

Pengembangan Teknologi Energi Terbarukan Terpadu Melalui Pemanfaatan Mikrohidro dan Biogas Komunal Pada Kawasan Tertinggal Desa Gelang Kabupaten Jember

Development of Integrated Renewable Energy Technology through the Utilization of Microhydro and Communal Biogas in Disadvantaged Areas in Gelang Village, Jember Regency

I Putu Dody Lesmana^{1*}, Beni Widiawan², Rosa Tri Hertamawati³

^{1,2} Department of Information Technology, Politeknik Negeri Jember

³ Department of Animal Husbandry, Politeknik Negeri Jember

* dody@polije.ac.id

ABSTRAK

Desa Gelang merupakan salah satu desa yang terletak di lereng Gunung Argopuro, Kabupaten Jember. Kondisi geografis Desa Gelang khususnya Dusun Lanasan memiliki perkebunan teh dan kopi seluas ±5.205,245 Ha. Walaupun Dusun Lanasan memiliki agrowisata menarik, tetapi tidak adanya listrik mengganggu aktivitas perekonomian dan mobilitas warganya. Selain itu, warga Dusun Lanasan yang memiliki 32 sapi dan 60 kambing menghasilkan limbah kotoran ±800 Kg per-hari dimana limbah kotoran hanya ditumpuk sehingga terlihat kotor dan menyebarkan bau tidak sedap. Melalui pengabdian masyarakat ini diterapkan solusi mikrohidro dengan memanfaatkan aliran sungai di Dusun Lanasan dan pembuatan biogas komunal. Pelaksanaan kegiatan dimulai dari pengukuran potensi mikrohidro, konstruksi bangunan sipil, pembuatan mikrohidro dengan turbin *cross-flow*, pembuatan saluran inlet-outlet dan digester biogas, serta instalasi listrik dan biogas. Hasil kegiatan ini dibangun PLTMH Dusun Lanasan yang menghasilkan daya listrik 2800 Watt untuk kebutuhan listrik dari 20 KK dan biogas komunal dari pengolahan limbah ternak mampu menghasilkan 16 m³ biogas per-hari yang telah disalurkan ke dapur-dapur warga Dusun Lanasan dimana mampu menghemat pembelian 2-3 elpiji per-bulannya.

Kata kunci — mikrohidro, konstruksi bangunan mikrohidro, *cross-flow*, biogas

ABSTRACT

Gelang Village is one of the villages located on the slopes of Mount Argopuro, Jember Regency. The geographical condition of Bracelet Village, especially Lanasan District, has tea and coffee plantations covering an area of ±5,205,245 Ha. Although Lanasan District has interesting agro-tourism, the absence of electricity interferes with economic activity and the mobility of its citizens. In addition, the residents of Lanasan District who have 32 cows and 60 goats produce ±800 kg of waste per day where the waste is simply piled up so that it looks dirty and spreads an unpleasant odor. Through this community service, micro-hydro solutions are applied by utilizing the river flow in Lanasan District and making communal biogas. The implementation of activities starts from measuring the potential of micro-hydro, construction of civil buildings, manufacture of micro-hydro with a cross-flow turbine, the manufacture of inlet-outlet channels and biogas digesters, as well as electricity and biogas installations. As a result of this activity, a micro-hydro power plant was built that produces 2800 Watts of electricity for the electricity needs of 20 families and communal biogas from livestock waste processing is able to produce 16 m³ of biogas per day which has been distributed to the kitchens of the residents of Lanasan District which is able to save on the purchase of 2- 3 LPG per month.

Keywords — *micro hydro, micro hydro building construction, cross-flow, biogas*

 OPEN ACCESS

© 2021. I Putu Dody Lesmana, Beni Widiawan, Rosa Tri Hertamawati



Creative Commons
Attribution 4.0 International License

1. Pendahuluan

Desa Gelang yang terletak di Kecamatan Sumberbaru, Kabupaten Jember merupakan salah satu desa yang terletak di dataran tinggi di lereng Gunung Argopuro yang berjarak ± 60 km dari pusat kota Jember dan terletak pada ketinggian 900 m di atas permukaan laut. Kondisi geografis Desa Gelang khususnya pada Dusun Lanasan memiliki sumber daya alam yang eksotis berupa perkebunan teh dan kopi seluas $\pm 5.205,245$ Ha yang disebut Kawasan Gunung Gambir dan menjadi salah satu agrowisata unggulan di Jember. Selain itu, Dusun Lanasan juga dilewati aliran sungai Rengganis yang mengalir di sepanjang pinggir rumah warga dengan aliran air cukup deras. Walaupun Dusun Lanasan memiliki potensi agrowisata menarik, tetapi belum mampu menopang perekonomian warganya yang sebagian besar hanya lulusan SD dimana pendapatan utamanya bergantung dari upah sebagai pemetik teh dan kopi serta usaha sampingan berternak sapi dan kambing. Berdasarkan [1], Desa Gelang khususnya Dusun Lanasan merupakan salah satu wilayah Jember yang menerima bantuan program Raskin (beras untuk keluarga miskin) terbesar di Kabupaten Jember. Rendahnya perekonomian dan kurang berkembangnya agrowisata di Dusun Lanasan disebabkan wilayah ini belum memiliki aliran listrik sehingga mengganggu aktivitas perekonomian dan mobilitas warganya ketika hari mulai gelap sehingga Dusun Lanasan menjadi kawasan terisolasi pada malam hari.

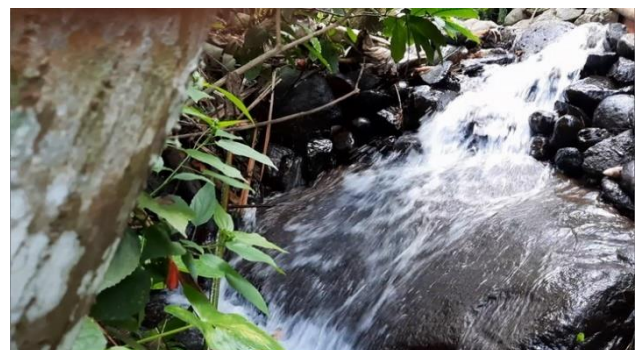
Walaupun penerangan listrik sudah dilakukan secara swadaya menggunakan satu mesin generator listrik 1000 Watt, tetapi belum mampu penerangan yang cukup pada 20 KK (Kepala Keluarga) seperti ditunjukkan Gambar 1(a). Tidak meratanya pasokan listrik di Dusun Lanasan menimbulkan beberapa permasalahan, yaitu: 1) setiap KK dibatasi hanya sampai penggunaan dua lampu; 2) pemakaian listrik di luar kesepakatan menurunkan daya listrik warga lain; 3) menimbulkan konflik sosial akibat pemakaian listrik; dan 4) usaha lokal memiliki jam terbatas dan jalan akses Dusun Lanasan gelap gulita di malam hari. Selain itu, warga Dusun Lanasan yang memiliki 32 sapi dan 60 kambing menghasilkan limbah kotoran ± 800 Kg per-hari dimana limbah kotoran hanya ditumpuk

atau dibiarkan saja di pekarangan rumah atau ditempatkan di lubang galian sehingga pekarangan atau kandang sapi terlihat kotor, mengundang vektor penyakit (lalat, nyamuk), menimbulkan bau gas amonia dan menyebarkan bau tidak sedap seperti ditunjukkan Gambar 1(b). Pendapatan warga yang bergantung dari upah memetik teh dan pembagian sisa hasil tiket masuk agrowisata Gunung Gambir yang berbagi dengan PTPN XII sebagai pemilik lahan tidak sepadan dengan pemenuhan kebutuhan rumah tangga sehari-hari seperti memasak yang masih menggunakan kayu bakar, pemakaian elpiji mahal dan sulit mendapat pasokan.



(a) (b)
Gambar 1. Lingkungan Dusun Lanasan: a) rumah tanpa aliran listrik; b) penumpukan limbah kotoran ternak

Dengan melihat permasalahan warga Dusun Lanasan dalam menciptakan kemandirian energi dan peningkatan perekonomian dan melihat potensi aliran sungai dengan tinggi jatuh air (*head*) antara 1.5-2.5 m seperti ditunjukkan Gambar 2, maka dapat dilakukan penerapan teknologi mikrohidro sebagai pembangkit listrik dan penerapan biogas untuk mengolah limbah kotoran ternak. Teknologi mikrohidro yang diterapkan menggunakan turbin *cross-flow* sesuai karakteristik sungai di Dusun Lanasan yang memiliki tinggi jatuh air rendah atau *low-head* [2]-[5].



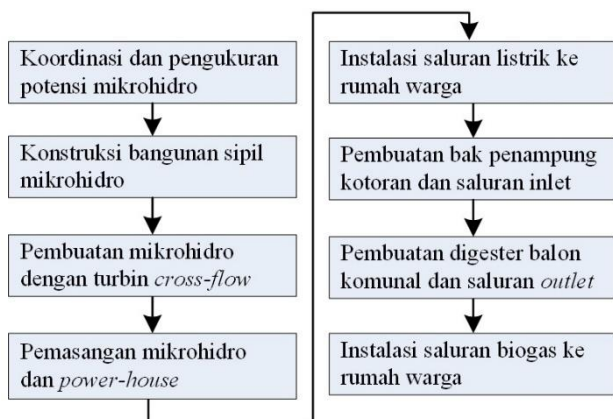
Gambar 2. Potensi aliran sungai Dusun Lanasan sebagai pembangkit listrik mikrohidro

2. Target dan Luaran

Melalui kegiatan Produk Teknologi yang Didesiminasikan ke Masyarakat (PTDM) diberikan dua solusi, yaitu 1) pemanfaatan aliran sungai melalui penerapan teknologi mikrohidro untuk pemenuhan listrik bagi 20 KK; 2) pemanfaatan limbah kotoran ternak yang berlimpah sebagai biogas dan pupuk organik. Khalayak sasaran dalam pelaksanaan PTDM ini adalah warga RT 001 dan RT 003, RW 023 Dusun Lanasan, Desa Gelang.

3. Metodologi

Metodologi kegiatan PTDM melibatkan tim pelaksana yang terdiri dari kolaborasi dosen dan mahasiswa, Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Jember sebagai perpanjangan BRIN (Badan Riset Inovasi Nasional) Republik Indonesia, dan mitra pengabdian yang diwakili oleh warga RW 023 Dusun Lanasan, Desa Gelang. Tahapan pelaksanaan ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir kegiatan PTDM

4. Pembahasan

Pelaksanaan kegiatan PTDM di Dusun Lanasan dibagi menjadi dua tahapan, yaitu pembuatan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) dan biogas komunal di Dusun Lanasan dimana keluaran yang dicapai dijelaskan sebagai berikut:

4.1 Pembuatan PLTMH Dusun Lanasan

Koordinasi dan Pengukuran Potensi Mikrohidro

Kegiatan PTDM diawali dengan diskusi antara tim pelaksana PTDM dan perwakilan

kelompok warga Dusun Lanasan. Pembahasan FGD meliputi pemaparan metode pelaksanaan kegiatan, rentang waktu pengerjaan, pengukuran potensi mikrohidro dan lokasi PLTMH, konstruksi bangunan sipil, pembuatan perangkat mikrohidro dan *power-house*, dan instalasi listrik. Untuk pengukuran potensi mikrohidro dilakukan survei lapangan di sepanjang aliran sungai Dusun Lanasan dan dilakukan dua kali pengukuran potensi mikrohidro saat debit aliran sungai tinggi dan sebaliknya. Pengukuran potensi mikrohidro dilakukan di lokasi rencana bendungan dan saluran penyalur air ke mikrohidro menggunakan *current meter flow* merek Mini-Air 20 seperti ditunjukkan Gambar 4, dimana pengukuran dilakukan secara melintang lebar sungai dengan kontur homogen sepanjang 0,8 m yang dibagi menjadi empat segmen per 0,2 meter. Hasil pengukuran dicatat pada lembar pencatat data seperti ditunjukkan Tabel 1 yang berisi jarak antar bagian (S) dalam satuan meter, kedalaman kincir (K) dari *current meter flow* dalam satuan meter yang diukur pada separuh kedalaman air sungai, luas permukaan per tahap (L) dalam satuan m^2 , kecepatan rata-rata debit aliran air (V) dalam satuan m/s dari tiga kali pengukuran per tahap, dan debit aliran sungai (D) per tahap dalam satuan m^3/s . Dari hasil pengukuran didapatkan total debit aliran air sebesar $0,0707 m^3/s$ yang digunakan sebagai parameter penentu lebar dan *runner* turbin *cross-flow* untuk menghasilkan luaran daya listrik yang maksimal.



Gambar 4. Pengukuran debit aliran air

Tabel 1. Perhitungan debit aliran air

	S	K	$L=S*K$	V	$D=V*L$
I	0,2	0,260	0,052	0,323	0,0168
II	0,2	0,270	0,054	0,334	0,0180
III	0,2	0,280	0,056	0,329	0,0184
IV	0,2	0,265	0,053	0,324	0,0172
Total Debit Aliran Air (D)					0,0707

Konstruksi Bangunan Sipil

Konstruksi bangunan sipil PLTMH Dusun Lanasan melibatkan beberapa tahapan, yaitu pertama, pembersihan lokasi dan pembukaan lahan untuk pembuatan bendungan, akses jalan, dan saluran pembawa (*head-race*) ke tiga lokasi penempatan mikrohidro yang direncanakan. Pada tahap kedua, dilakukan pembuatan bendungan untuk mengatur tinggi muka air dengan kombinasi batu alam dan 4 skot balok ukuran 20 cm x 10 cm dan dipasang secara melintang setinggi 0,7 m diantara bebatuan alam yang berukuran besar sebagai pemecah aliran sungai. Air dari bendungan kemudian dialirkan menuju saluran *intake* untuk mempermudah mengatur debit andalan sesuai perencanaan setinggi 0,5 m. Saluran *intake* yang dibuat dari bendungan sampai pintu pengambilan air atau pintu intake sepanjang 15 m dengan lebar ± 60 cm dan kedalaman 0,8 m. Pada tahap ketiga, dilakukan pemasangan pintu pengambilan air (pintu *intake*) untuk memasukkan debit rencana dari saluran intake dan pemasangan pintu limpahan air. Tahap keempat, dilakukan pembuatan tiga saluran pembawa yang menghubungkan pintu *intake* dengan bak penenang (*forebay*) dari masing-masing mikrohidro seperti ditunjukkan Gambar 5. Setiap saluran pembawa memiliki lebar ± 50 cm dengan kedalaman 0,6 m yang memiliki panjang 30 m untuk saluran pembawa satu, 15 m untuk saluran pembawa dua, dan 20 m untuk saluran pembawa ketiga.



(a)

(b)

Gambar 5. a) head-race; dan b) forebay dari PLTMH Dusun Lanasan

Tahap kelima adalah pemasangan pipa pesat (*penstock*) menggunakan PVC 5 dim yang menghubungkan forebay menuju turbin mikrohidro. Tahapan keenam adalah pembuatan saluran pembuangan (*trail-race*) untuk mengalirkan debit air yang keluar dari turbin air

untuk kemudian dibuang ke sungai atau saluran pembawa yang lain.

Pembuatan Mikrohidro dengan Turbin *Cross Flow*

Pada tahap ini, pembuatan perangkat mikrohidro yang harus dilakukan lebih dahulu yaitu membuat generator mikrohidro dengan pengadaan rotor generator magnet permanen dan dirakit menjadi rotor dengan jumlah 6 (enam) buah kutub magnet permanen kemudian dipasang poros. Selanjutnya membuat rumah stator generator dari pipa besi ukuran diameter 5 dim dipotong disesuaikan dengan panjang rotor generator. Rumah stator generator adalah tempat meletakkan lilitan kumparan kawat yang terdiri dari 6 (enam) buah kumparan disesuaikan dengan besar diameter pipa besi. Agar generator tidak kena percikan air dari turbin air waktu berputar, maka didesain diberi tutup disisi depan dan disisi belakang generator kemudian dirapatkan dengan 3 (tiga) buah mur baut panjang seperti ditunjukkan Gambar 6. Selanjutnya dilakukan pengujian laboratorium untuk mengetahui kinerja dari generator DC magnet permanen sebelum dirakit dengan turbin air mikrohidro dan diterapkan di sungai yang berada pada lokasi mitra, tujuannya untuk mengetahui besar tegangan terendah sampai tertinggi apabila diputar menggunakan motor yang diputar dengan kecepatan (rpm) yang bervariasi tanpa dibebani, kemudian diuji lagi dengan variasi kecepatan yang sama dengan dibebani lampu penerangan LED.



Gambar 6. Pembuatan generator mikrohidro dan turbin cross-flow

Berikutnya dilakukan pembuatan turbin air *cross flow*, turbin air adalah sebuah alat berbentuk lingkaran bagian dari sistem pembangkit listrik yang berfungsi untuk mengubah energi yang ada pada air menjadi energi gerak putar dan memutar poros yang dihubungkan pada generator DC magnet

permanen sehingga menghasilkan energi listrik. Turbin air cross flow dibuat dari bahan plat besi yang terdiri dari 12 (dua belas) sudut dengan diameter 60 cm, poros turbin diletakkan pada rangka pipa besi yang didesain secara portabel dan menyatu dengan generator DC magnet permanen seperti ditunjukkan Gambar 6. Selanjutnya dilakukan perakitan turbin air *cross flow* dan generator DC magnet permanen yang ditempatkan pada rangka pipa besi yang didesain portable kemudian dipasang *pulley*, sedangkan untuk menghubungkan turbin air *cross flow* dan generator dipasang vanbelt seperti ditunjukkan Gambar 7.



Gambar 7. Mikrohidro dengan turbin cross-flow



Gambar 8. Pemasangan mikrohidro dan sinkronisasi aliran listrik dari tiga mikrohidro

Pemasangan Mikrohidro dan Rumah Pembangkit Listrik (*Power-House*)

Pada tahap ini dilakukan pemasangan tiga perangkat mikrohidro pada tiga lokasi PLTMH Dusun Lanasan yang telah dibuat dan dilakukan penyambungan kabel listrik dari masing-masing perangkat mikrohidro ke rumah pembangkit (*power-house*). Pada rumah pembangkit, ketiga aliran listrik yang dihasilkan oleh ketiga perangkat mikrohidro disinkronkan menjadi satu dan dilakukan perubahan tegangan dari DC menjadi AC menggunakan rangkaian inverter. Kelebihan daya listrik yang tidak digunakan disimpan pada baterai sehingga jika terjadi

gangguan pada mikrohidro maka dapat menggunakan energi listrik cadangan yang tersimpan pada baterai seperti ditunjukkan Gambar 8.

Instalasi Saluran Listrik Perumahan Warga Dusun Lanasan

Pada tahap awal ini dilakukan pemasangan saluran listrik ke tujuh rumah warga Dusun Lanasan dengan memasang tiang-tiang penyangga listrik, pemasangan MCB (*miniature circuit breaker*), dan dilakukan uji coba dengan menghidupkan semua lampu, lemari pendingin, dan televisi seperti ditunjukkan Gambar 9.



Gambar 9. Hasil instalasi listrik Dusun Lanasan

4.2 Pembuatan Biogas Komunal

Konstruksi biogas komunal pada Dusun Lanasan memiliki beberapa tahapan, meliputi tahap kesatu adalah pembuatan bak penampungan slurry dan saluran pemasukan (*inlet*). Bak penampungan slurry dibuat dari buis beton dengan ukuran diameter 70 cm dengan tinggi 160 cm yang dilengkapi dengan alat pengaduk kotoran sapi (*mixing*) dan saluran inlet yang terbuat dari pipa PVC 4 dim yang di bor ke dalam tanah untuk dihubungkan dengan lubang pemasukan yang sudah ada pada digester balon biogas. Tahap kedua merupakan pembuatan digester balon berukuran panjang 10 m, lebar dan tinggi sebesar 2 m dan daya tampung 1500 liter. Digester ini ditanam dalam tanah dengan membuat rumah galian berbahan batu bata. Hal ini dimaksudkan agar kelihatan tidak terlalu mengambil ruang serta lebih mudah dalam memasukkan slurry ke dalam digester. Tahap ketiga adalah pembuatan saluran pengeluaran (*outlet*) dan bak penampungan hasil fermentasi. Bak penampungan ini berfungsi untuk menampung limbah slurry yang sudah tidak mengandung biogas.

Agar biogas dalam digester tersedia setiap saat maka setiap hari sebelum digunakan sebaiknya memasukkan kotoran sapi yang dicampur air (2 kg kotoran sapi dan 4 liter air).

Tahap kelima yaitu instalasi saluran gas pada dapur rumah warga Dusun Lanasan. Pemasangan saluran gas pada kompor gas dilengkapi dengan pompa pendorong untuk memperkuat aliran gas yang masuk karena bertekanan rendah dan dilengkapi switch pengaman untuk buka tutup gas seperti ditunjukkan Gambar 10.



Gambar 10. Biogas komunal Dusun Lanasan

5. Manfaat Yang Diperoleh (*Outcome*)

Sebelum dilakukannya pelaksanaan kegiatan PTDM ini, penerangan listrik untuk 20 KK Dusun Lanasan hanya bertumpu pada satu genset bensin 1000 Watt yang hanya dapat digunakan 2-3 lampu per-KK, disamping itu warga tidak bisa mengoperasikan peralatan elektronik karena daya tidak mencukupi dan tegangan tidak stabil sehingga mudah merusak peralatan elektronik. Dalam satu bulan dibutuhkan biaya operasional satu genset bensin Rp 325.000,- sampai dengan Rp 380.000,- yang menghabiskan 40-45 liter bensin/bulan, sehingga dibutuhkan iuran pengguna listrik sebesar Rp 15.000,-, tetapi fakta di lapangan menunjukkan distribusi listrik tidak merata sehingga sering terjadi perselisihan akibat pemakaian listrik yang berlebih utamanya di malam hari. Setelah terbentuknya PLTMH Dusun Lanasan yang menghasilkan tambahan daya 2800 Watt dapat memenuhi secara merata kebutuhan listrik warga Dusun Lanasan dengan 100-200 Watt per-KK dan menurunkan biaya operasional per-KK menjadi Rp. 5000,- per bulan. Selain itu kerawanan kondisi kerawanan sosial akibat peningkatan kebutuhan listrik antar warga utamanya di malam hari dapat diatasi dengan tetap meningkatkan kedisiplinan dalam pemakaian listrik secara bersama.

Sedangkan dari adanya biogas komunal yang dapat menghasilkan biogas 16 m³ per-hari, dapat menggantikan kebutuhan warga Dusun Lanasan yang biasanya menghabiskan 2-3 elpiji per bulan, saat ini tidak perlu lagi membeli elpiji atau mencari kayu bakar untuk memenuhi

kebutuhan memasak sehari-hari dan menurunkan polusi bau akibat limbah ternak yang berceceran sebelumnya.

6. Kesimpulan

Dari pelaksanaan kegiatan PTDM ini telah berhasil dibangun PLTMH Dusun Lanasan yang mampu menghasilkan daya listrik 2800 Watt untuk memenuhi kebutuhan listrik dari 20 KK di Dusun Lanasan secara merata, begitu pula pemakaian biogas komunal dari pengolahan limbah ternak mampu menghasilkan 16 m³ biogas per-hari yang telah disalurkan ke dapur-dapur warga Dusun Lanasan dimana mampu menghemat pembelian 2-3 elpiji per-bulannya.

7. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Republik Indonesia yang mendanai pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat dengan nomor kontrak: 006/SP2H/DPTM/DRPM/2021.

8. Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistik Kabupaten Jember. 2021. Kabupaten Jember Dalam Angka (Jember Regency in Figure) 2021. Diakses dari <https://jemberkab.bps.go.id/publication/2021/02/26/df808e032bdf8dc201c7ba9f/kabupaten-jember-dalam-angka-2021.html>
- [2] H. Hoghooghi, M. Durali, and A. Kashef, "A new low-cost swirler for axial micro hydro turbines of low head potential," *Renew. Energy*, vol. 128, pp. 375–390, 2018, doi: 10.1016/j.renene.2018.05.086.
- [3] R. Marliansyah, D. N. Putri, A. Khoutama, and H. Hermansyah, "Optimization potential analysis of micro-hydro power plant (MHPP) from river with low head," *Energy Procedia*, vol. 153, pp. 74–79, 2018, doi: 10.1016/j.egypro.2018.10.021.
- [4] M. Tirono, "Pemodelan Turbin Cross-Flow Untuk Diaplikasikan Pada Sumber Air Dengan Tinggi Jatuh Dan Debit Kecil," *J. Neutrino*, 2012, doi: 10.18860/neu.v0i0.1939.
- [5] J. Zhao, N. Chen, C. Chen, Y. Cui, and H. Ma, "Modeling and simulation of micro-grid based on small-hydro," *POWERCON 2014 - 2014 Int. Conf. Power Syst. Technol. Toward Green, Effic. Smart Power Syst. Proc.*, no. Powercon, pp. 3257–3264, 2014, doi: 10.1109/POWERCON.2014.6993812.