

Unjuk-kerja Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Berbasis Mikrohidro dan Surya

Micro-hydro and Solar Based Hybrid Power Plant Performance

Ramadoni Syahputra*, Yudha Agung Subarkah, Kunnu Purwanto, Agus Jamal

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia.

*Corresponding author email: ramadoni@umy.ac.id



Kata Kunci:

Pembangkit listrik tenaga surya; mikrohidro; sistem hybrid.

Keywords:

Solar power plant; microhydro; hybrid system.

Abstrak

Sumber energi terbarukan yang sangat potensial adalah energi mikrohidro dan surya. Dalam aplikasinya, diperlukan suatu pembangkit listrik berukuran kecil dengan beban listrik yang sesuai yang dapat digunakan secara fleksibel. Dalam penelitian ini dibahas performa pembangkit listrik hibrid tenaga surya dan mikrohidro portable. Pembangkit listrik hibrid tersebut dirancang dengan kapasitas maksimum 1100 watt. Pembangkit listrik yang dirancang adalah bersifat *portable*, sehingga dapat dibawa dan dipindahkan dengan mudah sesuai lokasi yang sesuai. Lokasi yang sesuai untuk operasional pembangkit listrik ini adalah saluran irigasi, sungai kecil, atau selokan dengan area terbuka. Hal ini dimaksudkan agar pembangkit listrik ini menghasilkan daya listrik yang optimal, karena selain mendapatkan aliran air untuk menggerakkan mikrohidro juga mendapatkan paparan sinar matahari yang cukup. Uji coba pembangkit listrik ini telah dilakukan untuk uji tanpa beban dan menghasilkan keluaran tegangan yang memadai. Pengujian telah dilakukan untuk *pulley* turbin mikrohidro berukuran 45 mm dan 100 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *pulley* turbin mikrohidro berukuran 45 mm menghasilkan daya listrik yang lebih tinggi dibanding *pulley* 100 mm.

Abstract

Potential renewable energy sources are micro-hydro and solar energy. In its application, it is necessary to have a small power plant with a suitable electrical load that can be used flexibly. This study discusses the performance of a portable solar and micro-hydro hybrid power plant. The hybrid power plant is designed with a maximum capacity of 1100 watts. The power plant design is portable so that it can be carried and moved easily according to the appropriate location. Suitable locations for the operation of this power plant are irrigation canals, small rivers, or ditches with open areas. This fact is so that this power plant produces optimal electrical power because, in addition to getting the water flow to drive the micro-hydro, it also gets sufficient exposure to sunlight. This power plant trial has been carried out for a no-load test and produces an adequate voltage output. Tests have been carried out for micro hydro turbine pulleys measuring 45 mm and 100 mm. The test results show that the 45 mm micro hydro turbine pulley produces a higher power than the 100 mm pulley.

PENDAHULUAN

Penggunaan sumber energi fosil secara besar-besaran seperti batu bara, gas alam, dan minyak bumi telah menjadi ancaman yang sangat serius yang dihadapi dunia di saat ini (Rahmat, Kurniawan, & Yusmar, 2020; Laxman dkk, 2021). Dampak yang ditimbulkannya adalah semakin menyusutnya ketersediaan bahan bakar fosil tersebut dan emisi karbon yang mengakibatkan kerusakan lingkungan (Suripto dkk, 2019; Shi dkk, 2021). Ketergantungan pada energi konvensional atau fosil tidak akan bertahan lama, karena energi konvensional atau fosil dalam beberapa puluh tahun ke depan diperkirakan akan habis, sehingga perlu dilakukan mengalihkan energi konvensional atau fosil ke energi non fosil, yang disebut sumber energi terbarukan (Syahputra & Soesanti, 2020; Nabavi dkk, 2021). Matahari dan hidro merupakan dua dari sekian banyak jenis sumber energi terbarukan yang ketersediaannya sangat melimpah di Indonesia (Sirad et al, 2017). Potensi ini sudah selayaknya dimanfaatkan untuk pengembangan teknologi pembangkit listrik sehingga ketergantungan kepada energi fosil dapat semakin diturunkan (Suyono dkk, 2018; Ardiyanto dkk, 2019).

Pembangkit listrik tenaga surya yang memanfaatkan sel surya fotovoltaik merupakan salah satu pembangkit listrik energi terbarukan yang paling populer di dunia (Soufi dkk, 2017; Rastogi dkk, 2021). Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk meningkatkan performa pembangkit listrik ini (Singh & Pal, 2021; Tao et al, 2021). Raj dkk (2020) mengembangkan konverter dc-dc untuk meningkatkan daya keluaran dari panel surya. Dalam penelitian tersebut dirancang-bangun konverter dc-dc yang terhubung dengan keluaran tegangan panel surya untuk selanjutnya menjadi masukan ke konverter dc-dc. Pada konverter dc-dc ini tegangan dan arus keluaran panel surya dikondisikan sehingga menghasilkan daya yang selalu maksimal pada berbagai intensitas cahaya matahari. Shankar dkk (2020) merancang suatu perangkat untuk mengurangi efek *partial shading* pada panel surya fotovoltaik. Teknik yang digunakan untuk mengurangi efek *partial shading* adalah dengan merancang model konfigurasi multiple dari sel surya fotovoltaik menggunakan teknik *enhanced particle swarm optimization*. Sistem ini diharapkan dapat memaksimalkan daya keluaran panel surya pada radiasi surya yang bervariasi. Singh dkk (2021) merancang suatu sistem *monitoring* untuk pemanfaatan energi surya yang efektif dalam sistem microgrid perumahan menggunakan pengendali yang hemat biaya.

Ngo dkk (2021) merancang pengendali untuk sistem penjejukan titik daya maksimum (MPPT) pada panel surya. Pengendali MPPT yang dirancang adalah mode geser variabel berbasis algoritma *krill herd* yang lebih baik untuk metode P&O dalam sistem fotovoltaik di bawah perubahan radiasi dan suhu secara simultan. Pal dkk (2021) merancang-bangun integrator generalisasi multi-order terintegrasi frekuensi untuk grid sumber energi surya. Hasil rancangan ini telah diimplementasikan untuk meningkatkan performa pembangkit listrik tenaga surya yang dikoneksikan ke grid sistem distribusi tenaga listrik. Beberapa penelitian tersebut telah berkontribusi untuk meningkatkan performa pembangkit listrik tenaga surya. Dalam aplikasinya, pembangkit listrik tenaga surya dapat dikombinasikan dengan jenis pembangkit listrik lain untuk memanfaatkan potensi yang ada. Salah satu pembangkit listrik yang dapat dikombinasikan dengan pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik mikrohidro.

Beberapa penelitian terkait pembangkit listrik mikrohidro dan surya telah dilakukan peneliti lain, yang digunakan sebagai bahan referensi dalam pengembangan penelitian ini. Penelitian-penelitian di antaranya yang dilakukan oleh Nur Azizah dan Purbawanto (2021). Mereka melakukan penelitian mengenai studi desain pembangkit listrik hybrid yang berasal dari tenaga surya fotovoltaik dan tenaga mikrohidro. Pembangkit listrik ini dimodelkan terhubung dengan grid jaringan distribusi tenaga listrik. Studi kasus untuk rancangan tersebut adalah desa Merden, Padureso, Kebumen, propinsi Jawa Tengah. Tujuan dari penelitian tersebut yaitu untuk merencanakan model sistem pembangkit listrik tenaga hybrid berbasis energi terbarukan dengan bantuan software HOMER. Berdasarkan penelitian ini diperoleh hasil bahwa produksi energi listrik dari pembangkit hybrid selama setahun adalah 1,3 juta kWh. Biaya pokok pembangkitan energi listrik selama setahun adalah - \$0,056/kWh. Biaya pembangkitan ini diperoleh jika diasumsikan bahwa yang digunakan secara penuh adalah pembangkit listrik tenaga surya dalam setahun.

Munawer (2017) melakukan rancang bangun pembangkit listrik hybrid tenaga mikrohidro dan surya. Rancang bangun pembangkit hybrid ini untuk jenis pembangkit listrik yang bersifat tetap untuk dibangun di suatu lokasi gardu pembangkit. Kapasitas pembangkit listrik adalah 100 VA. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang dihasilkan adalah 86 watt dengan debit air 0.075 m³/s.

Solihat (2020) melakukan penelitian mengenai pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Prototipe pembangkit listrik mikrohidro dirancang berdasarkan potensi hidro pada saluran irigasi yang kecil. Sebelum dilakukan pengujian pembangkit, terlebih dahulu dilakukan pengukuran debit air saluran irigasi. Hasil pengukuran diperoleh bahwa debit air bervariasi dari 1000 L/s hingga 2000 L/s. Pada debit air tertinggi yaitu 2000 L/s diperoleh daya keluaran generator adalah 1,91 watt. Pada pengujian dengan debit air yang lebih rendah maka hasilnya juga diperoleh kapasitas daya listrik yang rendah dari generator yang digunakan.

Tri Atmojo (2021) melakukan penelitian mengenai perancangan pembangkit listrik tenaga micro hydro *portable*. Pembangkit listrik mikrohidro *portable* dalam rancangan tersebut dapat digunakan untuk memanfaatkan saluran irigasi dengan debit air yang rendah. Hasil ujicoba pembangkit listrik mikrohidro di desa Tamantirto, Kasihan, Bantul menunjukkan bahwa daya listrik yang dihasilkan adalah 179.32 watt. Dalam penelitian ini hanya terfokus merancang pembangkit listrik tenaga mikrohidro, tidak dikombinasikan dengan pembangkit listrik jenis lain.

Gunawan dkk (2021) melakukan penelitian mengenai pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Dalam penelitian tersebut dilakukan rancang bangun PLTS yang bersifat *portable*. Dua buah panel surya masing-masing berkapasitas 20 watt-peak ditempatkan di atas suatu rangka mekanik setinggi 75 cm dengan lebar 55 cm. Hasil pengujian yang dilakukan saat cuaca cerah pada pukul 13.00 diperoleh tegangan keluaran panel surya adalah 17 volt. Pengujian dilakukan selama 8 jam untuk pengisian baterai 12 volt berkapasitas 10 Ah. Tegangan baterai maksimum saat kondisi penuh adalah 13,6 volt. Penerapan pembangkit listrik untuk melayani beban lampu LED 5 watt sebanyak 4 buah menunjukkan bahwa baterai mampu bertahan hingga 6 jam.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah diulas di atas, maka terdapat peluang penelitian yaitu rancang bangun suatu pembangkit listrik hybrid yang merupakan kombinasi tenaga surya dan mikrohidro. Dalam penelitian yang dilakukan penulis ini dirancang-bangun dan uji performa pembangkit listrik hybrid bertenaga surya dan mikrohidro. Pembangkit listrik hybrid ini memanfaatkan saluran irigasi atau sungai kecil yang berlokasi di tempat terbuka, sehingga pembangkit listrik dapat memanfaatkan energi air dan surya sekaligus. Sifat dari pembangkit listrik hybrid ini adalah *portable*, sehingga dapat dengan mudah dibawa dan dipindahkan sesuai kebutuhan. Kebutuhan energi listrik di area persawahan menjadi salah satu aplikasi penting dari pembangkit listrik ini.

METODE PENELITIAN

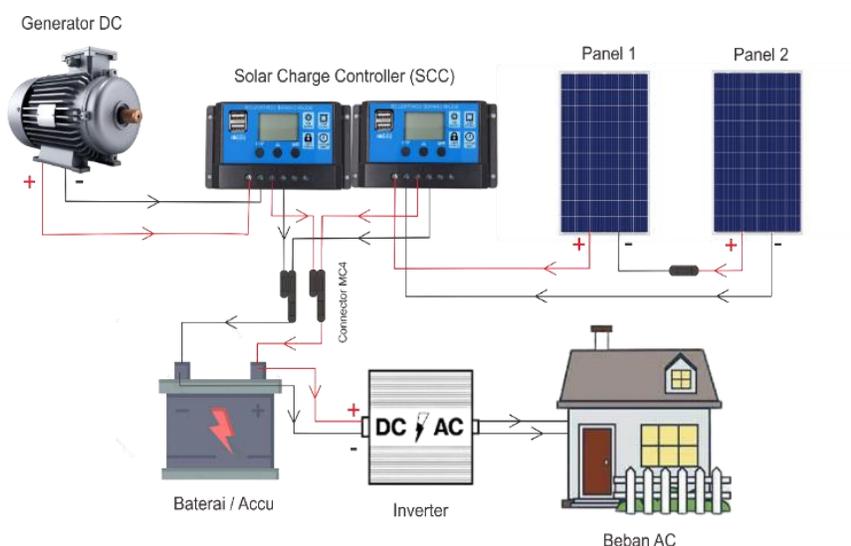
Prosedur penelitian ini ditunjukkan dalam suatu diagram alir seperti terlihat pada gambar 1. Langkah pertama adalah studi pustaka. Studi pustaka meliputi pembangkit listrik tenaga surya dan mikrohidro dan perancangan mekanik untuk mendapatkan rancangan pembangkit listrik yang paling ergonomis.



Gambar 1. Diagram alir langkah-langkah penelitian

Langkah selanjutnya adalah analisis dan identifikasi kebutuhan penelitian. Hal ini dilakukan untuk menganalisis dan mengidentifikasi komponen serta alat yang dibutuhkan dalam perancangan agar sistem berjalan dengan baik. Setelah analisis dan identifikasi selesai, maka dilanjutkan perancangan alat. Perancangan dilaksanakan untuk meminimalisir kesalahan-kesalahan yang mungkin terjadi dan memahami karakteristik dari komponen sebelum membuat alat. Perancangan alat dilakukan secara manual dan menggunakan perangkat lunak desain 3-dimensi. Perancangan alat memegang peranan penting dalam rancang-bangun pembangkit listrik hybrid ini. Pada tahap perancangan alat ini dapat dianalisis tentang dimensi, perkiraan ukuran, dan bentuk pembangkit listrik hybrid yang akan dibangun. Pada perancangan alat berisi tentang pembuatan desain alat, dan perancangan rangkaian. Dalam pembuatan desain juga berpengaruh terhadap bentuk *portable*. Selain itu dilakukan juga perancangan pengkabelan untuk rangkaian elektrik pada pembangkit listrik hybrid. Hal ini untuk memudahkan proses pembuatan alat sesungguhnya.

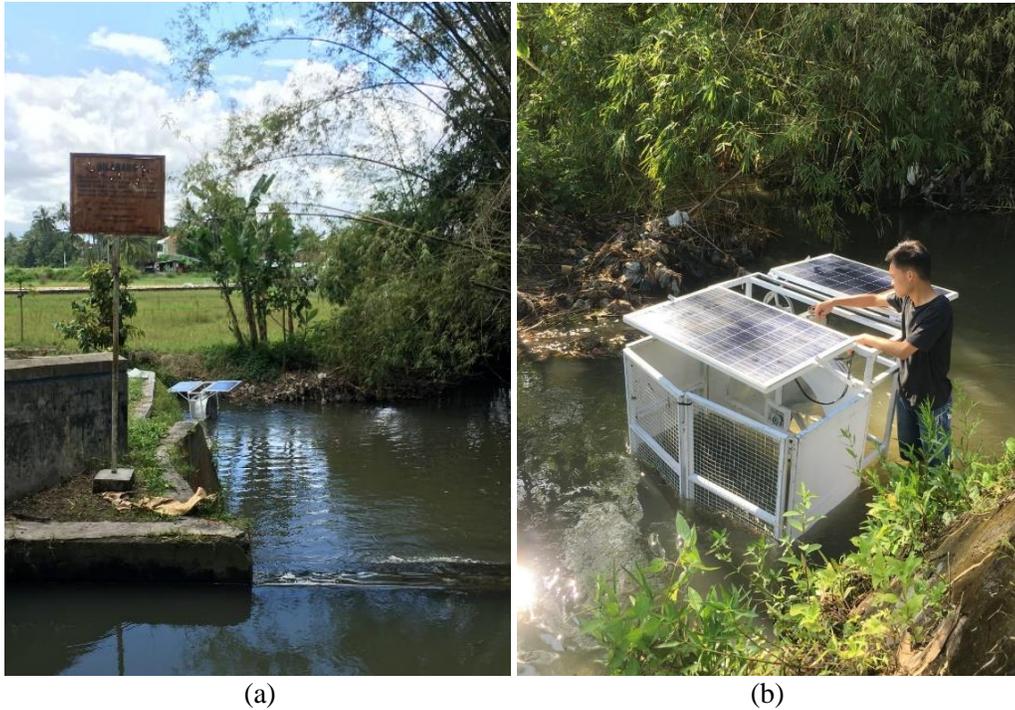
Proses berikutnya adalah pembuatan pembangkit listrik hybrid. Proses ini merupakan proses paling penting untuk mewujudkan pembangkit listrik hybrid tenaga surya dan mikrohidro. Tahap pembuatan pembangkit listrik hybrid portable dibagi menjadi beberapa tahap yaitu tahap pembuatan turbin mikrohidro yang terdiri dari perangkaian kerangka, pengecatan, perangkaian komponen, instalasi komponen dan penyelesaian akhir, dan tahap perangkaian dua buah panel surya. Dalam proses ini juga dilakukan perangkaian instalasi keluaran pembangkit ke suatu alat yang disebut *solar charge controller (SCC)* sehingga dihasilkan rangkaian instalasi pembangkit listrik seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram rangkaian instalasi pembangkit listrik tenaga hybrid berbasis mikrohidro dan surya

Setelah rangkaian instalasi pembangkit listrik tenaga hybrid berbasis mikrohidro dan surya terbentuk, maka dilanjutkan dengan langkah pengujian alat. Pengujian alat ini dilakukan untuk mengetahui performa dari pembangkit listrik hybrid yang dibuat. Pengujian dilakukan di lingkungan sebenarnya yaitu di saluran irigasi Dukuh Ngrame, Desa Tamantirto, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Saluran irigasi pada lokasi penelitian tersebut ditunjukkan pada gambar 3(a), sedangkan penempatan pembangkit listrik tenaga hybrid berbasis mikrohidro dan surya ditunjukkan pada gambar 3(b).

Langkah berikutnya adalah pengumpulan data. Pengumpulan data berguna untuk menganalisis performa pembangkit listrik hybrid yang dibangun. Data pengujian yang terdiri dari tegangan keluaran generator mikrohidro, tegangan keluaran panel surya, tegangan dan arus pada masing-masing komponen seperti SCC, baterai, dan inverter, serta kecepatan putaran generator mikrohidro yang diukur menggunakan tacho-meter. Data hasil pengukuran selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan dari performa pembangkit listrik hasil rancang bangun.



Gambar 3. (a) Saluran irigasi pada lokasi penelitian dan (b) penempatan pembangkit listrik tenaga hybrid berbasis mikrohidro dan surya pada saluran irigasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam rangka mengetahui dan menganalisis performa pembangkit listrik tenaga hybrid berbasis mikrohidro dan surya dalam lingkungan yang sebenarnya, maka dilakukan pengujian pembangkit listrik pada lokasi yang sesuai. Lokasi pengujian yang dipilih adalah saluran irigasi yang terletak di dukuh Ngrame, desa Tamantirto, kecamatan Kasihan, kabupaten Bantul, propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.



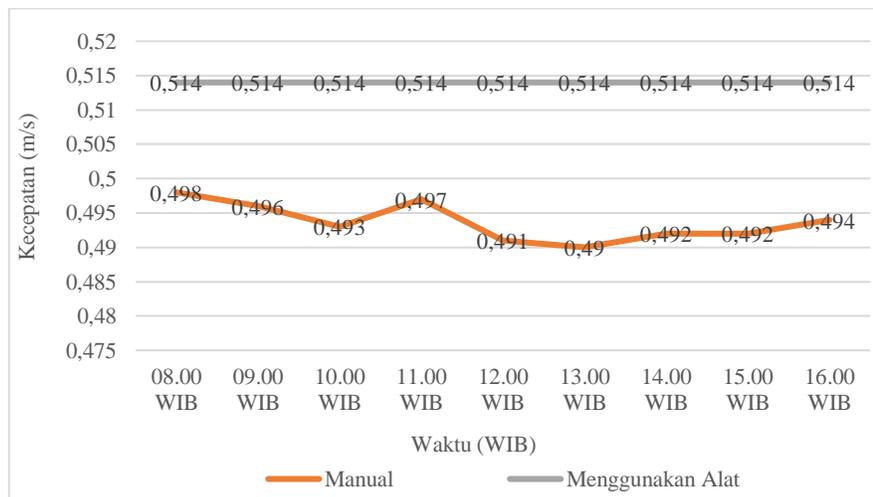
Gambar 4. Denah lokasi pengujian pembangkit listrik tenaga hybrid berbasis mikrohidro dan surya

Alasan pemilihan lokasi ini adalah bahwa saluran irigasi yang selama ini digunakan untuk mengairi persawahan di Kawasan tersebut memiliki debit air yang memadai untuk menggerakkan mikrohidro dan lokasi yang terbuka dan bebas dari pepohonan dan bangunan, sehingga memudahkan panel surya dari pembangkit listrik hybrid untuk mendapatkan paparan sinar matahari. Denah lokasi pengujian pembangkit listrik tenaga hybrid berbasis mikrohidro dan surya dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 4.

Pada tahap awal pengujian pembangkit listrik tenaga hybrid berbasis mikrohidro dan surya adalah pengukuran potensi energi air dan surya pada lokasi penelitian. Pada sub-bagian berikut ini diuraikan proses dan hasil pengamatan potensi energi air dan surya di lokasi pengujian pembangkit hybrid. Setelah potensi energi air dan surya dapat diketahui, proses selanjutnya adalah pengujian performa pembangkit listrik tenaga hybrid berbasis mikrohidro dan surya dengan mengamati tegangan, arus, dan daya keluaran pembangkit listrik hybrid.

Pengukuran Potensi Energi Air dan Surya

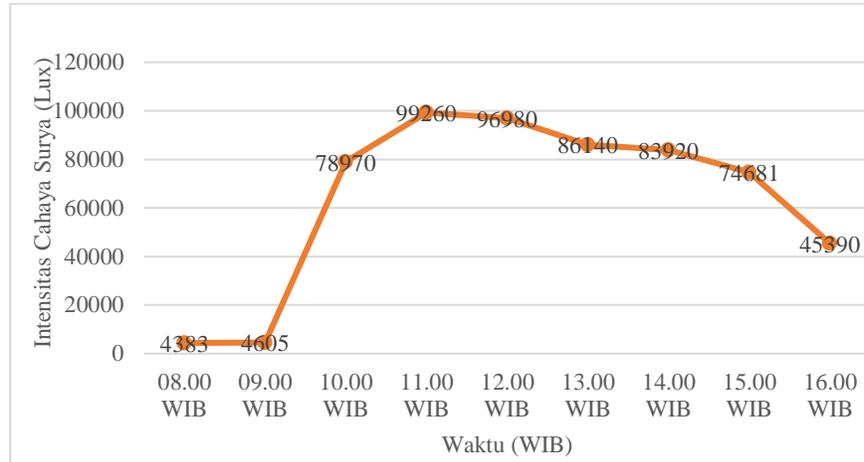
Potensi energi air pada lokasi penelitian yaitu saluran irigasi di dukuh Ngrame, desa Tamantirto, kecamatan Kasihan, kabupaten Bantul, propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dilakukan dengan mengukur laju aliran air. Pada pengukuran ini dilakukan dengan dua cara yakni secara manual dan menggunakan flow-meter. Pengukuran secara manual yaitu dengan cara melakukan pengambilan data laju bola pingpong yang diletakkan di atas air, kemudian diamati waktu perjalannya melewati jarak 3 meter yang ditentukan, sehingga diperoleh laju aliran air dalam satuan m/s. Sedangkan pengukuran menggunakan alat ukur kecepatan aliran air yaitu flow-meter dilakukan pengukuran langsung dan diperoleh besaran dengan satuan knot. besaran laju air dalam satuan knot ini selanjutnya dikonversi menjadi m/s, supaya hasil pengukuran manual dan menggunakan flow-meter dapat dibandingkan. Hasil pengukuran laju aliran air rata-rata yang dilakukan pada tanggal 4 – 9 April 2022 ditunjukkan secara grafis pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil pengukuran laju aliran air rata-rata yang dilakukan pada tanggal 4 – 9 April 2022

Pada gambar 5 ditunjukkan grafik data hasil pengukuran laju aliran air rata-rata selama enam hari pengukuran. Setiap hari dalam kurun waktu enam hari tersebut dilakukan pengamatan mulai pukul 08.00 WIB sampai dengan pukul 16.00 WIB, dengan interval pencatatan hasil pengamatan adalah 1 jam. Berdasarkan hasil pengamatan seperti terlihat pada gambar 5 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran laju aliran air irigasi menggunakan alat flow-meter menghasilkan grafik yang konstan dengan nilai laju aliran air 0,514 m/s. Hasil ini sedikit berbeda dengan pengukuran secara manual, dimana diperoleh laju aliran air rata-rata adalah 0,494 m/s. Dalam pengamatan laju aliran air secara manual sebagaimana terlihat pada grafik di gambar 5 bahwa laju aliran tertinggi terjadi pada pukul 08.00 WIB yaitu sebesar 0,498 m/s. Laju aliran air terendah diperoleh pada pengamatan pukul 13.00 WIB yaitu sebesar 0,490 m/s.

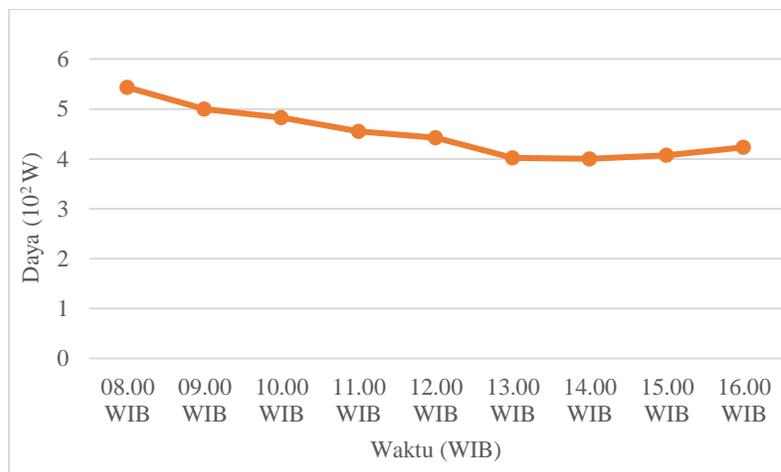
Tahapan selanjutnya adalah pengukuran potensi energi surya pada lokasi pengujian pembangkit listrik hybrid. Potensi energi surya yang diukur adalah intensitas cahaya surya. Pengukuran intensitas ini dilakukan selama enam hari yaitu 4 – 9 April 2022, setiap harinya dimulai pukul 08.00 WIB dan diakhiri pukul 16.00 WIB. Hasil pengukuran ini ditunjukkan secara grafis pada gambar 6.



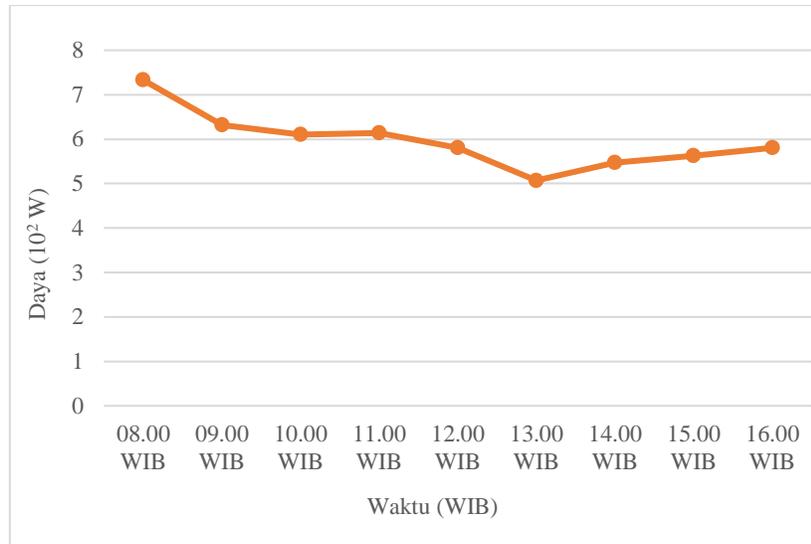
Gambar 6. Hasil pengukuran intensitas cahaya surya rata-rata yang dilakukan pada tanggal 4 – 9 April 2022

Berdasarkan hasil pengujian pada gambar 6 terlihat bahwa intensitas cahaya surya tertinggi pada saat pengamatan terjadi pada pukul 11.00 WIB yaitu sebesar 99.260 lux. Intensitas cahaya surya pada jam-jam berikutnya mengalami penurunan hingga akhir waktu pengamatan yaitu pukul 16.00 WIB sebesar 45.890 lux.

Tahapan penelitian selanjutnya adalah pengujian unjuk-kerja pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Pengujian ini dilakukan dengan dua skema, yaitu pembangkit listrik mikrohidro dengan *pulley* generator 100 mm dan 45 mm. Pada Gambar 7 ditunjukkan hasil pengukuran keluaran daya listrik rata-rata pembangkit listrik mikrohidro dengan *pulley* generator 100 mm. Daya listrik tertinggi hasil keluaran pembangkit listrik mikrohidro diperoleh pada pengujian pukul 08.00 WIB yaitu sebesar 543 watt, sedangkan daya listrik terendah terjadi pada pukul 13.00 dan 14.00 WIB yaitu sebesar 402 watt. Fakta di lapangan menunjukkan bahwa pada pagi hari laju aliran air irigasi relatif lebih tinggi dibandingkan pada siang hari. Hal ini berdampak kepada unjuk-kerja pembangkit listrik mikrohidro, dimana pada saat pagi hari menghasilkan daya keluaran yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan siang hari.



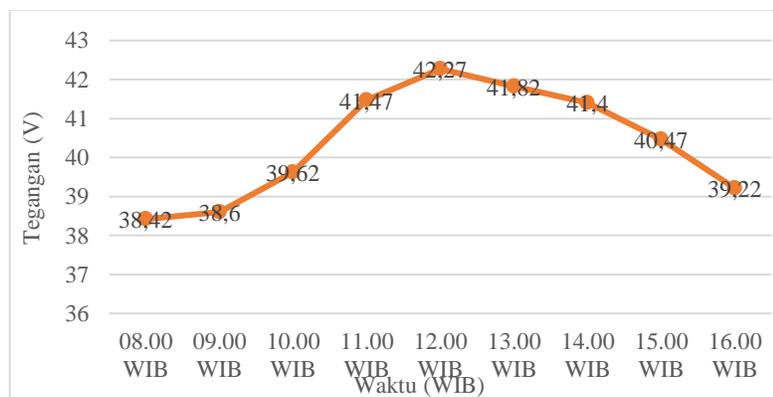
Gambar 7. Hasil pengukuran keluaran daya rata-rata pembangkit listrik mikrohidro dengan *pulley* generator 100 mm



Gambar 8. Hasil pengukuran keluaran daya rata-rata pembangkit listrik mikrohidro dengan *pulley* generator 45 mm

Pada gambar 8 ditunjukkan hasil pengukuran keluaran daya listrik rata-rata pembangkit listrik mikrohidro dengan *pulley* generator 45 mm. Daya listrik tertinggi hasil keluaran pembangkit listrik mikrohidro dengan *pulley* 45 mm ini diperoleh juga pada pengujian pukul 08.00 WIB yaitu sebesar 733 watt, sedangkan daya listrik terendah terjadi pada pukul 13.00 WIB yaitu sebesar 507 watt. Sama halnya dengan pengujian mikrohidro dengan *pulley* 100 mm bahwa fakta di lapangan menunjukkan bahwa pada pagi hari laju aliran air irigasi relatif lebih tinggi dibandingkan pada siang hari. Hal ini berdampak kepada unjuk-kerja pembangkit listrik mikrohidro, dimana pada saat pagi hari menghasilkan daya keluaran yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan siang hari.

Unjuk-kerja dua buah panel surya yang merupakan bagian dari pembangkit listrik hybrid ditunjukkan pada gambar 9. Pada gambar 9 diperlihatkan bahwa keluaran tegangan dua panel surya yang terhubung seri menghasilkan tegangan tertinggi rata-rata selama enam hari pengamatan adalah pada pukul 12.00 WIB yaitu sebesar 42,27 volt. Tegangan terendah rata-rata selama pengamatan enam hari adalah 38,42 volt yang terjadi pada pukul 08.00 WIB.



Gambar 9. Hasil pengukuran keluaran tegangan rata-rata panel surya 200 watt-peak

KESIMPULAN

Pembangkit listrik hybrid bertenaga surya dan mikrohidro telah diujicoba selama enam hari untuk mengetahui performanya. Pengujian dilakukan pada tanggal 4 hingga 9 April 2022. Lokasi pengujian adalah saluran irigasi dukuh Ngrame, desa Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Uji performa pembangkit listrik ini diamati secara terpisah, dimana keluaran pembangkit listrik tenaga mikrohidro dan tenaga surya diukur secara terpisah. Hasil pengukuran daya listrik keluaran pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan *pulley* generator berukuran 100 mm selama enam hari tersebut adalah 464 watt, sedangkan untuk *pulley* generator berukuran 45 mm adalah 596 watt.

Selanjutnya dilakukan pengamatan terhadap hasil pengukuran performa pembangkit listrik tenaga surya. Hasil pengukuran selama enam hari pada tanggal yang sama yaitu 4 hingga 9 April 2022 diperoleh daya rata-rata dari dua buah panel surya berkapasitas total 200 watt-peak adalah 160 watt. Pengujian yang dilakukan pada pukul 08.00 wib hingga pukul 16.00 WIB ini menghasilkan daya listrik yang cukup optimal dengan intensitas cahaya matahari rata-rata sebesar 71.479,44 lux. Intensitas cahaya matahari tersebut menghasilkan tegangan keluaran rata-rata panel surya sebesar 36,10 volt.

Berdasarkan hasil pengujian, pembangkit listrik tenaga hybrid berbasis mikrohidro dan surya hasil rancang bangun pada penelitian ini mampu membangkit daya yang lebih tinggi dengan kombinasi pembangkit listrik tenaga surya dan generator mikrohidro dengan ukuran *pulley* 45 mm, dimana total daya listrik yang dihasilkan adalah 756 watt.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada DRTPM Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah memberikan dukungan pendanaan dalam penelitian ini. Semoga kerjasama ini membawa manfaat bagi bangsa dan negara untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan aplikasinya di masyarakat.

REFERENSI

- Ardiyanto, Y., Sujoko, I. T., Wibowo, W. A., Nugraha, V. D. H., & Saputra, F. (2019) Prototype design of unmanned surface ship to detect illegal fishing using solar power generation technology, *Journal of Electrical Technology UMY*, 3(1), 14-18. <https://doi.org/10.18196/jet.3149>
- Gunawan, L.A., Agung, A.I., Widartono, M., & Haryudo, S.I. (2021). Rancang bangun pembangkit listrik tenaga surya portable, *Jurnal Teknik Elektro*, 10(1), 65-71. <https://doi.org/10.26740/jte.v10n1.p65-71>
- Laxman, B., Annamraju, A., & Srikanth, N. V. (2021). A grey wolf optimized fuzzy logic based MPPT for shaded solar photovoltaic systems in microgrids, *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(18), 10653–10665. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.12.158>
- Munawer, M. (2017). Perancangan dan pembangunan pembangkit listrik tenaga mikrohidro untuk pembangkit listrik tenaga hibrid berbasis energi air dan surya, *Skripsi S1 Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, FPTK, Universitas Pendidikan Indonesia*.
- Nabavi, S. A., Motlagh, N. H., Zaidan, M. A., Aslani, A., & Zakeri, B. (2021). Deep learning in energy modeling: Application in smart buildings with distributed energy generation, *IEEE Access*, 9, 125439 - 125461. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3110960>

- Ngo, V.Q.B., Latifi, M., Abbassi, R., Jerbi, H., Ohshima, K., & Khaksar, M. (2021). Improved krill herd algorithm based sliding mode MPPT controller for variable step size P&O method in PV system under simultaneous change of irradiance and temperature, *Journal of the Franklin Institute*, 358, 3491–3511. <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2021.02.021>
- Nur Azizah, A., & Purbawanto, S. (2021). Perencanaan pembangkit listrik tenaga hibrid (PV dan Mikrohidro) terhubung grid (Studi kasus desa Merden, Kecamatan Padureso, Kebumen), *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*, 2(1). <https://doi.org/10.22146/juliet.v2i1.64365>
- Pal, K., Kumar, S., Singh, B., & Kandpal, T. C. (2021). Implementation of frequency integrated multi-order generalized integrator for solar energy sourced grid, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 131, 106918. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.106918>
- Rahmat, A., Kurniawan, A., & Yusmar, Y. (2020). Challenges and strategies to reduce cost of production in isolated electricity systems with optimization of renewable energy at Central Sulawesi, 2020 *International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICT-PEP)*, 23-24 Sept. 2020.
- Raj, A., Arya, S. R., & Gupta, J. (2020). Solar PV array-based DC–DC converter with MPPT for low power applications, *Renewable Energy Focus*, 34, 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2020.05.003>
- Rastogi, M., Ahmad, A., & A. Bhat, H. (2021). Performance investigation of two-level reduced-switch D-STATCOM in grid-tied solar-PV array with stepped P&O MPPT algorithm and modified SRF strategy, *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.06.008>
- Shankar, N., & SaravanaKumar, N. (2020). Reduced partial shading effect in multiple PV array configuration model using MPPT based enhanced particle swarm optimization technique, *Microprocess and Microsystem*, vol. 2020, 103287. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103287>
- Shi, Y., Sun, Y., Liu, J., & Du, X. (2021). Model and stability analysis of grid-connected PV system considering the variation of solar irradiance and cell temperature, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 132, 107155. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107155>
- Singh, R., Amrr, S. M., & Asghar, M. S. J. (2021). Supervisory control strategy for the effective solar energy utilization in a residential microgrid system using a cost-effective controller, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 132, 107170. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107170>
- Singh, Y., & Pal, N. (2021). Reinforcement learning with fuzzified reward approach for MPPT control of PV systems, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 48, 101665. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101665>
- Sirad, M.A.H. (2017). Analysis of the potential of renewable energy in South Sulawesi as power electrical needs, *Journal of Electrical Technology UMY*, 1(4), 196-201. <https://doi.org/10.18196/jet.1426>
- Solihat, I. (2020). Rancang bangun prototipe pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH), *Jurnal Inovasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 1(2). <http://openjournal.unpam.ac.id/index.php/JIPT/article/view/5910>
- Soufi, Y., Bechouat, M., & Kahla, S. (2017). Fuzzy-PSO controller design for maximum power point tracking in photovoltaic system, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(13), 8680–8688. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.07.212>
- Suripto, S., Al Hasibi, R. A., Wiyagi, R. O., Sanupal, S., Jusman, Y., & Aribowo, D. (2019). Analysis of the utilization of Putri Cempo landfill waste for power plants and their effects on the Surakarta electric power distribution network, *Journal of Electrical Technology UMY*, Vol 3, No 4 (2019), pp. 125-134. <https://doi.org/10.18196/jet.3463>

- Suyono, H., Shidiq, M., Ferdianzah, A. N., Utomo, T., Musirin, I., & Awal, L. J. (2018). Dynamic stability impact of the hybrid wind and microhydro renewable energy sources on the distribution system, *2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*, 9-11. <https://doi.org/10.1109/EECCIS.2018.8692793>
- Syahputra, R., & Soesanti, I. (2020). Planning of hybrid micro-hydro and solar photovoltaic systems for rural areas of Central Java, Indonesia, *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/5972342>
- Tri Atmojo, S. (2021). Perancangan pembangkit listrik tenaga micro hydro portable, *Skripsi S1 Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*.
- Tao, H., Ghahremani, M., Ahmed, F. W., Jing, W., Nazir, M. S., & Ohshima, K. (2021). A novel MPPT controller in PV systems with hybrid whale optimization-PS algorithm based ANFIS under different conditions, *Control Engineering Practice*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2021.104809>