krusial pada dekade terakhir. Peningkatan kebutuhan energi yang tidak dibarengi ketersediannya secara mencukupi menimbulkan persoalan yang cukup pelik. Sejauh ini sumber energi utama di dunia masih bersumber dari bahan bakar fosil. Selain persoalan ketersediaan yang semakin terbatas, kenaikan harga komoditas tersebut semakin tidak dapat dikendalikan [8]. Hal ini berimplikasi pada sejumlah aspek dalam kehidupan, diluar persoalan energi dan finansial[9].

Persoalan polusi merupakan implikasi dari pemanfaatan bahan bakar fosil secara masif. Selain cukup destruktif pada lingkungan dan ekosistem, polusi yang secara dominan disumbangkan oleh pemakaian bahan bakar fosil ini juga mempengaruhi kesehatan dan kualitas hidup [10]. Dengan mempertimbangkan persoalan sebagaimana diuraikan di atas, diperlukan untuk memanfaatkan energi yang lebih bersih serta yang

masih tersedia secara luas. Selain sejumlah bentuk energi baru dan terbarukan yang saat ini cukup intensif dilakukan pengembangannya, energi potensial air dalam skala kecil merupakan potensi energi yang tersedia secara luas dan dapat dimanfaatkan secara masif. Dalam konteks pemenuhan kebutuhan energi, potensi air tersebut dapat dimanfaatkan untuk keperluan pembangkitan daya listrik skala kecil. Pengembangan sistem pembangkit tenaga mikro hidro dan pemanfaatannya secara masif, akan merupakan jawaban akan kebutuhan energi yang semakin meningkat [11]. Sampai sejauh ini sistem pembangkit daya tenaga mikro hidro masih secara dominan dalam skema *stand-alone* serta digunakan untuk memasok beban terpisah. Meskipun demikian, model pembangkit ini cukup prospektif disambungkan ke jala-jala listrik (*grid-connected*) [12].

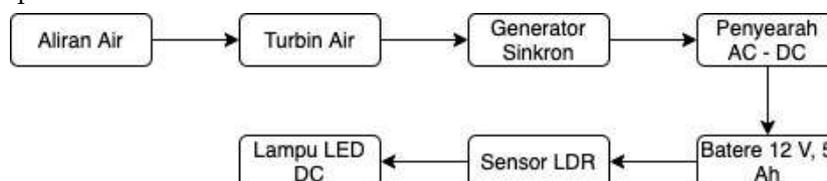
Untuk keperluan pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro, dapat memanfaatkan lokasi pada saluran irigasi dengan membangun sebuah bak penampung air. Sebuah pipa pesat dapat digunakan untuk menyalurkan air dari bak penampungan dan dengan tinggi jatuh tertentu, akan diperoleh energi potensial air yang cukup kuat untuk memutar turbin. Turbin yang terkopel dengan generator akan memungkinkan generator membangkitkan daya listrik [13].

Pemanfaatan yang paling memungkinkan dalam skema *stand-alone* adalah untuk penerangan jalan. Diperlukan mekanisme penyalan lampu secara otomatis, sehingga akan bekerja secara otomatis menggunakan model pensakelaran berbasis intensitas cahaya lingkungan sekitar. Pemanfaatan sistem secara ekstensif akan memungkinkan kontribusi penghematan energi.

3. Metode

Menentukan lokasi untuk penempatan prototipe yang sesuai dengan keadaan yang dibutuhkan dan analisa data awal yang di peroleh untuk menentukan potensi Daya yang di hasilkan. Hasil dari survei lokasi selanjutnya menentukan kelayakan Pembangkit listrik karena interaksi antara pembangkit dan lingkungan di sekitarnya. Dan lokasi yang ditentukan berada di dam Sungai Kali Samin, Karangbangan, Kecamatan Matesih, Kabupaten Karanganyar. Letak wilayah Kabupaten Karanganyar $110^{\circ} 40'' - 110^{\circ} 70''$ Bujur Timur dan $70^{\circ} 28'' - 70^{\circ} 46''$ Lintang Selatan. Ketinggian rata-rata 511 meter di atas permukaan laut dengan temperature $21 - 34^{\circ} \text{C}$. Metode dalam pengambilan data debit menggunakan ember dengan kapasitas 20 liter yang keluar dari pipa pesat, lalu air yang mengisi ke ember dengan dihitung waktu lamanya air penuh.

Pada pembuatan sistem ini, peralatan yang digunakan meliputi: obeng, tang, multimeter, las, gerinda, dan kunci pas. Sedangkan material yang digunakan adalah roda sepeda 24 in, roda sepeda 15 in, streng/*vanbelt*, besi, bearing, tromol sepeda motor, as sepeda motor, koil sepeda motor, modul sensor LDR, rele, dioda, kapasitor, lampu LED DC, kabel, lampu 5 W, lampu 10 W, terminal kabel, batere 5 Ah, serta beberapa komponen pendukung lainnya. Skema dari sistem yang dikembangkan adalah sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram sistem pembangkit mikrohidro

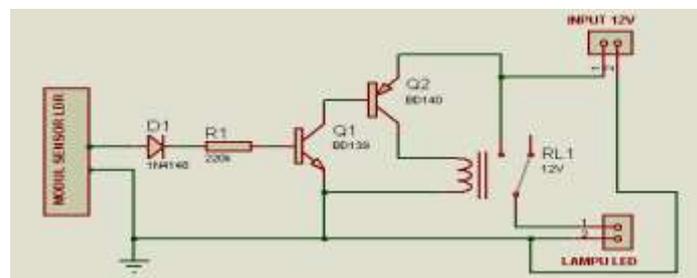
Untuk keperluan menghasilkan energi mekanik rotasional, digunakan turbin air yang terdiri atas sejumlah bilah yang diletakkan pada roda sepeda 24 in, sebagaimana ditunjukkan ditunjukkan pada [Gambar 2](#). Putaran dari turbin tersebut digunakan untuk menggerakkan generator sinkron magnet permanen sebagaimana ditunjukkan pada [Gambar 3](#). Untuk keperluan pensakelaran otomatis (*automatic switching*) lampu penerangan jalan, digunakan sensor LDR yang akan menyalakan lampu saat kondisi sekitar gelap. Adapun skema rangkaian sensor LDR adalah sebagaimana ditunjukkan pada [Gambar 4](#).



Gambar 3. Turbin air sistem mikrohidro

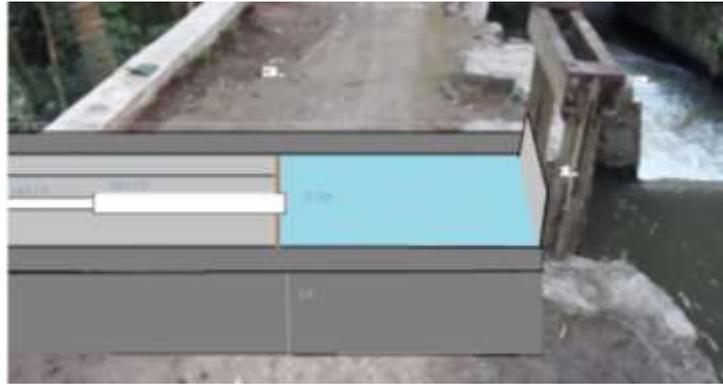


Gambar 4. Generator sinkron mikrohidro



Gambar 4. Skema rangkaian sensor LDR

Prototipe pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang dikembangkan ini menggunakan energi potensial air untuk menggerakkan turbin. Untuk keperluan tersebut, air dialirkan dari saluran irigasi yang telah ditampung dalam bak penampung air. Air yang telah ditampung tersebut dialirkan melalui pipa pesat dengan ketinggian 2,5 meter. Aliran air yang keluar dari pipa pesat akan memiliki energi mekanik yang cukup kuat untuk memutar turbin. Turbin yang terkopel dengan generator akan memungkinkan generator menghasilkan tegangan AC. Tegangan keluaran AC dari generator tersebut disearahkan menggunakan dioda dan kapasitor menjadi tegangan DC, yang kemudian disimpan ke batere. Energi yang tersimpan pada batere digunakan untuk menyalakan lampu DC pada malam hari. Gambar bak penampungan pada sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah sebagaimana ditunjukkan pada [Gambar 5](#).



Gambar 5. Bak penampungan sistem pembangkit tenaga listrik mikrohidro

Dari bak penampungan tersebut, air dialirkan melalui pipa pesat (*penstock*) sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 6**. Air dari bak penampungan yang dialirkan melalui pipa pesat akan memiliki kecepatan yang cukup tinggi dan kemudian digunakan untuk memutar turbin sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 6. Pipa pesat yang mengalirkan air dari bak penampungan



Gambar 7. Aliran air dari pipa pesat untuk memutar turbin

4. Hasil dan Pembahasan

Setelah sistem dirangkai dari piranti-piranti yang dibutuhkan dan pengujian dilakukan pada taraf eksperimental serta dipartikan bahwa sistem dapat bekerja, maka pengoperasian sistem pada tempat yang sesungguhnya dapat dilakukan. Sistem pembangkit daya tenaga mikrohidro ini ditempatkan pada saluran irigasi Kalisamin di Desa Karangbangun, Matesih, Karanganyar. Pada saluran irigasi yang menuju persawahan tersebut, terdapat bendungan kecil yang padanya dapat dibuat sebuah tandon dan diletakkan pada sisi ujungnya pipa pesat. Air dengan tekanan yang cukup akan mengalir melalui pipa pesat tersebut dan pada sisi ujungnya bertepatan dengan bilah-bilah pada turbin air.

Sebagaimana sebelumnya diuraikan, generator sinkron yang terkopel dengan poros turbin, berputar dan membangkitkan tegangan AC. Dengan menggunakan penyearah, tegangan AC tersebut disearahkan menjadi tegangan DC yang kemudian disambungkan ke baterai pada proses penyimpanan energi. Lampu LED DC yang memanfaatkan energi baterai diatur penyalanya menggunakan sensor LDR.

Untuk keperluan pengujian di lokasi (*commissioning test*), dilakukan pengukuran sejumlah parameter operasional yang meliputi kecepatan putar generator, arus, tegangan, daya, dan variasi beban menggunakan multimeter. Adapun proses pengukuran kecepatan dan pengukuran besaran kelistrikan, masing-masing ditunjukkan pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**.



Gambar 8. Pengukuran kecepatan



Gambar 9. Pengukuran besaran kelistrikan

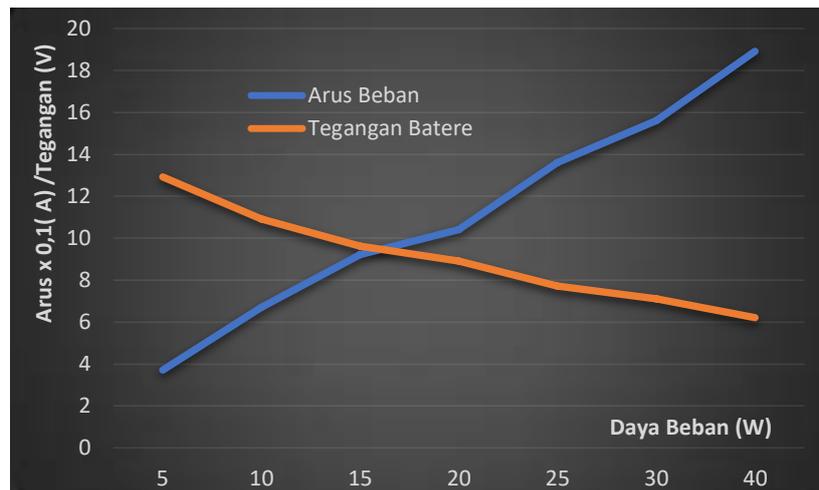
Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh bahwa untuk kondisi lapangan, yaitu tandon selalu terisi air yang memungkinkan tinggi jatuh (*head*) 2,5 m, air yang dialirkan melalui pipa pesat dapat memutar turbin dengan kecepatan pada kisaran 800 rpm. Dalam pengukuran sebagaimana ditunjukkan pada [Gambar 8](#), diperoleh pembacaan kecepatan 835,5 rpm. Generator yang dikopel dengan turbin dengan kecepatan rata-rata 800 rpm tersebut dapat membangkitkan tegangan rata-rata generator tanpa beban sebesar 16,5 Volt. Dalam pengukuran sebagaimana ditunjukkan pada [Gambar 9](#), diperoleh nilai tegangan 16,54 Volt.

Dalam kaitan ini yang diperlukan adalah bahwa tegangan DC hasil penyearahan tegangan output generator harus lebih tinggi dari tegangan nominal batere (12 V). Hal ini diperlukan untuk memungkinkan arus mengalir dari penyearah ke batere untuk keperluan pengisian batere. Perlu disampaikan bahwa, lampu penerangan menarik daya dari batere, bukan menarik daya langsung dari generator maupun penyearah. Alasan yang mendasari hal ini adalah bahwa lampu menyala pada malam hari, sedangkan pembangkitan daya terjadi baik pada siang maupun malam. Dengan demikian daya yang dibangkitkan pada siang hari tidak terbuang karena disimpan pada batere.

Karena lampu mengambil daya dari batere, maka akan terjadi pengurangan tegangan batere karena penggunaan daya tersebut. Hal ini terkait dengan *State of Charge* (SoC) dari batere karena penyalaan lampu. *State of Charge* batere dapat diestimasi berdasarkan nilai tegangan batere. Dalam riset ini, hasil pengukuran tegangan batere karena pembebanan lampu yang berbeda ditunjukkan pada [Tabel 1](#). Adapun kenaikan daya yang mengakibatkan penambahan arus serta mengakibatkan penurunan nilai tegangan adalah sebagianina ditunjukkan pada [Gambar 10](#).

Tabel 1. Arus beban dan tagangan batere karena variasi beban lampu

Daya Lampu (W)	Arus Beban x 0,1 (Amp)	Tegangan Batere (Volt)
5	3,7	12,9
10	6,7	10,9
15	9,2	9,6
20	10,4	8,9
25	13,6	7,7
30	15,6	7,1
40	18,9	6,2



Gambar 10. Perubahan arus/tegangan karena variasi beban

Berdasarkan grafik pada **Gambar 10**, dapat diamati bahwa semakin tinggi nilai beban yang tersambung pada baterai, semakin tinggi arus yang ditarik dari baterai. Peningkatan arus ini akan menurunkan tegangan pada baterai. Hal ini karena terjadinya susut tegangan yang semakin meningkat setara dengan peningkatan arus.

Untuk keperluan perhitungan lama pengisian baterai 5 Ah dalam sistem yang dikembangkan ini, digunakan rumus sebagaimana ditunjukkan pada **Persamaan 1**.

$$h = \frac{Ah \text{ (baterai)}}{i} + \frac{(20\% \times Ah)}{i} \quad (1)$$

dengan:

- i : Arus pengisian Baterai (Ampere)
- h : Lama Pengisian Baterai (Jam)
- $Ah \text{ baterai}$: Kapasitas Baterai (Ampere)
- 20% : Defisiensi Baterai

Berdasarkan persamaan tersebut, pengisian pada baterai berkapasitas 5 Ah dengan arus rata-rata 1,4 Ampere, akan memakan waktu selama

$$h = \frac{5}{1,4} + \frac{(20\% \times 5)}{1,4} = 4 \text{ jam, } 18 \text{ menit}$$

Dalam implementasinya pada kondisi real, digunakan 2 buah lampu LED DC, yaitu 4 W dan 5 W. Untuk mengetahui arus beban dan konsumsi daya dari kedua lampu tersebut, dilakukan pengukuran 2 parameter tersebut pada masing-masing lampu dan hasilnya ditunjukkan **Tabel 2**. Dari hasil pengukuran tersebut dapat diamati nilai arus untuk tegangan sumber (baterai) 12,5 V. Namun untuk daya terukur, terdapat sedikit perbedaan pada lampu LED 4 W antara daya tertulis (4 W) dengan daya terukur (3,9 W).

Tabel 2. Pengukuran Arus, Tegangan dan Daya pada Beban Lampu LED 4 W dan 5 W

Beban Lampu LED DC	Arus	Tegangan	Daya
4 W	0,31 A	12,5 V	3,9 W
5 W	0,46 A	12,5 V	5 W

Untuk tujuan estimasi durasi penyalaan lampu pada malam hari dari kedua lampu LED tersebut, data sebagaimana **Tabel 2** digunakan dalam perhitungan. Data lainnya adalah kapasitas baterai sebesar 5 Ah dengan defisiensi baterai 20%.

$$h = \frac{5}{0,31+0,46} - \frac{20\% \times 5}{0,31+0,46} = 5 \text{ jam } 12 \text{ menit}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, durasi maksimal pemakaian baterai untuk beban lampu LED DC sekitar 5 jam 12 menit. Hal ini telah memperhitungkan faktor defisiensi baterai, yang merupakan kapasitas minimum yang harus disisakan pada baterai. Meskipun

menurut estimasi lampu akan dapat menyala sebagaimana perhitungan, dalam pengamatan yang dilakukan, lampu dapat menyala lebih lama. Hal ini dikarenakan turbin yang terus berputar sehingga proses pengisian ke baterai terus berjalan. Sehingga pada saat lampu menyala pada malam hari, selain baterai harus melepaskan energi untuk menyalakan lampu, baterai juga mendapatkan pengisian dari generator.

5. Kesimpulan

Pengembangan pembangkit listrik tenaga mikrohidro dilakukan dengan memanfaatkan energi potensial air pada saluran irigasi Kalisamin di Desa Karangbangun, Matesih, Karanganyar. Dalam sistem yang dikembangkan, air ditampung dalam bak yang memungkinkan tinggi jatuh (*head*) yang memadai sebelum dialirkan melalui pipa pesat (*penstock*) yang pada ujungnya dipasang turbin. Generator sinkron yang digerakkan oleh turbin membangkitkan daya dengan tegangan AC dan kemudian disearahkan menjadi tegangan DC untuk mengisi baterai. Lampu penerangan jalan tersambung dengan baterai untuk dinyalakan secara otomatis pada malam hari dengan memanfaatkan sensor LDR. Waktu yang diperlukan untuk pengisian baterai adalah 4 jam 18 menit dan baterai yang terisi penuh dapat menyalakan 2 buah lampu LED 4 W dan 5 W selama 5 jam 12 menit. Durasi penyalaan lampu ini lebih pendek daripada panjang malam (± 10 jam), namun lampu dapat tetap menyala karena proses pengisian baterai yang tetap berlangsung dari generator yang diputar turbin air. Jika digunakan baterai dengan kapasitas yang lebih besar, maka ketersediaan energi akan lebih baik, karena kemampuan pengisian baterai oleh generator yang cukup baik. Proses pensakelaran lampu oleh sensor LDR berjalan cukup baik. Selain memberikan kontribusi kepada masyarakat dalam bentuk penerangan jalan, prototipe sistem ini dapat dikembangkan lebih untuk dimanfaatkan pada daerah lainnya. Dalam perspektif yang lebih luas, pemanfaatan sistem ini secara masif akan membantu penyediaan fasilitas penerangan jalan dengan energi yang tersedia secara cuma-cuma dari alam.

Referensi

- [1] L. N. Rahayu and J. Windarta, "Tinjauan Potensi dan Kebijakan Pengembangan PLTA dan PLTMH di Indonesia," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 3, no. 2, pp. 88–98, Jun. 2022.
- [2] F. . Baskoro, M. A. Nafian, S. I. Haryudo, M. . Widyartono, and W. . Aribowo, "Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Menggunakan Turbin Tipe Cross-Flow," *J. Tek. ELEKTRO*, vol. 10, no. 1, pp. 251–260, Jan. 2021.
- [3] K. Kuriyah, S. A. S. Ningrum, W. D. Rediyanto, P. Sukusno, and P. Jannus, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Model Hibrid Turbin Air Propeller dan Turbin Air Crossflow," *Semin. Nas. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 586–595, Oct. 2019.
- [4] P. Torsi dan Daya Turbin Pelton, D. Wardianto, and I. Anwar, "Torque and Power Testing of the Pelton Turbine," *J. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 19–25, Apr. 2021.
- [5] V. A. Suoth, H. I. . Mosey, and R. C. Telleng, "Rancang bangun alat pendeteksi intensitas cahaya berbasis Sensor Light Dependent Resistance (LDR)," *J. MIPA*, vol. 7, no. 1, pp. 47–51, May 2018.
- [6] F. Rozi, H. Amnur, F. Fitriani, and P. Primawati, "Home Security Menggunakan Arduino Berbasis Internet Of Things," *INVOTEK J. Inov. Vokasional dan Teknol.*, vol. 18, no. 2, pp. 17–24, Jul. 2018.

- [7] J. Riset Kajian Teknologi dan Lingkungan and A. Purnama, “Analisis Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Tinjauan Teknis,” *J. Ris. Kaji. Teknol. dan Lingkung.*, vol. 1, no. 2, pp. 124–130, Nov. 2018.
- [8] A. Löschel and S. Managi, “Recent Advances in Energy Demand Analysis—Insights for Industry and Households,” *Resour. Energy Econ.*, vol. 56, pp. 1–5, May 2019.
- [9] S. Saud, Danish, and S. Chen, “An empirical analysis of financial development and energy demand: establishing the role of globalization,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 25, no. 24, pp. 24326–24337, Aug. 2018.
- [10] C. G. Solomon *et al.*, “Fossil-Fuel Pollution and Climate Change — A New NEJM Group Series,” *N. Engl. J. Med.*, vol. 386, no. 24, pp. 2328–2329, Jun. 2022.
- [11] A. Tapia, D. G. Reina, and P. Millán, “Optimized micro-hydro power plants layout design using messy genetic algorithms,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 159, p. 113539, Nov. 2020.
- [12] I. Sami, N. Ullah, S. M. Muyeen, K. Techato, S. Chowdhury, and J. S. Ro, “Control Methods for Standalone and Grid Connected Micro-Hydro Power Plants with Synthetic Inertia Frequency Support: A Comprehensive Review,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 176313–176329, 2020.
- [13] A. Berrada, Z. Bouhssine, and A. Arechkik, “Optimisation and economic modeling of micro hydropower plant integrated in water distribution system,” *J. Clean. Prod.*, vol. 232, pp. 877–887, Sep. 2019.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)