

# Pemanfaatan Potensi Daya Listrik Dan Instalasi Turbin-Generator Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro

Hari Prasetijo<sup>\*1</sup>, Widhiatmoko Herry Purnomo<sup>2</sup>, Suroso<sup>3</sup>, Winasis<sup>4</sup>, Mulki Indana Zulfa<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Teknik Elektro, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia

\*e-mail: [hari.prasetijo@unsoed.ac.id](mailto:hari.prasetijo@unsoed.ac.id)<sup>1</sup>

## Abstrak

*Kebijakan Energi Nasional 2014 dan Rencana Umum Energi Nasional 2017 merupakan komitmen pemerintah dalam pengembangan potensi energi baru dan terbarukan di Indonesia. Kebijakan tersebut berupaya memaksimalkan penggunaan energi bersih/terbarukan diantaranya energi air. Kegiatan pengabdian masyarakat ini merupakan bagian upaya pemanfaatan energi air dengan tujuan menghitung potensi daya listrik dan membuat komponen mekanikal elektrikal untuk memanfaatkan potensi daya potensial air menjadi daya listrik. Lokasi kegiatan adalah di Plawetan RT 07 RW 03 Desa Watuagung Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas dengan memanfaatkan salah satu beda elevasi aliran sungai curug. Pengukuran yang dilakukan mendapatkan elevasi 1 meter dan debit 0,1 m<sup>3</sup>/s dengan potensi daya listrik sekitar 600 watt. Identifikasi potensi daya tersebut digunakan sebagai dasar pemilihan generator dan pembuatan turbin untuk dipasang pada rumah pembangkit. Metode yang digunakan adalah : (1) pengukuran debit aliran sungai (2) pengukuran tinggi jatuh (head) pada lokasi rumah pembangkit (3) perhitungan potensi daya listrik, (4) pembuatan turbin (5) pemasangan turbin-generator di rumah pembangkit. Hasil yang dicapai dari kegiatan ini adalah : pembuatan rumah pembangkit, turbin dan pemasangan turbin-generator berdasar potensi energi air. Hasil pemasangan turbin generator pada rumah pembangkit ini, merupakan tahap pertama yang akan dilanjutkan dengan tahap kedua berupa pembangunan bendung saluran air, penstock dan distribusi listrik sebagai penerangan jalan.*

**Kata kunci:** Daya, generator, piko hidro, turbin

## Abstract

*Kebijakan Energi Nasional 2014 and Rencana Umum Energi Nasional 2017 are the government's commitment to developing new and renewable energy potential in Indonesia. The policy seeks to maximize the use of clean/renewable energy, including water energy. The community service activity is part of efforts to utilize water energy with the aim of calculating the potential of electric power and making electrical mechanical components to utilize the potential of water potential into electrical power. The activity location is in Plawetan RT 07 RW 03 Watuagung Village, Tambak District, Banyumas Regency by utilizing one of the different elevations of the curug river flow. The measurements were taken to obtain an elevation of 1 meter and a discharge of 0.1 m<sup>3</sup>/s with a potential electric power of around 600 watts. Identification of the power potential is used as a basis for selecting generators and making turbines to be installed in powerhouses. The methods used are: (1) measurement of river flow discharge (2) measurement of head height at the powerhouse location (3) calculation of potential electric power, (4) manufacture of turbines (5) installation of turbine-generators at the powerhouse. The results achieved from this activity are: construction of generator houses, turbines and installation of turbine-generators based on the energy potential of water. The results of installing the turbine generator at this power house, is the first stage which will be followed by the second stage in the form of building weirs for waterways, penstock and distribution of electricity for street lighting.*

**Keywords:** generator, picohydro, power, turbine

## 1. PENDAHULUAN

Kebijakan Energi Nasional 2014 dan Rencana Umum Energi Nasional 2017 merupakan komitmen kebijakan pemerintah dalam pengembangan potensi energi baru dan terbarukan di Indonesia. Kebijakan energi nasional merupakan kebijakan Pengelolaan Energi yang berdasarkan prinsip berkeadilan, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan guna terciptanya Kemandirian Energi dan Ketahanan Energi nasional. Dalam kebijakan tersebut pemerintah menargetkan capaian bauran energi baru terbarukan mencapai 23% pada bauran energi nasional pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Tujuan pengembangan energi baru

terbarukan diantaranya mengurangi kenaikan pemanasan global akibat penggunaan energi fosil. Pemerintah Indonesia telah menandatangani persetujuan Paris mengenai Konvensi Kerangka Kerja perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim dan mengimplemantasikan komitmen tersebut dalam Undang-Undang No 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement to The United Nations Framework Convention on Climate Change*. Rencana Umum Energi Nasional, adalah kebijakan pemerintah mengenai rencana pengelolaan energi tingkat nasional yang merupakan penjabaran dan rencana pelaksanaan Kebijakan Energi Nasional yang bersifat lintas sektor untuk mencapai sasaran Kebijakan Energi Nasional [1][2][3]. Dengan keunggulan ramah lingkungan maka pengembangan energi baru terbarukan telah menjadi salah satu upaya global dalam mengantisipasi pemanasan global yang menjadi isu penting saat ini. Capaian target bauran energi EBT terus dimonitor dan diupayakan dengan sungguh-sungguh, salah satunya melalui Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik [4].

Dalam Rencana Umum Energi Nasional telah diidentifikasi potensi dan proyeksi pengembangan pembangkit listrik energi baru terbarukan (EBT) sampai tahun 2050, seperti terlihat pada tabel 1. Dari tabel 1 dapat dilihat potensi energi listrik dari energi potensial air berupa PLTA (75 Giga Watt) dan PLT minihidro dan mikrohidro (19 Giga Watt) mencapai 94 Giga Watt merupakan potensi terbesar kedua setelah energi surya dalam komposisi EBT sehingga pengembangannya akan signifikan terhadap bauran energi nasional.

Tabel 1. Potensi dan proyeksi pengembangan EBT tahun 2050

No	Energi	Potensi (GW)	Pembangkitan (GW)
1	Panas Bumi	29,5	17,6
2	Air	75	38
3	Mini hidro dan Mikrohidro	19	7
4	Bio energi	32,7	26
5	Surya	207,9	45
6	Angin	60,6	28

Pengembangan pembangkit listrik tenaga air skala kecil terus meningkat. Berdasarkan kapasitas pembangkitan daya dikenal 3 jenis, yaitu pembangkit listrik tenaga air minihidro (kapasitas 100 s.d. 5 MW), mikrohidro (kapasitas 5 s.d. 100 kW) dan pikohidro (kapasitas dibawah 5 kW) [5].

Sebagian besar potensi energi air sepanjang aliran sungai, terutama di pulau Jawa, memiliki kapasitas yang relatif kecil karena memiliki tinggi jatuh (*head*) dan debit air yang relatif rendah. Potensi energi air ini dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga pikohidro dengan investasi yang relatif kecil sehingga tidak harus menunggu investor yang mensyaratkan fisibilitas ekonomis. Secara teknis, pikohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator [6]. Penerapan pembangkit listrik tenaga pikohidro secara tidak langsung menuntut penataan lingkungan dan pengelolaan daerah aliran sungai tetap seimbang sehingga dapat mencegah kerusakan lingkungan. Ekosistem sungai atau daerah tangkapan akan lebih terjaga sehingga berkontribusi dalam mengurangi pemanasan global.

Tulisan ini merupakan bagian dari kegiatan pengabdian masyarakat yang telah dilakukan di grumbul Plawetan Desa Watuagung Kecamatan Tambak Kabupaten Banyumas, dengan memanfaatkan aliran sungai.

Aliran sungai di grumbul Plawetan, seperti pada gambar 1, merupakan salah satu hulu dari sungai tambak dengan daerah aliran sungai yang masih baik dan terawat karena terletak pada kawasan Perum Perhutani Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Kedu Selatan. Pada salah satu lokasi di aliran sungai tersebut terdapat elevasi/tinggi jatuh air sekitar 1 meter yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik sebagai pembangkit listrik tenaga pikohidro. Dari pengukuran pada periode akhir kemarau tahun 2022 diperoleh debit sekitar 0,1

m<sup>3</sup>/s. Dengan head dan debit tersebut maka daya potensial air dapat digunakan sebagai sumber daya listrik pembangkit sekitar tenaga pikohidro dengan output sekitar 800 watt.



Gambar 1. Energi potensial air di lokasi sungai

## 2. METODE

### A. Pengukuran Debit

Pengukuran debit dilakukan dengan 2 tahapan, yaitu: 1. Pengukuran kecepatan aliran air sungai dengan metoda pelampung pada 2 lokasi di aliran sungai, masing masing lokasi dilakukan 3 kali pengukuran kecepatan aliran air sungai, dan 2. Pengukuran penampang sungai di 2 lokasi.

Pengukuran kecepatan aliran dengan mengukur kecepatan bola pingpong yang menempuh jarak 8 meter pada aliran sungai seperti terlihat pada gambar 2. Pengukuran dilakukan pada 2 lokasi dengan masing-masing lokasi dilakukan pengukuran 3 kali. Jarak 8 meter diukur menggunakan roll meter dan pencatatan waktu menggunakan stop watch.



Gambar 2. Pengukuran kecepatan air

Pengukuran penampang sungai dilakukan dengan mengukur kedalam sungai di 4 titik. Sungai memiliki lebar sekitar 2,5 m, pengukuran dilakukan pada jarak 0,5 m, 1 m, 1,5 m dan 2 meter dari salah 1 tepi sungai.

**B. Pengukuran tinggi jatuh (*head*)**

Pengukuran head dilakukan dengan metode *water pass*, seperti diilustrasikan pada gambar 3. Peralatan yang digunakan adalah *water pass* dan rambu ukur. Tinggi jatuh merupakan selisih tinggi bacaan atas ( $h_1$ ) dikurangi bacaan bawah ( $h_2$ ).

$$\text{Head} = h_1 - h_2 \quad (1)$$



Gambar 3. Metode *waterpass*

**C. Perhitungan potensi daya**

Perhitungan potensi dilakukan dengan persamaan [7]:

$$P = \rho \times g \times h \times Q \quad (2)$$

dengan,

P: Daya sebenarnya yang dihasilkan (kW)

Q: Debit air ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

h: Ketinggian efektif (m)

g: Gaya gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

$\rho$ : berat jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )

Potensi daya yang dimaksud adalah kesetaraan energi air dan energi listrik yang dihasilkan dari hasil debit air dan tinggi jatuh. Artinya jika dikonversi menjadi daya listrik keluaran generator masih dipengaruhi efisiensi turbin-generator.

**D. Pembuatan turbin dan rumah pembangkit**

Turbin yang dibuat berbentuk kincir air dengan diameter sisi luar 90 cm. Bagian *runner* berukuran panjang 26 cm dan lebar (kedalaman) 24 cm yang di las pada bagian diameter dalam turbin berdiameter 48 cm. Bahan turbin adalah plat baja ketebalan 2,5 cm. Air akan jatuh pada sudu-sudu turbin sehingga merubah energi potensial air menjadi energi mekanik putaran turbin.

Rumah pembangkit merupakan tempat pemasangan turbin-generator terbuat dengan rangka besi dengan dudukan kayu pinus memanfaatkan potensi lokal. Rumah pembangkit melindungi generator dari lingkungan terutama air untuk mencegah hubung pendek pada generator.

**E. Pemasangan turbin-generator**

Turbin-generator dipasang pada rumah pembangkit. Turbin dan generator diset dan dikopel menggunakan V-belt dilengkapi dengan *flywheel*. Pada turbin dan generator terpasang



pulley dimana diameter pulley turbin lebih besar dibanding diameter pulley pada generator sehingga kecepatan generator lebih tinggi dibanding kecepatan turbin. Penggunaan flywheel akan menjaga kestabilan putar turbin dan memiliki kelembamban sehingga dapat meningkatkan kualitas tegangan dan menjaga kenaikan maupun penurunan tegangan generator akibat perubahan beban yang mendadak.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Tujuan kegiatan yang telah dilakukan sebagai tahap awal adalah memberikan perkiraan potensi daya listrik dan membuat komponen mekanikal elektrikal turbin-generator untuk apat berkontribusi dalam pemanfaatan potensi daya potensial air menjadi daya listrik sumber enegi penerangan jalan.

**A. Pengukuran debit**

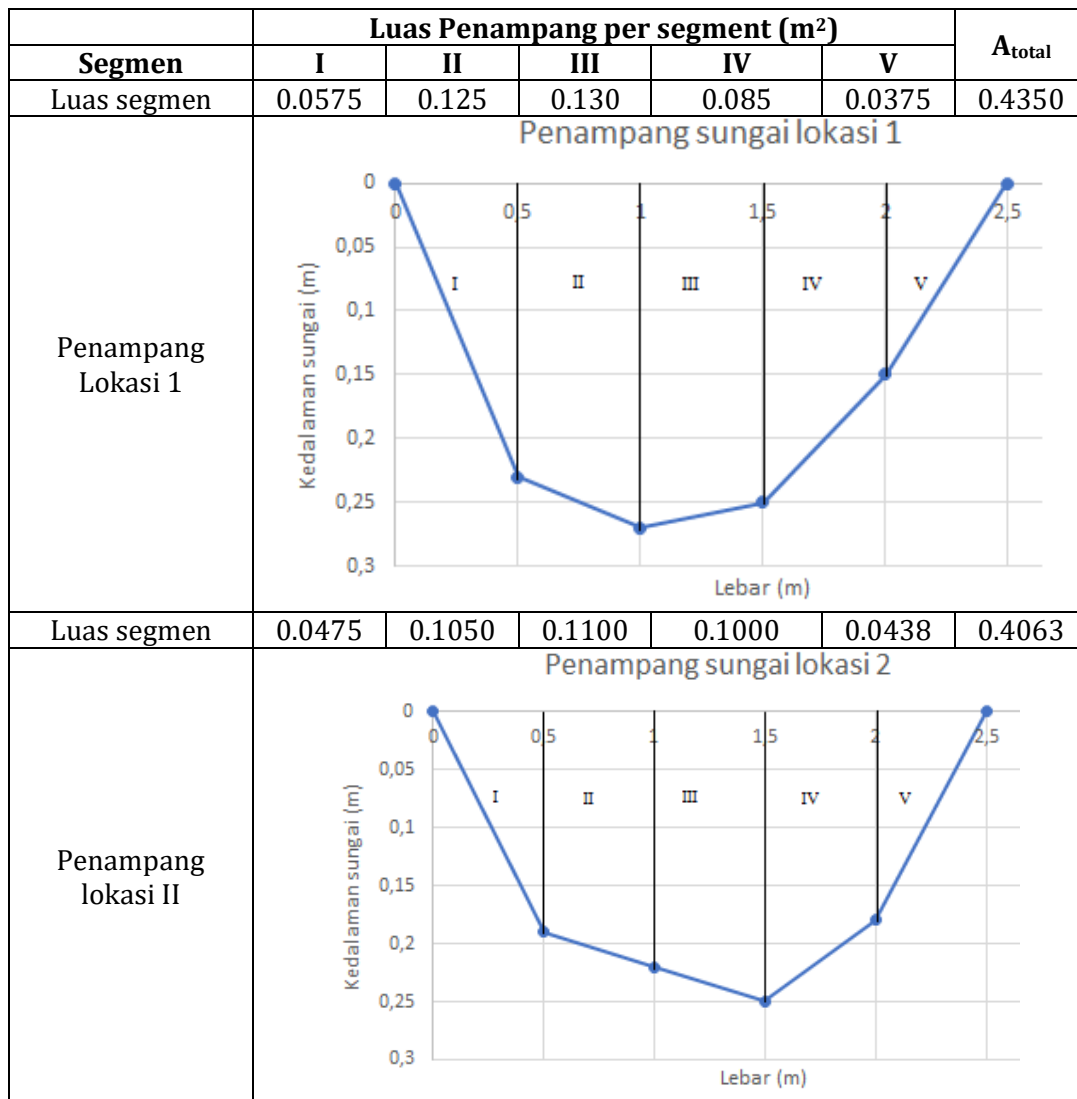
Debit aliran sungai (Q) diperoleh dengan mengalikan hasil pengukuran kecepatan aliran air sungai (V) dengan luas penampang sungai (A) hasil perhitungan di sekitar lokasi yang dipilih sebagai pembangkit listrik pikohidro. Pengukuran kecepatan air sungai dilakukan di 2 lokasi yang dipilih pada aliran sungai. Lokasi 1 dan lokasi 2 berjarak 15 m. Metode yang digunakan adalah metode pelampung yaitu dengan mengukur waktu tempuh pelampung yang terbawa aliran arus sungai sejauh 8 m baik di lokasi 1 maupun di lokasi 2, sehingga kecepatan aliran sungai dapat dihitung. Pada masing-masing lokasi, yaitu di lokasi 1 dan lokasi 2, dilakukan pengukuran kecepatan 3 kali. Kecepatan aliran air pada masing masing titik pengukuran merupakan rata-rata dari 3 data kecepatan untuk meminimalisasi ketidakakuratan pengukuran. Hasil yang diperoleh disajikan pada tabel 1. Sebagai contoh di lokasi 1, pengukuran kecepatan bola pingpong yang mengalir mengikuti aliran sungai sepanjang 8 meter adalah 20,15 detik sehingga kecepatan V1 adalah 8 meter dibagi 20,15 detik sama dengan 0,397 m/s. Pengukuran kedua dan ketiga memperoleh hasil kecepatan 0,377 m/s dan 0,362 m/s. Kecepatan rata-rata diperoleh dengan menjumlahkan ketiga hasil perhitungan kecepatan dan membagi dengan 3, diperoleh 0,379m/s.

Tabel 2. Hasil Pengukuran kecepatan aliran sungai

		V(m/s)			L (meter)	V <sub>rata-rata</sub>
Lokasi 1	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	8	0.379 m/s	
	(t =20,15 detik)	(t =21,20 detik)	(t =22,10 detik)			
	0,397 m/s	0,377 m/s	0,362 m/s			
Lokasi 2	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	8	0.454 m/s	
	(t =15,90 detik)	(t =18,55 detik)	(t =18,75 detik)			
	0,503 m/s	0,431 m/s	0,427 m/s			

Pengukuran penampang sungai juga dilakukan di lokasi 1 dan di lokasi 2, dengan melakukan pengukuran kedalaman sungai di 4 titik pada lebar sungai. Lebar sungai sekitar 2,5 meter sehingga setiap titik pengukuran berjarak masing-masing 50 cm. Hasil pengukuran digambarkan seperti pada gambar 3. Sebagai contoh untuk lokasi 1, kedalaman sungai pada jarak 50 cm, 100 cm, 150 cm, 200cm dari satu sisi tepi sungai berturut-turut adalah 23 cm, 27 cm, 25 cm dan 15 cm. Data ini diplot untuk mendapatkan perkiraan penampang kedalaman dasar sungai. Untuk menghitung luas penampang sungai penampang sungai dibagi menjadi 5 segmen (I - V) untuk dihitung luas per segmen. Luas penampang merupakan penjumlahan luas segmen I sampai segmen V. Luas segmen I s.d. V berturut turut adalah 0,0575 cm<sup>2</sup>, 0,125 cm<sup>2</sup>, 0,130 cm<sup>2</sup>, 0,085 cm<sup>2</sup> dan 0,0375 cm<sup>2</sup> sehingga luas penampang menjadi 0,4350 cm<sup>2</sup>. Pada

gambar 4 sumbu x adalah lebar sungai dalam satuan meter dan sumbu y merupakan kedalaman sungai dalam satuan meter.



Gambar 4. Hasil pengukuran penampang sungai

Data kecepatan di tabel 2 dan data luas penampang di gambar 4 dipergunakan untuk perhitungan debit di lokasi 1 (Q1) dan debit di lokasi 2 (Q2).

Debit lokasi 1 (Q1) [8]:

$$Q1 = 0,9 \times V1 \times A1 = 0,9 \times 0,597 \text{ m/s} \times 0,4350 \text{ m}^2 = 0,2237 \text{ m}^3/\text{s}$$

Debit lokasi 2 (Q2):

$$Q2 = 0,9 \times V2 \times A2 = 0,9 \times 0,234 \text{ m/s} \times 0,4063 \text{ m}^2 = 0,0866 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hasil perhitungan debit di lokasi pengukuran 1 (Q1) dan lokasi pengukuran 2 (Q2) dirata-ratakan menghasilkan debit rata-rata (Q) yang akan digunakan dalam perhitungan daya listrik.

$$Q = 0,65 \times \frac{Q1 + Q2}{2} = 0,65 \times \frac{0,2237 + 0,0866}{2} = 0,1038 \text{ m}^3/\text{s}$$

Keterangan:

\*faktor koreksi pengukuran metode apung

\*\*faktor koreksi perhitungan sungai dangkal

### B. Pengukuran tinggi jatuh (head)

Head adalah elevasi dari permukaan air sampai dengan jatuhnya air ke sudu turbin yaitu pada bagian tengah ketinggian turbin. Dari hasil pengukuran menggunakan metode waterpass diperoleh ketinggian permukaan air 2,5 m ( $h_1$ ) dan tinggi jatuh air pada turbin 1,3 m ( $h_2$ ), sehingga:

$$Head = h_1 - h_2 = 2,5 - 1,4 = 1,1 \text{ m}$$

### C. Perhitungan potensi daya listrik

Hasil perhitungan debit pada poin A dan head pada poin B digunakan untuk menghitung potensi daya listrik pada sisi turbin menggunakan persamaan (1) [9]:

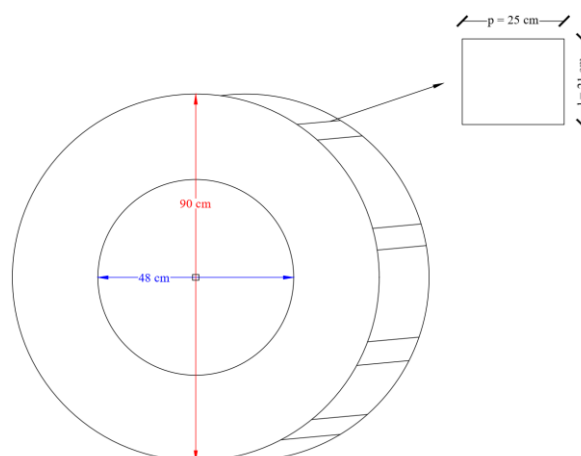
$$\begin{aligned} Pin \text{ turbin} &= \rho_{air} \times g \times head \times Q \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s} \times 1,1 \text{ m} \times 0,1038 \text{ m}^3/\text{s} = 1.220 \text{ watt} \end{aligned}$$

Pin turbin merupakan daya listrik dari energi potensial air yang masuk ke menggerakkan turbin. Sedangkan daya output yang dapat dibangkitkan oleh generator dipengaruhi efisiensi turbin-generator. Dengan asumsi efisiensi turbin generator 65%, maka kapasitas daya generator [10]:

$$\begin{aligned} Pout \text{ generator} &= Pin \text{ turbin} \times \text{efisiensi turbin\_generator} \\ &= 1.220 \text{ watt} \times 0,65 = 793 \text{ watt} \end{aligned}$$

### D. Pembuatan turbin

Gambar 5 menunjukkan rancangan turbin. Turbin dibuat dari bahan plat baja tebal 2,5 mm. Diameter luar disisi kanan dan kiri terbuat dari plat baja dengan diameter 90 cm. Sudu-sudu turbin sebanyak 9 buah dengan ukuran 25 cm x 21 cm dipasang diantara 2 plat plat luar dengan cara las listrik. Sisi 25 cm merupakan kedalam sudu sedangkan 21 cm merupakan lebar sudu-sudu. Bagian dalam sudu-sudu dilas menempel dengan plat silinder dalam dengan diameter 48 cm. Pada pusat turbin terdapat as dari bahan baja dengan dilengkapi bearing pada kedua sisi kanan kiri sebagai dudukan putaran turbin akibat energi air.



Gambar 5. Rancangan dimensi turbin

Gambar 6 adalah hasil konstruksi turbin. Salah satu dari 2 sisi turbin dipasang *pulley* dan pada as dipasang *bearing*. Penggunaan *pulley* pada turbin agar putaran turbin dapat ditransmisikan mekanik menggunakan V-belt menjadi putaran mekanik dengan kecepatan yang berbeda. Pada turbin ini pulley mentransmisikan putaran ke flywheel dengan diameter yang lebih kecil dibanding diameter pulley turbin sehingga putaran flywheel akan lebih cepat dibanding putaran turbin. Dengan dilengkapi flywheel maka akan meningkatkan kinerja dari generator dalam menjaga kestabilan tegangan keluaran akibat fluktuasi beban [11].



Gambar 6. Konstruksi turbin dengan *pulley*

#### E. Pembuatan rumah pembangkit dan pemasangan turbin-generator

Turbin-generator dipasang pada rumah pembangkit. Rumah pembangkit dibuat dengan rangka besi baja U ketebalan 5mm. Empat buah kaki penyangga dicor semen untuk meningkatkan kekuatan rumah pembangkit akibat vibrasi putaran turbin seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Konstruksi rangka rumah pembangkit

Turbin dipasang pada rangka rumah pembangkit bagian bawah seperti gambar 8. As turbin pada kedua sisi disetting agar simetris dan sama tinggi untuk mengurangi vibrasi akibat aliran air ke sudu turbin.



Gambar 8. Pemasangan turbin



Generator dipasang di atas turbin. Pemasangan generator juga harus diset simetris dengan pulley untuk mengurangi vibrasi saat putaran as generator sehingga *lifetime* generator dapat dipertahankan lebih lama. Gambar 9 menunjukkan setting pemasangan pulley, generator dan turbin. Dudukan generator terbuat dari kayu pinus memanfaatkan sumber daya alam sekitar rumah pembangkit.



Gambar 9. Setting pulley dan pemasangan turbin-generator di rumah pembangkit

Turbin-dikopel dengan generator menggunakan *V-belt*. Pada poros generator dipasang pully dengan diameter yang lebih kecil dibanding diameter pulley turbin, sehingga kecepatan putar generator lebih tinggi dibanding kecepatan putar turbin. Karena diameter turbin relative besar dibandingkan pulley pada poros generator, maka dipasang pulley antara turbin generator yang juga berfungsi meningkatkan kecepatan putaran turbin yang ditransmisikan ke *pulley* generator.

#### 4. KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat telah mencapai tujuan. Dari pengukuran diperoleh debit air sungai  $0,1038m^3/s$ , tinggi jatuh (*head*) 1,1 meter sehingga mengidentifikasi potensi daya listrik dari potensial air sebesar 1.220 watt. Dengan asumsi efisiensi 65% akan diperoleh daya keluaran generator 793 watt. Potensi daya ini cukup untuk kebutuhan diproyeksikan sebagai sumber energi listrik untuk penerangan jalan. Pemasangan turbin-generator berhasil dilakukan pada rumah pembangkit dan siap dilanjutkan untuk tahap berikut berupa bangunan sipil dan distribusi energi listrik ke penerangan jalan.

Penerapan teknologi pada pembangunan pembangkit pikohidro ini akan meningkatkan keamanan dan kenyamanan khususnya pada malam hari, meningkatkan kepedulian masyarakat sekitar terhadap kelestarian daerah tangkapan air dan diharapkan menjadi contoh bagi pemanfaatan energi terbarukan berbasis sumber daya lokal.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan dan ucapan terimakasih kami sampaikan kepada pihak Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Jenderal Soedirman, yang telah memberikan dukungan dana melalui skema pengabdian berbasis riset sehingga Program Pengabdian kepada Masyarakat program ini dapat dilaksanakan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014, "Kebijakan Energi Nasional".
- [2] Undang-Undang No 16 Tahun 2016, "Pengesahan Paris Agreement to The United Nations Framework Convention on Climate Change".
- [3] Peraturan Presiden No 22 Tahun 2017, "Rencana Umum Energi Nasional"
- [4] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 112 Tahun 2022, "Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik".
- [5] D. J. Fulford, "Recommendations on the use of Micro-Hydro Power in rural development", *Journal of International Development*, vol. 12, pp 975-983, 2000
- [6] Badan Standar Nasional, "Spesifikasi teknis pembangkit listrik tenaga pikohidro", SNI 8634:2018.
- [7] Buku Utama Pedoman Studi Kelayakan PLTMH, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2009.
- [8] Kaigai, *Panduan Untuk Pembangunan Listrik Mikro Hidro*, Japan International Cooperation Agency (JICA), 2003.
- [9] A. Harvey, *Micro-Hydro Design Manual a guide to small-scale water power schemes, Intermediate Technology*, Great Britain, 1993.
- [10] C. Penche, *Layman's Handbook : On How to Develop A Small Hydro Site 2nd Edition, ESHA. Kaigai, 2003. Panduan Untuk Pembangunan Listrik Mikro Hidro*. Japan International Cooperation Agency (JICA), 1998.
- [11] S. Marinus, "Studi aplikatif rod agila (*flywheel*) pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro", Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, 2019.