

Generator Magnet Permanen untuk Kontinuitas Operasi Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro

Permanent Magnet Generator for Continuity of the Operation on Piko Hydro Power Station

^{1*)}Hari Prasetyo, ²⁾Widhiatmoko H.P. ³⁾Priswanto, ⁴⁾Purwanto B.S.

^{1,2,3,4)}Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman
Jalan Mayjen Sungkono km 05, Blater, Purbalingga

*email: hariprasetyo73@gmail.com

DOI:

10.30595/jppm.v5i2.7182

Histori Artikel:

Diajukan:
13/04/2020

Diterima:
24/02/2022

Diterbitkan:
28/02/2022

ABSTRAK

Grumbul Karang Jambe di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas Provinsi Jawa Tengah yang terletak pada 70 34' 4.77" lintang Selatan dan 1090 24' 51.70" bujur Timur dengan ketinggian 200 – 250 Mdpl di kawasan hutan KPH Kedu Selatan. Oleh karena itu akses jalan masuk belum teraliri listrik PT. PLN. Tujuan dari kegiatan pengabdian ini adalah membuat pembangkit listrik tenaga pikohidro di daerah tersebut menggunakan generator sinkron magnet permanen untuk mengantisipasi debit air yang rendah pada musim kemarau, sehingga kontinuitas operasinya dapat diandalkan sebagai sumber penerangan. Pencapaian tujuan program ini dilakukan dengan metode: 1) pengukuran potensi daya dari aliran sungai, (2) konstruksi generator, (3) konstruksi turbin, (4) pembuatan bendung dan saluran pembawa, (5) instalasi turbin, generator dan penstock di rumah pembangkit, (6) pemanfaatan energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga piko hidro untuk pengelola. Kegiatan ini telah menghasilkan pembangkit listrik tenaga pikohidro yang mampu mengantisipasi debit rendah pada musim kemarau, 6 titik penerangan yang dapat diekspansi mandiri oleh warga, dan mendapatkan sumber daya manusia yang dapat mengelola pembangkit tersebut.

Kata kunci: Piko Hidro; Generator; Magnet Permanen; Debit; Penerangan

ABSTRACT

Grumbul Karang Jambe in Tambak Subdistrict, Banyumas Regency, Central Java Province, which is located at 70 34 '4.77 " South latitude and 1090 24" 51.70 " East longitude with an altitude of 200-250 meters above sea level in the Forest area of the South Kedu KPH. Therefore the access road has not been electrified by PT. PLN. The purpose of this community service activity is to make picohydro power plants in the area use permanent magnet synchronous generators to anticipate low water debit in the dry season, so that the continuity of operations can be relied upon as a source of lighting. Achieving the objectives of this program is carried out by the methods of: 1) measurement of power potential from river flow, (2) construction of generators, (3) construction of turbines, (4) construction of weirs and carrier channels, (5) installation of turbines, generators and penstock in power plants, (6) utilization of electrical energy generated by the piko hydro power plant for managers. This activity has produced picohidro power plants that are able to anticipate low discharges in the dry season, 6 lighting points that can be expanded independently by residents, and obtain human resources that can manage this plant.

Keywords: Pico Hydro; Generator; Permanent Magnet; Debit; Lighting

PENDAHULUAN

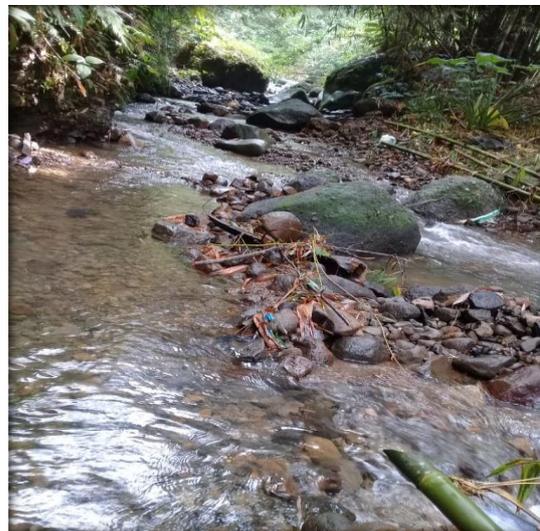
Grumbul Karangjambe di Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas Provinsi Jawa Tengah yang terletak pada $7^{\circ} 34' 4.76''$ lintang Selatan dan $109^{\circ} 24' 51.69''$ bujur Timur dengan ketinggian 200 – 250 Mdpl di kawasan hutan KPH Kedu Selatan. Oleh karena itu akses jalan masuk belum teraliri listrik PT. PLN. Masyarakat di daerah ini memiliki semangat gotong royong sangat kuat sehingga menjadi modal sosial yang dapat membentuk kekuatan kelembagaan di tingkat komunitas, seperti yang dinyatakan oleh Maulana Irfan (2016). Hal ini telah dibuktikan dalam kegiatan TMMD III Sengkuyung 2019 bersama Kodim 0701 dalam pembuatan jalan rabat dengan gotong royong sekitar satu bulan seperti diberitakan dalam portal Kabupaten Banyumas (2019, Oktober). Gambar 1 menunjukkan aktifitas tersebut.



Gambar 1. Gotong royong warga Karangjambe

Pada jarak ± 100 m di salah satu bagian jalan ini terdapat aliran sungai Karangjambe yang memiliki elevasi (perbedaan ketinggian) sekitar 1 meter. Menurut Hanggara (2017, Maret) aliran air yang memiliki elevasi memiliki energi potensial yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Awal bulan Oktober 2019 ujung musim kemarau debit air terlihat kecil. Perkiraan debit dengan metode pelampung dan luas penampang sungai diperoleh hasil $0,1 \text{ m}^3/\text{detik}$. Menurut Sri Sukamta (2013, Juli), untuk pembangkit listrik tenaga air skala kecil seperti pikohidro metode tersebut layak dilakukan. Dengan elevasi dan debit yang rendah maka pada bagian sungai ini dapat dibangun pembangkit listrik pikohidro. Menurut Multi (2018, Mei) pembangkit listrik

pikohidro adalah pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas daya $\leq 5000 \text{ VA}$. Gambar 2 menunjukkan aliran sungai Karangjambe.



Gambar 2. Aliran sungai Karangjambe

Perencanaan untuk membangun suatu pembangkit listrik tenaga piko hidro harus memperhatikan kontinyuitas aliran air. Kontinyuitas tersebut dipengaruhi oleh curah hujan di lokasi tersebut. Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Banyumas rata-rata hujan pertahun di Karangjambe sekitar 108 hari dengan curah rata-rata sekitar 2.800 mm. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan terhadap debit yang telah dilakukan pada penghujung musim kemarau tahun 2019 dan data dari BPS Kabupaten Banyumas tersebut maka aliran sungai Karangjambe tersebut memenuhi syarat kontinyuitas ketersediaan air sebagai sumber energi potensial dengan memanfaatkan perbedaan elevasi.

Kegiatan pengabdian ini berawal dari adanya usulan dari tokoh masyarakat 03 Grumbul Karangjambe agar potensi energi air dapat digunakan sebagai sumber pembangkit listrik piko hidro untuk keperluan penerangan. Kemudian diskusi dilakukan melibatkan perwakilan tokoh masyarakat, ketua RT dan karang taruna, seperti dalam gambar 3. Dalam diskusi ini dibahas rencana pembangunan pembangkit listrik piko hidro dan untuk dapat melibatkan masyarakat. Pembangunan juga akan melibatkan masyarakat gotong royong sehingga dapat menumbuhkan rasa memiliki.

Dengan demikian akan mudah membantu keberlanjutan operasi di kemudian hari.



Gambar 3. Diskusi rencana pembangunan

Diskusi ini juga mengidentifikasi permasalahan walaupun terdapat aliran air sepanjang tahun, namun pada saat musim kemarau debit air akan menurun sehingga penggunaan generator konvensional yang tersedia di pasar tidak akan mampu menghasilkan tegangan karena tidak mencapai kecepatan ratingnya yaitu ≥ 1500 rpm. Maka akan digunakan generator magnet permanen yang mampu menghasilkan tegangan nominal pada putaran (rpm) yang lebih rendah, seperti yang dinyatakan oleh Hari Prasetijo (2018, Oktober). Tim akan mengaplikasikan generator magnet permanen 6 kutub sehingga generator tersebut akan menghasilkan tegangan pada putaran 1000 rpm sesuai dengan persamaan (1), merujuk buku panduan energi terbarukan tim PNPM (2011):

$$n_s = \frac{120f}{p} \dots\dots\dots (1)$$

$$n_s = \frac{120.50}{6} = 1000 \text{ rpm}$$

dengan :

ns = kecepatan generator

f = 50 Hz

p = jumlah kutub

METODE

Pencapaian tujuan kegiatan ini dilakukan dengan metode: (1) pengukuran potensi daya dari aliran sungai, (2) konstruksi generator, (3) konstruksi turbin, (4) pembuatan

bendung dan saluran pembawa, (5) instalasi turbin, generator dan penstock di rumah pembangkit, (6) pemanfaatan energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga piko hidro.

HASIL DAN PEMBAHASAN

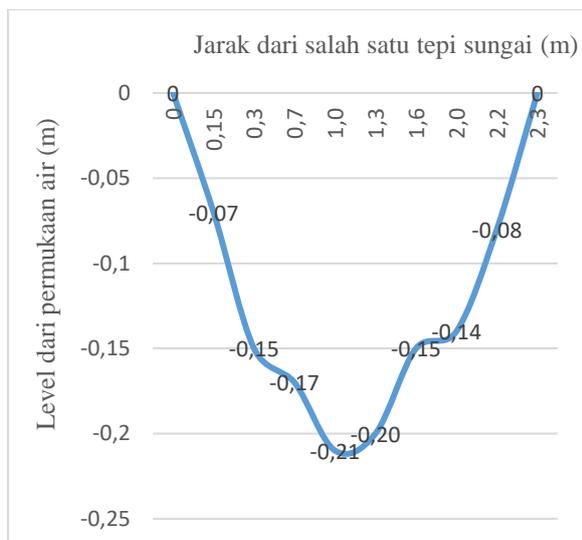
1. Pengukuran potensi daya listrik

Untuk mengetahui potensi daya listrik maka harus dilakukan pengukuran debit air dan head (tinggi jatuh) pada lokasi pembangkit listrik yang direncanakan. Pengukuran debit aliran sungai dilakukan dengan mengukur kecepatan aliran air dan mengukur luas penampang sungai Karangjambe di lokasi sama, yaitu di sekitar lokasi rencana pembangunan bendung. Kecepatan aliran air sungai dilakukan dengan metode pelampung pada lintasan 7 meter dan dilakukan 6 kali pengukuran. Hasilnya seperti dalam tabel 1 sekitar 0,27 m/detik.

Tabel 1. Pengukuran kecepatan dengan jarak 7 m

Data Pengukuran	Waktu (detik)	Kecepatan (m/detik)
I	26,7	0,26
II	25,9	0,27
III	24,8	0,28
IV	25,4	0,28
V	24,8	0,28
VI	26,6	0,26
Kecepatan rata-rata		0,27

Luas penampang sungai di sekitar bendung dilakukan dengan pengukuran kedalaman air dari salah satu tepi kearah tepi yang lain sehingga diperoleh perkiraan profil penampang sungai seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Penampang sungai

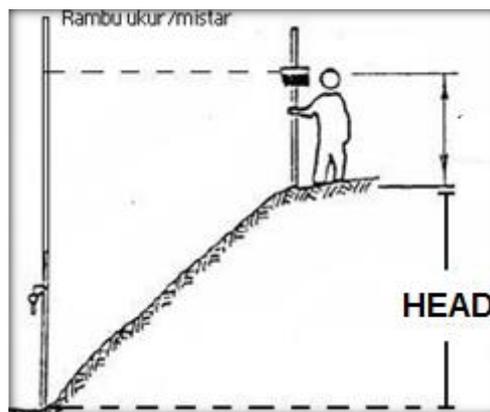
Dari gambar 4 dihitung perkiraan luas penampang dengan metode membagi profil luas penampang menjadi 8 bagian yaitu menarik garis dari titik data kedalaman air ke sumbu x (jarak dari sari salah satu tepi) kemudian menjumlah hasil luas 8 segmen tersebut. Hasil yang diperoleh :

$$0,011 + 0,025 + 0,036 + 0,042 + 0,045 + 0,041 + 0,035 + 0,012 = 0,247 \text{ m}^2$$

Debit aliran (Q) merupakan perkalian antara kecepatan aliran sungai (V) dengan luas penampang sungai (A). Sehingga berdasar data pengukuran tersebut debit aliran sungai Karangjambe adalah :

$$\begin{aligned} Q &= V \cdot A \dots\dots\dots (2) \\ &= 0,27 \text{ m/detik} \times 0,247 \text{ m}^2 \\ &= 0,067 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

Pengukuran *head* dilakukan dengan mengukur beda ketinggian antara dasar bendung yang di rencanakan dengan ketinggian pada titik dimana air keluar dari saluran *penstock*. Gambar 5 membantu penjelasan yang disebut *head* (tinggi jatuh) dimana pada sebelah kiri bawah dianggap sebagai titik air yang keluar saluran *penstock* menuju turbin, sedangkan pada kanan atas dianggap sebagai dasar bendungan yang akan dibuat. Dari hasil pengukuran tersebut didapatkan nilai *head* 1,75 meter.



Gambar 5. Pengukuran head

Data debit (Q) dan *head* (H) dapat digunakan untuk menghitung potensi daya listrik yang akan dibangkitkan. Merujuk Adam Harvey (2011) potensi daya masuk pada turbin dihitung dengan persamaan :

$$\text{Pin turbin} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \dots\dots\dots (4)$$

dengan :

- ρ : berat jenis air, 1000 kg/m³
- g : gravitasi bumi, 9.8 m/detik²

sehingga,

$$\begin{aligned} \text{Pin turbin} &= \rho \cdot g \cdot H_{\text{eff}} \cdot Q \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 1,75 \text{ m} \\ &\quad \times 0,067 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 1154 \text{ watt} \end{aligned}$$

Menggunakan asumsi efisiensi konversi energi dari turbin dan generator sebesar 0.6, merujuk efisiensi yang dirujuk dari manual pembangunan PLTMH oleh Japan International Cooperation Agency (JICA) bahwa efisiensi output generator antara 0,6 ~ 0,75 maka potensi daya listrik yang dihasilkan generator adalah :

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= \text{Pin turbin} \times \eta \\ &= 1154 \text{ watt} \times 0,60 \\ &= 693 \text{ watt} \end{aligned}$$

2. Konstruksi generator magnet permanen

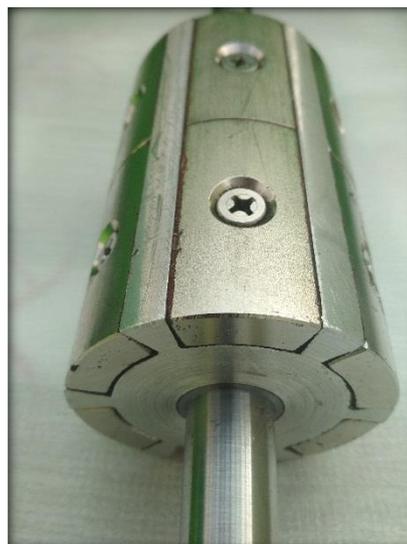
Genarator magnet permanen yang dimaksud adalah jenis generator sinkron magnet permanen fluks radial. Konstruksi dengan memanfaatkan stator dari dinamo kendaraan roda dua dikombinasi dengan konstruksi rotor dengan 6 kutub magnet permanen sebagai sumber fluks (Φ).

Konstruksi stator terdiri dari 6 belitan, masing masing belitan terdiri dari 150 lilitan kawat dengan diameter 1,29 mm dengan kapasitas hantar arus maksimal 3,7 ampere. Gambar 6. menunjukkan gambar konstruksi stator. Stator terbuat dari bahan *silicon steel* yang memiliki reluktansi rendah sehingga mudah mengalirkan fluks magnet. Stator memiliki 6 gigi stator sebagai tempat kumparan sebagai kutub generator. Stator generator magnet permanen merupakan kumparan jangkar, tersusun dari beberapa kumparan kawat (*coil*) email yang dililitkan pada gigi stator. Jumlah kumparan mempengaruhi kuantitas tegangan keluaran generator. Hubungan seri beberapa kumparan menentukan keluaran tegangan generator menjadi 1 fasa.



Gambar 6. Konstruksi stator

Gambar 7. Menunjukkan konstruksi rotor dibuat dari aluminum silinder, dibentuk dengan 6 alur untuk penempatan magnet. Magnet berjumlah 6 yang terdiri dari 3 kutub utara dan 3 kutub selatan untuk menghasilkan putaran fluks magnet dari arah permukaan kutub utara ke permukaan kutub selatan magnet melalui kumparan stator.



Gambar 7. Konstruksi rotor

Generator sinkron magnet permanen fluks radial tersusun dari stator dan rotor. Rotor dipasang dalam stator dengan kedua ujungnya dipasang *bearing* dan dikonstruksikan pada dudukan rotor sehingga memungkinkan pergerakan radial fluks magnet terhadap kumparan stator. Dari parameter yang ada estimasi tegangan *output* generator adalah :

$$E_{ph} = 4,44 \cdot f \cdot N_s \cdot k_w \cdot S_f \cdot \phi$$

$$E_{ph} = 4,44 \cdot 50 \cdot 150 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 0,0012 \approx 240 \text{ Volt}$$

dengan

- f : frekwensi
- N_s : lilitan stator
- S_f : jumlah fase
- Φ : fluks

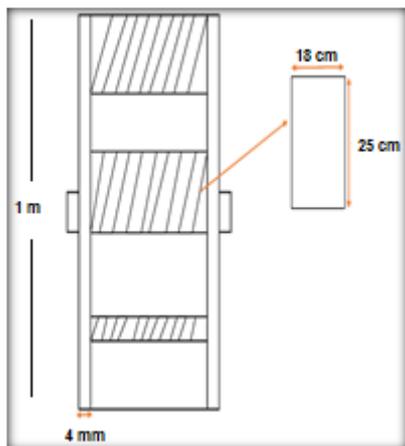
Tegangan tersebut merupakan tegangan dalam belitan stator (Emf) sehingga jika arus dialirkan ke beban, maka tegangan beban masih dapat mencapai nominal tegangan sesuai standar PT. PLN, dalam rentang 198 volt s.d. 232 volt karena terdapat jatuh tegangan di belitan stator.

Kapasitas generator tersebut adalah perkalian tegangan nominal 220 volt dengan kapasitas arus pada belitan 3,7 ampere dihasilkan 814 Volt Amper (VA).

3. Pembuatan turbin

Bagian turbin dari pembangkit listrik tenaga piko hidro ini menggunakan kincir air

sehingga mudah dikonstruksi mandiri karena mudah mendapatkan bahan dasar dan dapat dikonstruksi dengan peralatan yang terjangkau. Bahannya adalah plat baja 3 mm. Diameter kincir air dibuat 1 meter. Jarak antar sisi luar kincir adalah 18 cm, sehingga sudu-sudu dibuat dengan ukuran 18 cm x 25 cm. Gambaran rancangan dan bentuk dari kincir tersebut seperti pada gambar 8 & 9.



Gambar 8. Rancangan kincir air / turbin



Gambar 9. Bentuk kincir air / turbin

4. Pembuatan bendung dan saluran pembawa

Bendung dibuat dari campuran batu kali, pasir dan semen. Bendung berfungsi untuk menaikkan/mengontrol tinggi air dalam sungai secara signifikan sehingga memiliki jumlah air yang cukup untuk dialirkan menuju saluran pembawa seperti ditunjukkan pada gambar 10. Bendung dilengkapi dengan saringan dari

jaring kawat untuk menjaga sampah tidak masuk ke saluran pembawa seperti ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 10. Bendung



Gambar 11. Saringan sampah

Saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi sungai untuk menjaga elevasi dari air yang sudah terpisah dari sampah yang akan disalurkan ke *penstock* (pipa pesat). Saluran pembawa merupakan saluran terbuka karena aliran air relatif kecil dan kondisi tanah sepanjang aliran sungai stabil. Disamping itu saluran terbuka dipilih karena lebih ekonomis dibandingkan saluran tertutup. Saluran pembawa dibuat dengan konstruksi berupa pasangan batu kali, pasir dan semen. Ukuran saluran pembawa panjang 23 meter, lebar 0,5 meter, tinggi 0,4 m dengan tebal 0,15 m. Gambar 12(a) dan 12(b) menunjukkan saluran pembawa.



(a)



(b)

Gambar 12(a,b). Saluran pembawa air

5. Instalasi turbin, generator dan *penstock* di rumah pembangkit

Instalasi turbin, generator & *penstock* (pipa pesat) dilakukan di rumah pembangkit. *Penstock* dibuat dari pelat baja 1,5 mm digunakan untuk mengalirkan air untuk menggerakkan turbin yang berasal dari saluran pembawa. Instalasi dilakukan dengan mengatur *penstock* pada susu-sudu turbin, kemudian menghubungkan turbin dengan *pulley* menggunakan *belt* karet. *Pulley* dihubungkan dengan generator juga menggunakan *belt* karet. Dengan demikian putaran turbin dengan diameter relatif besar dapat terkonversi menjadi putaran rotor pada generator. Gambar 13 menunjukkan instalasi turbin-generator dan gambar 14 instalasi *penstock*.



Gambar 13. Instalasi turbin-generator

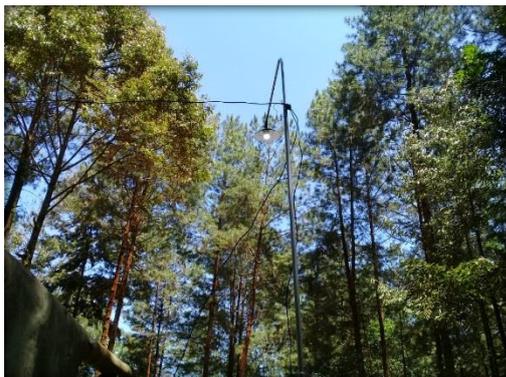


Gambar 14. Instalasi *penstock*

6. Pemanfaatan energi listrik

Energi listrik yang dibangkitkan generator dimanfaatkan sebagai penerangan jalan dan cadangan sumber listrik untuk tempat ibadah. Untuk itu energi listrik yang dibangkitkan disalurkan melalui saluran distribusi menggunakan kabel SR sekitar 150 meter menuju tiang lampu terdekat, seperti ditunjukkan gambar 15, selanjutnya diteruskan ketiang lampu lain dan tempat ibadah.

Tiang lampu dibuat dengan pipa galvanis 1 inch x 3 mm x 6 m agar tahan terhadap karat seperti pada gambar 16.



Gambar 15. Saluran distribusi



Gambar 16. Tiang lampu galvanis

Pemasangan tiang lampu ke dalam tanah dengan cara dicor dengan rangka besi sehingga kokoh seperti gambar 17.



Gambar 17. Cor dudukan tiang lampu

Selain untuk penerangan jalan tempat ibadah juga memanfaatkan energi listrik dari pembangkit listrik piko hidro ini untuk

kenyamanan aktivitas malam hari seperti pada gambar 18.



Gambar 18. Tempat ibadah.

Selama pelaksanaan pembuatan pembangkit listrik tenaga piko hidro sebagai sumber penerangan di dusun Karangjambe, masyarakat secara tidak langsung telah teredukasi mengenai pemanfaatan potensi energi lokal untuk memenuhi kebutuhan bersama dan penghematan energi listrik. Khusus untuk menjamin keberlanjutan operasional pembangkit listrik tenaga piko hidro yang telah dibuat ada 1 orang yang memiliki pengetahuan menjaga operasional dan pemeliharaan.

SIMPULAN

Kegiatan pengabdian masyarakat ini telah berhasil mencapai tujuan yaitu berhasil membuat pembangkit listrik tenaga piko hidro di daerah tersebut menggunakan generator sinkron magnet permanen untuk mengantisipasi debit air yang rendah pada musim kemarau, sehingga kontinuitas operasinya dapat diandalkan sebagai sumber penerangan. Selain itu kegiatan ini telah menghasilkan satu orang yang memiliki pengetahuan dalam menjaga operasi pembangkit listrik sehingga kontinuitas dapat dijaga.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada LPPM Universitas Jenderal Soedirman yang telah memberikan fasilitas kegiatan pengabdian masyarakat ini serta masyarakat dusun Karangjambe Kecamatan Tambak yang telah

bergotong royong membantu pelaksanaan kegiatan ini. Diharapkan potensi energi air di wilayah ini dapat dimanfaatkan lebih maksimal dengan dukungan berbagai instansi termasuk perguruan tinggi, sehingga usaha peningkatan, pemeliharaan dan perbaikan dapat diperhatikan pendanaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Irfan, M. (2016). *Metamorfosis Gotong Royong Dalam Pandangan Konstruksi Sosial*. Prosiding KS : Riset & PKM Unpad Vol. 4 No. 1 hal 1-10.
- Portal Kabupaten Banyumas, Bupati Membuka Kegiatan TMMMD Sengkuyung Tahap III. (2019, Oktober). Diunduh dari <https://www.banyumaskab.go.id/news/29965/bupati-membuka-kegiatan-tmmmd-sengkuyung-tahap-iii tanggal 30 Maret 2020>
- Hanggara, I., Irvani, H. (2017). Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang Jawa Timur. *Jurnal Reka Buana* Vol. 2 No. 2, Maret 2017.
- Sukanta, S., Kusmantoro, A. (2013). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Jantur Tabalas Kalimantan Timur. *Jurnal Teknik Elektro* Vol. 5 No. 2. Juli 2013
- A. Multi, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Piko Hidro 1000 VA dengan Memanfaatkan Pembuangan Air Limbah Pada Gedung Pakarti Centre," no. May, 2018
- BPS Kab. Banyumas. 2015. Kecamatan Banyumas dalam Angka 2016. Banyumas: BPS Kab. Banyumas.
- Prasetyo, H., Priswanto., 2018. Rancang Bangun Generator Sinkron Magnet Permanen Fluks Radial AC 1 Fasa Sebagai Teknologi. Pembangkit Listrik Piko Hidro Head Rendah. Penelitian Terapan UNSOED.
- Tim Prog. Nasional Pemberdayaan Masyarakat (PNPM) Mandiri. 2011. Buku Panduan: Energi yang terbarukan (Guidebook: Renewable-Energy Small). Jakarta
- Harvey, Adam, 2011. *Micro-Hydro Design Manual a guide to small-scale water power schemes*, Intermediate Technology, Great Britain
- Japan International Cooperation Agency (JICA) & IBEKA. Buku Manual pembangunan PLTMH.