

## Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Picohydro* Head 0,7m pada Aplikasi Kebutuhan Pertanian di Desa Indragiri

Dede Tria Ferdian<sup>1</sup>, Muhammad Wildan Yusuf<sup>2\*</sup>, Noviyanti Nugraha<sup>3</sup> dan Muhammad Ridwan<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional, Bandung 90245, Indonesia

\*E-main korespondensi: mhmmdwildanyusuf@gmail.com

**Abstract:** Limited electricity supply in crop storage buildings in Indragiri Village necessitates a simple alternative energy system that is suitable for local irrigation flow conditions. With a discharge of 0.006 m<sup>3</sup>/s and a head of 0.7 m, this study designed a *picohydro* power generation system through an engineering design approach that included energy requirement analysis, turbine component calculations, and mechanical design. The Pelton turbine was selected due to its optimal performance at low flow rates and its easy-to-maintain construction. The design results indicate a theoretical power of 28 Watts. The main components include a galvanized hollow frame measuring 850 × 500 × 350 mm, a runner with a diameter of 457.2 mm, a shaft with a diameter of 26 mm, blades measuring 150 × 100 × 50 mm, and pulleys measuring 304.8 mm and 50.8 mm. Materials such as chrome steel, resin, and aluminum were selected to ensure mechanical strength and corrosion resistance. This *picohydro* system is considered suitable as a small-scale alternative energy source for lighting and light electronic devices in agricultural facilities, and has the potential to be applied as a sustainable energy solution in Indragiri Village.

**Keywords:** *Picohydro* Power System; Pelton Turbine; Renewable Energy

**Abstrak:** Keterbatasan pasokan listrik pada bangunan penyimpanan hasil panen di Desa Indragiri mendorong perlunya sistem energi alternatif yang sederhana dan sesuai dengan kondisi aliran irigasi setempat, dengan debit 0,006 m<sup>3</sup>/s dan head 0,7 m. Tujuan penelitian ini menghasilkan rancangan pembangkit listrik tenaga *picohydro* melalui pendekatan perancangan teknik yang mencakup analisis kebutuhan energi, perhitungan komponen turbin, dan penyusunan desain mekanis. Turbin Pelton dipilih karena kinerjanya optimal pada debit rendah serta memiliki konstruksi yang mudah dirawat. Hasil perancangan menunjukkan daya teoritis sebesar 28 Watt. Komponen utama meliputi rangka *hollow* galvanis berukuran 850 × 500 × 350 mm, runner berdiameter 457,2 mm, poros berdiameter 26 mm, sudu berukuran 150 × 100 × 50 mm, serta ukuran pulley 304,8 mm dan 50,8 mm. Material seperti baja *chrome*, resin, dan aluminium dipilih untuk memastikan kekuatan mekanis dan ketahanan korosi. Sistem *picohydro* ini dinilai layak sebagai sumber energi alternatif skala kecil untuk penerangan dan perangkat elektronik ringan pada fasilitas pertanian, serta berpotensi diterapkan sebagai solusi energi berkelanjutan di Desa Indragiri.

**Kata kunci :** Sistem Piko hidro; Turbin Pelton; Energi Terbarukan

### I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan aktivitas manusia di berbagai sektor, termasuk sektor pertanian. Hingga saat ini, sebagian besar kebutuhan listrik masih dipenuhi oleh pembangkit berbasis bahan bakar fosil seperti batubara, minyak bumi, dan gas alam. Ketergantungan yang tinggi terhadap sumber energi fosil tersebut menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan, seperti peningkatan emisi gas rumah kaca, pencemaran udara, serta perubahan iklim global. Oleh karena itu, pemanfaatan energi terbarukan menjadi salah satu strategi penting dalam mendukung transisi energi menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan [1], [2].

Pemerintah Indonesia saat ini terus mendorong pengembangan berbagai sumber energi terbarukan seperti energi surya, energi angin, energi biomassa, dan energi air sebagai bagian dari kebijakan ketahanan energi nasional. Energi air merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar di Indonesia karena ketersediaan sumber daya air yang melimpah, baik berupa sungai, saluran irigasi, maupun air terjun. Pemanfaatan energi air dalam skala kecil melalui teknologi pembangkit listrik tenaga mikrohidro dan *picohydro* menjadi solusi yang efektif untuk menyediakan listrik di daerah terpencil atau lokasi yang belum terjangkau oleh jaringan listrik utama [3], [4].

Salah satu teknologi pembangkit listrik tenaga air skala kecil adalah pembangkit listrik tenaga *picohydro* yang umumnya memiliki kapasitas di bawah 5 kW. Sistem *picohydro* bekerja dengan memanfaatkan energi potensial air yang berasal dari perbedaan ketinggian (head) dan debit aliran air untuk menggerakkan turbin yang terhubung dengan generator listrik. Energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin kemudian dikonversi menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan energi skala kecil, seperti penerangan, pengisian baterai, maupun pengoperasian peralatan pertanian [5], [6].

Teknologi *picohydro* memiliki berbagai keunggulan dibandingkan dengan sistem pembangkit energi lainnya, antara lain memiliki dampak lingkungan yang relatif kecil, biaya investasi yang lebih rendah, serta proses instalasi yang relatif sederhana. Selain itu, sistem ini sangat cocok diterapkan pada daerah pedesaan yang memiliki sumber aliran air dengan debit yang cukup namun memiliki ketinggian jatuh air (head) yang relatif rendah. Dengan desain yang tepat, sistem *picohydro* mampu menghasilkan energi listrik secara kontinu dengan tingkat efisiensi yang cukup baik [7].

Desa Indragiri merupakan salah satu wilayah yang memiliki potensi sumber daya air yang berasal dari saluran irigasi pertanian. Salah satu bangunan yang digunakan sebagai tempat penyimpanan hasil panen di desa tersebut memerlukan sumber listrik untuk penerangan. Namun, lokasi bangunan tersebut berada cukup jauh dari jaringan distribusi listrik yang tersedia, sehingga diperlukan suatu sistem pembangkit listrik mandiri yang dapat memanfaatkan potensi energi lokal secara optimal.

Berdasarkan kondisi tersebut, pemanfaatan energi air melalui sistem pembangkit listrik tenaga *picohydro* menjadi salah satu solusi yang potensial untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di lokasi tersebut. Dengan memanfaatkan debit aliran air pada saluran irigasi serta perbedaan ketinggian yang tersedia, sistem *picohydro* dapat dirancang untuk menghasilkan energi listrik yang cukup untuk kebutuhan penerangan pada bangunan penyimpanan hasil panen. Oleh karena itu, perancangan sistem yang tepat sangat diperlukan agar pembangkit dapat bekerja secara optimal dan efisien [8], [9].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pembangkit listrik tenaga *picohydro* dengan head sebesar 0,7 m yang memanfaatkan aliran air pada saluran irigasi di Desa Indragiri. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi penyediaan energi listrik skala kecil yang ramah lingkungan serta dapat mendukung kegiatan pertanian di daerah tersebut. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga *picohydro* pada daerah dengan kondisi head rendah [10].

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dirancang pembangkit listrik turbin air *picohydro* sesuai dengan potensi pada saluran irigasi di Desa Indragiri dengan tahapan perancangan yaitu identifikasi kebutuhan, pengumpulan data lapangan, desain sistem, perhitungan teknis, serta perancangan komponen yang diakhiri dengan memperoleh gambar desain sistem dan spesifikasi komponen hasil perancangan.

### A. Identifikasi Kebutuhan

Identifikasi kebutuhan dilakukan untuk menentukan arah penelitian serta spesifikasi dasar yang harus dipenuhi dalam perancangan PLTPh. Beberapa kebutuhan yang berhasil diidentifikasi antara lain: pada bangunan penyimpanan hasil panen berukuran  $6 \times 4$  meter menunjukkan bahwa kebutuhan listrik utamanya berasal dari sistem penerangan. Penerangan direncanakan menggunakan tiga lampu dengan kapasitas 5 Watt per unit, sehingga total kebutuhan daya untuk pencahayaan adalah minimal 15 Watt. Turbin harus mampu beroperasi pada debit dan Head rendah, Sistem transmisi menggunakan pulley dan V-belt agar kecepatan putar turbin sesuai dengan kebutuhan generator DC. Desain turbin dibuat sederhana, ekonomis, mudah diproduksi, mudah dirawat, serta bersifat portable sehingga dapat dipindahkan dan dipasang kembali sesuai kebutuhan di lapangan.

### B. Pengumpulan Data Lapangan

Pengukuran debit dan Head pada saluran irigasi yang ada dengan data debit yang diperoleh adalah  $0,006 \text{ m}^3/\text{s}$  dan head 0,7 m. Kontur lahan terdapat kemiringan/penurunan alami yang

memungkinkan pemanfaatan Head air. Stabilitas aliran cukup stabil, tetapi berpotensi berkurang saat musim kemarau. Kondisi dasar sungai terdiri dari batu-batuan kecil dan tanah, membantu menjaga arah aliran. Berpotensi digunakan sebagai sumber energi *picohydro* skala kecil. Potensi air dari saluran irigasi diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Potensi aliran air dan Penstock

### C. Penyusunan Spesifikasi Teknis Sesuai Dengan Kebutuhan Konsumen

Tahap ini bertujuan untuk memahami apa yang dibutuhkan dan diinginkan oleh pengguna agar produk yang dibuat sesuai dengan harapan mereka, meliputi penentuan ukuran, bahan, dan kemampuan kerja produk berdasarkan hasil dari kebutuhan pengguna, sehingga dapat berfungsi dengan baik dan memberikan kepuasan bagi konsumen.

Tabel 1. Permintaan Konsumen

| No | Permintaan Konsumen                      |
|----|------------------------------------------|
| 1  | Menghasilkan Daya Sistem diatas 100 watt |
| 2  | Desain Minimalis                         |
| 3  | Tahan terhadap air dan korosi            |
| 4  | Mudah dirawat dan dioperasikan           |
| 5  | Biaya pembuatan terjangkau               |
| 6  | Efisien memanfaatkan aliran kecil        |

Tahap selanjutnya dilakukan untuk menilai dan menentukan mana kebutuhan konsumen yang paling penting dan harus diprioritaskan. Hal ini dilakukan agar produk yang dibuat lebih tepat sasaran dan benar-benar memenuhi kebutuhan pengguna.

Tabel 2. Penilaian Terhadap Kebutuhan Konsumen

| No | Permintaan Konsumen               | Nilai |
|----|-----------------------------------|-------|
| 1  | Daya Sistem diatas 100 Watt       | 25    |
| 2  | Desain Minimalis                  | 15    |
| 3  | Tahan terhadap air dan korosi     | 20    |
| 4  | Mudah dirawat dan dioperasikan    | 20    |
| 5  | Biaya pembuatan terjangkau        | 10    |
| 6  | Efisien memanfaatkan aliran kecil | 10    |
|    | Total                             | 100   |

Tahap selanjutnya, dilakukan identifikasi kekuatan hubungan antara kebutuhan konsumen dan spesifikasi teknis yang telah dirancang. Langkah ini bertujuan untuk memahami sejauh mana spesifikasi teknis tersebut memenuhi kebutuhan konsumen. Hubungan ini akan dalam "Rumah Kualitas" (House of Quality) yang disusun pada tahap akhir proses diperlihatkan pada Tabel 4. Adapun keterangan sebagai berikut:

- = Berhubungan Kuat
- o = Tidak berhubungan kuat

(kosong) = Tidak berhubungan sama sekali

Tabel 4. *House of Quality*

| Pembangkit Listrik Tenaga PicoHydro |                                   |               |         |                |                 |                |               | NOW   |   |   |   |   |
|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------|---------|----------------|-----------------|----------------|---------------|-------|---|---|---|---|
|                                     |                                   | Daya Keluaran | Dimensi | Jenis Material | Jumlah Komponen | Biaya Produksi | Ukuran Turbin | PLTPH |   |   |   |   |
|                                     |                                   |               |         |                |                 |                |               | PLTMH |   |   |   |   |
| Arah Kemajuan                       |                                   | ↑             | ↓       | ↑              | ↓               | ↓              | ↑             | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Satuan                              |                                   | Watt          | mm      |                | Pcs             | Rp             | mm            | NOW   |   |   |   |   |
| 25                                  | Daya 100 Watt                     | ●             |         |                |                 |                |               |       |   |   | ▲ | ■ |
| 15                                  | Desain Minimalis                  |               | ●       |                | ○               | ○              |               |       | ■ |   | ▲ |   |
| 20                                  | Tahan terhadap air dan korosi     |               |         | ●              |                 |                | ○             |       |   |   | ▲ | ■ |
| 20                                  | Mudah dirawat dan dioperasikan    |               |         |                | ●               |                |               |       |   | ■ |   | ▲ |
| 10                                  | Biaya pembuatan terjangkau        |               |         |                |                 | ●              |               |       | ■ |   | ▲ |   |
| 10                                  | Efisien memanfaatkan aliran kecil |               | ○       |                |                 |                | ●             |       |   | ■ | ▲ |   |
|                                     | PLTPH                             | 100           | 850     |                | 5               | 1,4            | 457           |       |   |   |   |   |
|                                     | PLTMH                             | 1000          |         |                | 7               | 20             | 635           |       |   |   |   |   |
|                                     | Target Minimum                    | 100           | 1000    |                | 7               | 20             | 635           |       |   |   |   |   |
|                                     | Target Maksimum                   | 1000          | 850     |                | 5               | 1,4            | 457           |       |   |   |   |   |

#### D. Perhitungan

Dari hasil pengukuran di lapangan, aliran air di Desa Indragiri memiliki debit sekitar 0,006 m<sup>3</sup> m/s dengan tinggi jatuh air (Head) sebesar 0,7 m. Kondisi tersebut paling cocok menggunakan turbin jenis Pelton, karena turbin ini dapat bekerja dengan baik pada aliran air yang kecil dan perbedaan ketinggian yang rendah. Selain itu, turbin Pelton memiliki desain yang sederhana, mudah dirawat, dan efisien. [6] sehingga sangat sesuai digunakan untuk perancangan sistem pembangkit listrik tenaga *picohydro* 0,7 m pada aplikasi kebutuhan pertanian di Desa Indragiri.

Berdasarkan kondisi debit dan head di lokasi penelitian, daya hidrolis turbin dihitung menggunakan persamaan 1).

$$P = \rho \times g \times Q \times H \quad (1)$$

Di mana

P = Daya (Watt)

$\rho$  = Berat jenis = 1000 kg/m<sup>3</sup>,

g = Gravitasi = 9,81 m/s<sup>2</sup>,

Q = Debit = 0,006 m<sup>3</sup>/s, dan

H = Head = 0,7 m

Diperoleh daya teoritis awal sebesar 41,202 Watt

Diameter penstock pipa yang telah terpasang 50,8mm

kecepatan aliran (V) pada penstock dengan persamaan (2) :

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h}{1 + f \frac{L}{D}}} \quad (2)$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 9,81 \times 0,70}{1 + 0,02 \frac{6}{0,0508}}}$$

$$= 2,02 \text{ m/s}$$

Dimana :

$g$  : percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$h$  : Head (m)

$f$  : Koefisien gesekan

$L$  : Panjang penstock (m)

$D$  : Diameter pipa (m)

#### Perencanaan Sudu

- Menentukan panjang sudu ( $b$ )

$$b = 3,2 (d)$$

$$= 3,2 \cdot (50)$$

$$= 160 \text{ agar desain membentuk } 130^\circ \text{ dibuat menjadi } 150 \text{ (mm)}$$

Dimana:

$b$  = Panjang sudu (m)

$d$  = Diameter *penstock* air (mm)

- Menentukan tinggi sudu ( $h$ )

$$h = 2,5 (d)$$

$$= 2,5 \cdot 50$$

$$= 125 \text{ penyesuaian dimensi pada runner maka menjadi } 100 \text{ (mm)}$$

Dimana:

$h$  = Tinggi sudu (mm)

$d$  = Diameter pancaran air (mm)

- Menentukan kedalam sudu ( $t$ )

$$t = 0,9 (d)$$

$$= 0,9 (50)$$

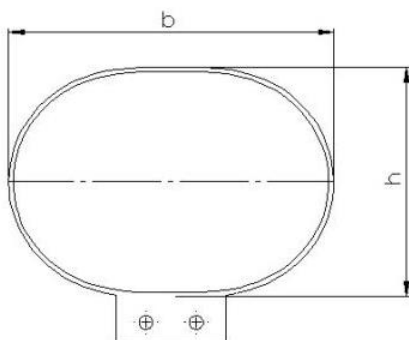
$$= 45 \text{ mm dibulatkan menjadi } 50 \text{ mm agar panjang lingkaran dapat menerima gaya}$$

$$\text{air yang lebih optimal}$$

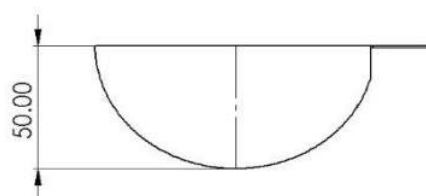
Dimana:

$t$  = Kedalaman sudu (mm)

$d$  = Diameter pancaran air (mm)



Gambar 2. Panjang sudu dan Tinggi sudu



Gambar 3. Kedalaman sudu

Panjang dan tinggi sudu turbin pelton diperlihatkan pada Gambar 2. Kedalaman sudu diperlihatkan pada Gambar 3.

Debit keluaran penstock:

$$\begin{aligned} Q &= A \times V \\ &= 0,00202 \times 2,02 \\ &= 0,00408 \text{ m}^3/\text{s} \approx 4 \text{ L/s} \end{aligned}$$

Dimana:

Q : Debit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
V : Kecepatan aliran air ( $\text{m/s}$ )  
A : Luas penampang ( $\text{m}^2$ )

Bilangan *Reynolds*:

Asumsi viskositas kinematik air pada  $20^\circ\text{C} = 1,0 \times 10^{-6}$

$$Re = \frac{v \times D}{V} = \frac{2,02 \times 0,0508}{1,0 \times 10^{-6}} = 1,026 \times 10^5$$

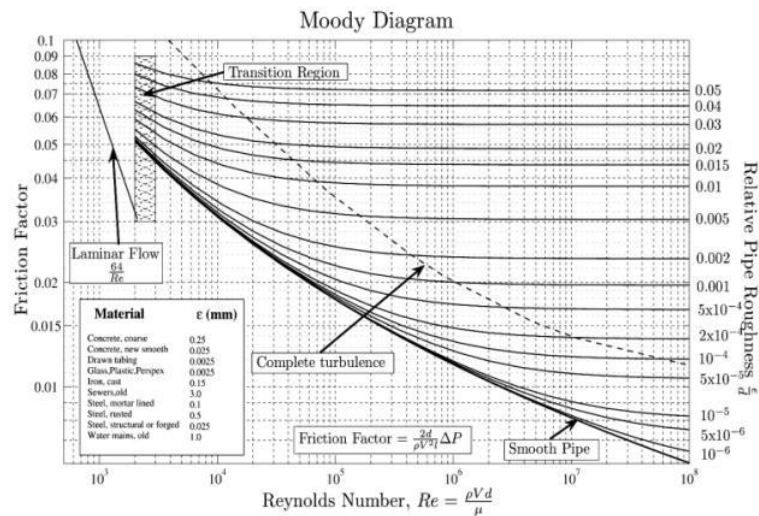
Dimana:

v : kecepatan aliran ( $\text{m/s}$ )  
D : Diameter pipa ( $\text{m}$ )  
V : Viskositas kinematik

$$\varepsilon = 0,0015$$

$$f = 0,02$$

(Diagram Moody) pada Gambar 4.

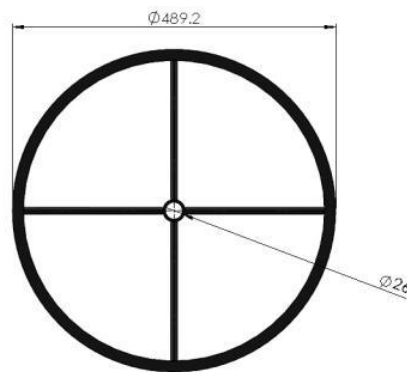


Gambar 4. Diagram Moody

Daya Turbin

$$\begin{aligned} P &= \rho \times g \times Q \times H \\ &= 1000 \times 9,81 \times 0,00408 \times 0,7 \\ &= 28 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Runner dirancang dengan diameter luar 489,2 mm dan diameter poros 26 mm untuk menyesuaikan aliran air serta memastikan pemasangan poros yang stabil dan aman, dimensi runner diperlihatkan pada Gambar 5.

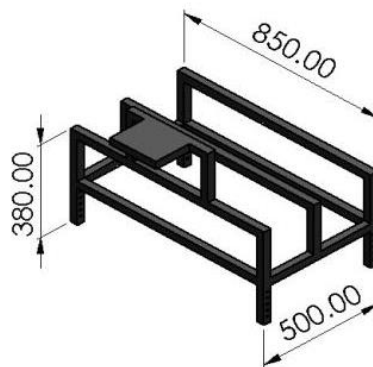


Gambar 5. Runner

Diameter dihitung menggunakan persamaan 5 diperoleh sebesar 26mm, menggunakan material baja chrome.

$$d = \left( \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot \tau} \right)^{1/3}$$

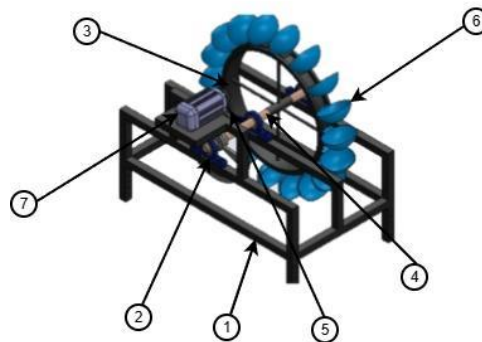
Rangka dirancang sebagai struktur utama penopang seluruh komponen sistem. Dimensi rangka dirancang menyesuaikan kondisi aliran irigasi dan kebutuhan pemasangan komponen agar sistem tetap stabil, kokoh, serta mudah dipasang dan dirawat. Dimensi rangka panjang: 850mm, lebar: 500mm dan tinggi: 350mm, dimensi rangka diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Dimensi Rangka

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan pembangkit listrik tenaga pyc hidro untuk tinggi jatuh (*Head*) 0,7 m menggunakan turbin tipe Pelton pada aliran irigasi Desa Indragiri diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Perancangan

Dimana nama komponen diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Komponen Hasil Perancangan

| No | Komponen           | Material               | Keterangan                              |
|----|--------------------|------------------------|-----------------------------------------|
| 1  | Rangka             | <i>Hollow Galvanis</i> | Menopang seluruh sistem                 |
| 2  | <i>Pillowblock</i> | Besi Cor               | Penahan dan stabilisasi poros           |
| 3  | <i>Runner</i>      | Baja <i>Chrome</i>     | Menerima energi air sebagai putaran     |
| 4  | Poros              | Baja <i>Chrome</i>     | Menghubungkan torsi ke transmisi        |
| 5  | <i>Pulley</i>      | Almunium               | Menyalurkan putaran ke generator        |
| 6  | Sudu               | Resin                  | Meningkatkan efisiensi putaran turbin   |
| 7  | Generator          | DC                     | Mengubah energi mekanik menjadi listrik |

Dimensi dan spesifikasi teknis berdasarkan hasil perhitungan dan perancangan diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Spesifikasi

| No | Komponen                  | Spesifikasi             |
|----|---------------------------|-------------------------|
| 1  | Daya Turbin               | 28 Watt                 |
| 2  | Head                      | 0,7 m                   |
| 3  | Debit                     | 0,006 m <sup>3</sup> /s |
| 4  | Dimensi Rangka            | 850 × 500 × 350 mm      |
| 5  | RPM Turbin ( $n_1$ )      | ±100 rpm                |
| 6  | RPM Generator ( $n_2$ )   | ±528,5 rpm              |
| 7  | Material Rangka           | Hollow galvanis 3×3 cm  |
| 8  | Diameter Sudu             | 150 mm                  |
| 9  | Tinggi Sudu               | 100 mm                  |
| 10 | Kedalaman Sudu            | 50 mm                   |
| 11 | Jenis Sudu                | Pelton                  |
| 12 | Diameter Runner           | 489,2 mm                |
| 13 | Diameter Poros            | 26 mm                   |
| 14 | Material poros            | Baja chrome             |
| 15 | Diameter pulley Turbin    | 304,8 mm                |
| 16 | Diameter pulley Generator | 50,8 mm                 |

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- a. Sistem pembangkit listrik tenaga *picohydro* berhasil dirancang berdasarkan kondisi lapangan Desa Indragiri, dengan debit 0,006 m<sup>3</sup>/s dan head 0,7 m, sehingga turbin Pelton dipilih karena paling sesuai untuk debit kecil dan *head* rendah.
- b. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem menghasilkan daya teoritis sebesar 28 Watt dan yang cukup untuk memenuhi kebutuhan penerangan sebesar 15 Watt pada bangunan penyimpanan. Perhitungan ini membuktikan bahwa sistem mampu bekerja secara stabil dan dapat menyediakan energi listrik mandiri sesuai kebutuhan pengguna.
- c. Komponen utama seperti *runner*, sudu, poros, dan transmisi *pulley* berhasil ditentukan dimensinya serta menggunakan material yang sesuai, sehingga desain sistem dinilai layak untuk diimplementasikan sebagai sumber energi alternatif skala kecil.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Energy Agency, *World Energy Outlook*. Paris, France: IEA, 2022.
- [2] B. K. Sovacool, "The importance of renewable energy in global energy transition," *Energy Policy*, vol. 36, no. 6, pp. 2030–2036, 2008.
- [3] A. Paish, "Small hydro power: Technology and current status," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 6, pp. 537–556, 2002.
- [4] T. Ackermann, *Wind Power in Power Systems*. Chichester, UK: Wiley, 2012.
- [5] W. H. Inversin, *Micro-Hydropower Sourcebook*. Arlington, USA: NRECA International Foundation, 1986.
- [6] H. P. Neill and P. Fraenkel, *Hydropower Engineering Handbook*. London, UK: Taylor & Francis, 2006.
- [7] S. Paish, "Micro-hydropower: Status and prospects," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, vol. 216, pp. 31–40, 2002.
- [8] A. Williams and R. Simpson, *Pico Hydro – Reducing Technical Risks for Rural Electrification*. London, UK: Practical Action Publishing, 2009.
- [9] M. Maher and N. Smith, "Pico hydro for village power: A practical manual," *Intermediate Technology Publications*, London, 2001.
- [10] A. Harvey, *Micro-Hydro Design Manual*. London, UK: Intermediate Technology Publications, 1993.