

## DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKO HIDRO (STUDI KASUS : KABUPATEN MAGETAN, INDONESIA)

G. Christ Martin Rinaldi<sup>2</sup>, Rr. Rintis Hadiani<sup>1</sup>, dan Muhtar Wakid<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Staf Pengajar, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta  
Email: rintis@ft.uns.ac.id

<sup>2</sup>Program Sarjana, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta  
Email: christmartin1223@gmail.com

<sup>3</sup>Kepala Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Kabupaten Magetan

### ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) adalah pembangkit listrik tenaga air skala kecil yang menghasilkan daya listrik kurang dari 5 kW. Pembangkit listrik skala kecil ini sangat cocok diterapkan pada saluran irigasi yang memiliki tinggi jatuh dan debit rendah. Salah satu lokasi yang berpotensi untuk dijadikan PHPP adalah saluran irigasi Ngentep di Desa Giripurno Kabupaten Magetan. Penelitian yang berlokasi di Desa Giripurno ini berupaya merancang Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH). Survei topografi dan survei kondisi tanah dilakukan kemudian data diolah dengan bantuan software berupa *Microsoft Office*, *HPP Design*, *AutoCAD*, dan *Sketchup* sehingga menghasilkan tinggi jatuh efektif, daya listrik, energi listrik, daya dukung tanah, dan gambar desain 2D dan 3D. Ada 2 alternatif desain untuk perencanaan PLTPH Ngentep ini. Desain I dengan debit 0,1917 m<sup>3</sup>/det dan tinggi efektif 1,77 m menghasilkan daya 1,7662 kW dan energi tahunan 15472 kWh, sedangkan Desain II dengan debit 0,02 m<sup>3</sup>/det dan tinggi efektif 2,0699 m menghasilkan daya 0,2762 kW dan energi tahunan 2419,13 kWh. Rumah turbin kedua desain dirancang dengan fondasi dangkal bujur sangkar dan dianalisis dengan persamaan *Schmertmann* menggunakan SF 3 menghasilkan bahwa kedua desain aman.

Kata kunci: Piko Hidro, Desain, Energi, Tinggi Jatuh

### ABSTRACT

*The Pico Hydro Power Plant (PHPP) is a small-scale hydroelectric power plant that produces less than 5 kW of electrical power. This small-scale power plant is suitable for irrigation canals with low fall height and discharge. One location that has the potential to be made PHPP is the Ngentep irrigation channel in Giripurno Village, Magetan Regency. This research, located in Giripurno Village, seeks to design a Pico Hydro Power Plant (PHPP). Topographic surveys and surveys of soil conditions are carried out. Then the data is processed with the help of software in the form of Microsoft Office, HPP Design, AutoCAD, and Sketchup to produce effective fall height, electrical power, electrical energy, soil carrying capacity, and 2D and 3D design drawings. There are two alternative designs for planning this Ngentep PHPP. Design I, with a discharge of 0.1917 m<sup>3</sup>/s and an effective head of 1.77 m, produces a power of 1.7662 kW and annual energy of 15472 kWh, while Design II, with a discharge of 0.02 m<sup>3</sup>/s and an effective head of 2.0699 m produces power 0.2762 kW and annual energy 2419.13 kWh. The turbine housings of both designs were designed with a shallow rectangular foundation and analyzed by the Schmertmann equation using an SF of 3, resulting that both methods being safe.*

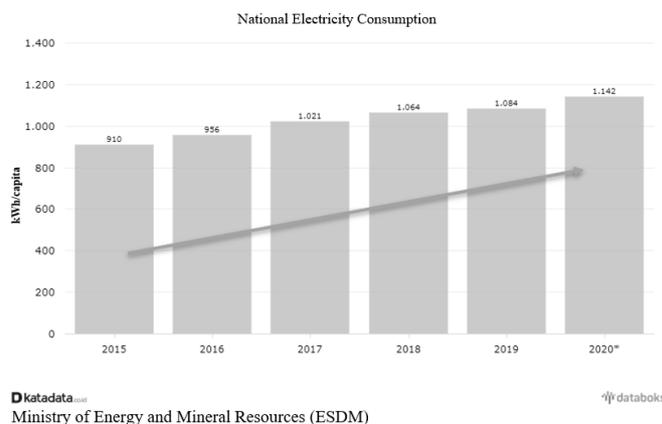
Keywords: Pico Hydro, Desing, Energy, Head

## 1. PENDAHULUAN

Desa Giripurno merupakan sebuah desa yang terletak di Kecamatan Kawedanan, Kabupaten Magetan, Provinsi Jawa Timur. Pada desa tersebut terdapat suatu saluran yang memiliki potensi untuk dijadikan sebuah pembangkit listrik yang tentunya bisa membantu kebutuhan listrik untuk masyarakat sekitar.

Menurut katadata.com yang bersumber dari Kementerian ESDM, dari tahun 2015 hingga 2020 konsumsi listrik di Indonesia selalu mengalami peningkatan. Oleh karena itu, perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro

(PLTPH) ini diharapkan dapat menjadi sumber energi terbarukan dan dapat dinilai sebagai energi yang ramah lingkungan.



Gambar 1. Grafik Konsumsi Listrik di Indonesia Tahun 2015 - 2020

Mayoritas warga Desa Giripurno berprofesi sebagai petani sawah dan sangat mengandalkan sawah mereka untuk mencukupi perekonomian mereka. Adanya PLTPH ini diharapkan dapat menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk penerangan daerah sekitar saluran irigasi yang berguna untuk maintenance saluran dan penerangan bagi warga desa yang bekerja pada sore hari maupun malam hari.

Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) merupakan suatu pembangkit listrik skala kecil menghasilkan daya kurang dari 5 kW, berbeda dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro yang mampu menghasilkan daya antara 5 kW sampai dengan 100 kW. Energi Pico Hidro ini banyak digunakan di beberapa daerah. Di Indonesia masih berpotensi dikembangkan energi Pico-Micro Hidro (Erinofiardi dkk, 2017)

Pada perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) Ngentep ini akan dibuat desain infrastruktur sesuai potensi yang ada dan sebagai studi kasus telah disiapkan turbin kaplan dengan kapasitas debit 0,02 m<sup>3</sup>/det.

Perencanaan PLTPH Ngentep ini tentu saja membutuhkan berbagai data yang dibutuhkan seperti data debit dari saluran sekunder Ngentep, data pengukuran topografi (cross section, beda tinggi, dan elevasi), dan data kondisi tanah. Data – data tersebut digunakan dalam perhitungan metode seperti desain infrastruktur bangunan, perhitungan energi, dan daya dukung tanah.

## 2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan 2 alternatif desain yaitu Desain I dengan debit eksisting hasil pengukuran dan Desain II dengan debit turbin Kaplan eksisting sebesar 0,02 m<sup>3</sup>/detik. Desain I tidak merencanakan intake, bak penenang, dan saluran pembuang karena Desain I direncanakan untuk dibangun di atas saluran hilir, sehingga air hulu langsung masuk ke penstock dan air langsung kembali ke saluran hilir setelah memutar turbin, berbeda dengan Desain II yang harus ada. Pengumpulan data primer dari hasil survei berupa penampang saluran, pengamatan pada alat ukur *Cipoletti* untuk mendapatkan debit air eksisting, dan pengumpulan data sekunder berupa hasil sondir tanah pada lokasi dan spesifikasi turbin Kaplan eksisting. Semua data yang sudah didapatkan diolah sehingga menjadi sebuah desain yang dapat diterapkan di lapangan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Debit air

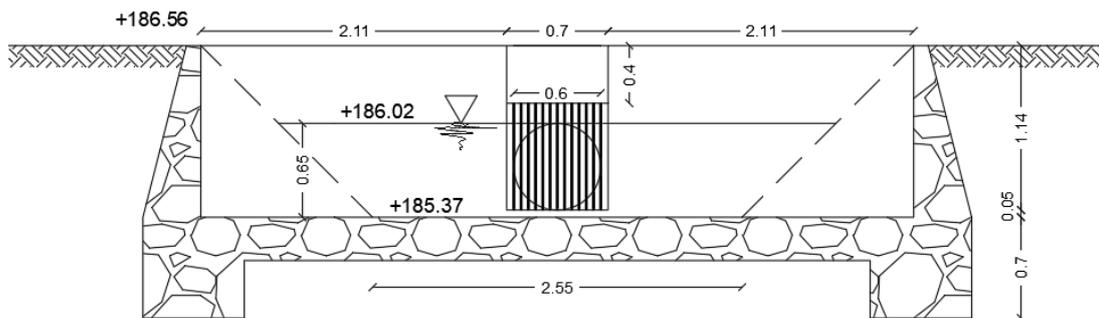
Terdapat 2 jenis debit yang akan digunakan dalam perancangan PLTPH Ngentep. Kedua debit tersebut akan digunakan pada desain yang berbeda, yaitu Desain I dan Desain II. Pada Desain I akan digunakan debit hasil pengukuran lapangan pada musim kemarau sehingga debit terukur adalah debit saluran minimum yaitu 0,1917 m<sup>3</sup>/det. Debit yang digunakan pada Desain II adalah debit yang merupakan spesifikasi dari turbin Kaplan eksisting yaitu 0,02 m<sup>3</sup>/det. Setiap besaran debit akan digunakan untuk desain yang berbeda sehingga dihasilkan 2 alternatif desain untuk PLTPH Ngentep.

Hasil survei lapangan ini setara dengan Qandalan 80% pada bulan Juli. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya debit ini merupakan Q65 (Maria Jessica, 2021). Namun demikian kedua alternatif debit tersebut digunakan sebagai dasar desain sesuai kesepakatan.

### 3.2. Penstock

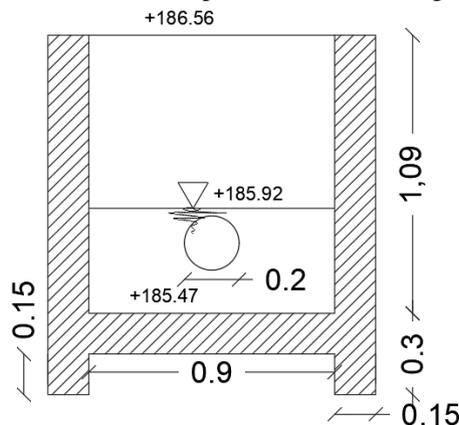
Penstock merupakan saluran pembawa yang mengarahkan air dari intake ke turbin untuk menggerakkan generator sehingga akan menghasilkan daya listrik yang diharapkan. Dimensi penstock yang dihasilkan akan mempengaruhi tinggi jatuh efektif, tetapi juga dimensinya tergantung pada debit yang ada. Dengan debit yang berbeda, Desain I dan Desain II memiliki dimensi penstock yang berbeda karena debitnya juga berbeda.

Desain I dengan tinggi 1,8 m dan debit 0,1917 m<sup>3</sup>/det direncanakan untuk penstock dengan diameter 0,6 m. Penstock Design I terletak di bagian hulu saluran yang juga merupakan intake dan sekaligus bak penenang digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Detail Penstock untuk Desain I

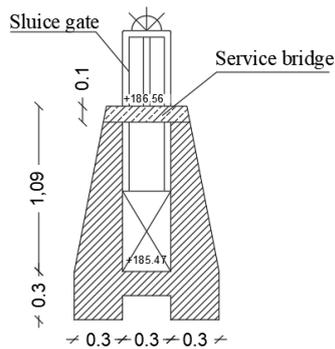
Desain II dengan tinggi 2,1 m dan debit 0,02 m<sup>3</sup>/det direncanakan untuk penstock dengan diameter 0,2 m. Pada Desain II, penstock terletak di ujung bak penenang, sehingga aliran air tenang masuk ke penstock menuju turbin dan akan memutar generator di dalam rumah turbin. Detail penstock Desain II digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Detail Penstock untuk Desain II

### 3.3. Intake

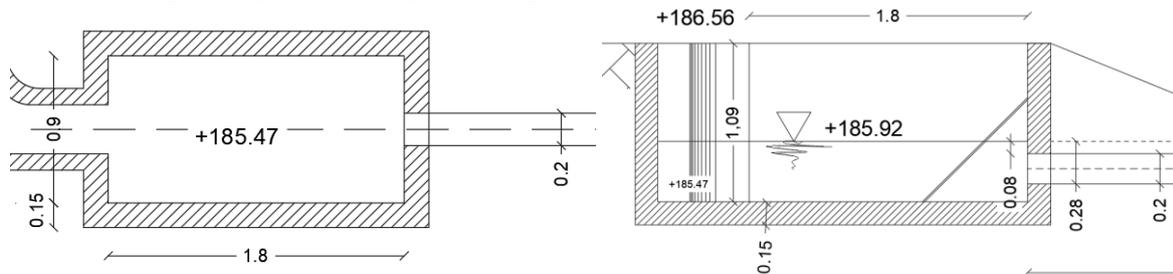
Intake hanya direncanakan untuk Desain II karena pada Desain I intake menjadi satu dengan saluran hulu sehingga intake tidak direncanakan. Besarnya intake direncanakan berdasarkan debit desain pada Desain II yaitu 0,02 m<sup>3</sup>/det kemudian ditambah 20% dengan harapan debit yang masuk tetap stabil dan penstock terisi penuh. Dimensi yang direncanakan untuk intake adalah lebar 0,3 m dan tinggi 1,09 m karena menyesuaikan dengan kondisi lapangan juga. Detail saluran intake digambarkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Detail Intake untuk Desain II

### 3.4. Bak Penenang

Bak penenang pada pembangkit listrik tenaga piko hidro ini berfungsi untuk mengubah aliran turbulen menjadi aliran laminar sehingga dengan aliran laminar diharapkan penstock terisi penuh sehingga tidak menyisakan ruang di dalam pipa. Selain itu, bak penenang juga menghubungkan intake dengan penstock yang menuju ke turbin, oleh karena itu diperlukan saringan pada bak penenang agar tidak membawa kotoran dan sedimen ke dalam penstock. Bak penenang yang hanya direncanakan untuk Desain II memiliki kedalaman air 0,08 m, panjang 1,8 m, dan lebar 0,9 m. Detail obat penenang Desain II digambarkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Detail Forebay untuk Desain II

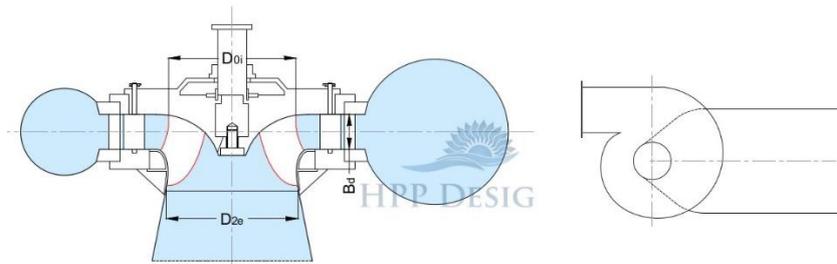
### 3.5. Tinggi Jatuh Efektif

Desain I dan Desain II adalah desain yang berbeda dan oleh karena itu memiliki ketinggian jatuh efektif masing-masing. Tinggi jatuh bruto untuk setiap desain juga berbeda tergantung pada desain yang dibuat. Desain I memiliki tinggi jatuh bruto 1,8 m dan tinggi jatuh efektif 1,77 m, berbeda dengan Desain II yang memiliki tinggi jatuh bruto 2,1 m dan tinggi jatuh efektif 2,0699 m. Besarnya tinggi jatuh efektif akan sangat mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh turbin dan generator. Ketinggian head lebih kecil dari 3 m, namun demikian berpotensi menghasilkan energi listrik (Zhou, D dkk, 2017; Yah, N. F. dkk, 2017).

### 3.6. Daya dan Energi Tahunan yang Dihasilkan

Untuk Desain I, dengan debit desain ( $Q_r$ ) sebesar  $0,1917 \text{ m}^3/\text{det}$  dan tinggi efektif ( $H_{\text{eff}}$ ) sebesar 1,77 m, dihasilkan daya listrik sebesar 1,7662 kW dan energi tahunan sebesar 15472 kWh. Pemilihan jenis turbin menggunakan aplikasi dari situs [hpp-design.com](http://hpp-design.com) dan mendapatkan rekomendasi berupa turbin francis dengan spesifikasi sebagai berikut (Yildiz, 2021; Tamer Nabil, Tamer M. Mansour, 2022):

Kecepatan turbin	= 167 rpm,
Jumlah sudu	= 13
Diameter outlet	= 503,09 mm,
Tinggi pemandu baling-baling	= 94 mm,
DOI	= 520,24 mm,
Efisiensi turbin maksimum ( $\eta_t$ )	= 71,1%,
Daya turbin maksimum	= 2 kW,
Debit minimum	= 0,02 $\text{m}^3/\text{s}$ ,
Frekuensi generator	= 50 Hz,
Efisiensi generator maksimum ( $\eta_g$ )	= 74,57%,
Efisiensi pipa cepat ( $\eta_p$ ) (asumsi)	= 100%.



Gambar 6. Sketsa Turbin Francis

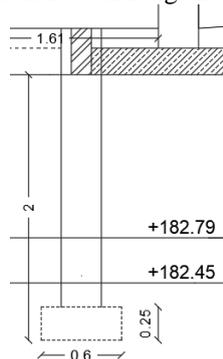
Untuk Desain II, dengan debit rencana ( $Q_r$ ) sebesar  $0,02 \text{ m}^3/\text{det}$  dan tinggi efektif ( $H_{\text{eff}}$ ) sebesar  $2,0699 \text{ m}$ , dihasilkan daya listrik sebesar  $0,2762 \text{ kW}$  dan energi tahunan sebesar  $2419,13 \text{ kWh}$ . Terdapat turbin Kaplan dengan spesifikasi sebagai berikut :

Kepala	= 2m,
Daya	= 2 kW,
Debit	= $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
Kecepatan	= 1000rpm,
Frekuensi	= 50Hz,
Efisiensi pipa cepat ( $\eta_p$ ) (asumsi)	= 100%,
Efisiensi turbin ( $\eta_t$ ) (asumsi)	= 80%,
Efisiensi generator ( $\eta_g$ ) (asumsi)	= 85%.

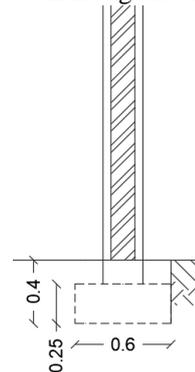
### 3.7. Fondasi

Desain I dan Desain II memiliki desain rumah turbin masing-masing dengan dimensi yang berbeda, sehingga memiliki beban bangunan yang berbeda. Rumah turbin untuk Desain I dengan panjang  $4,5 \text{ m}$  dan lebar  $4 \text{ m}$  memiliki beban bangunan  $15300 \text{ kg/m}^2$  untuk satu kolom, berbeda dengan Desain II dengan panjang  $4 \text{ m}$  dan lebar  $2,35 \text{ m}$  yang memiliki beban bangunan sebesar  $8491,11 \text{ kg/m}^2$  untuk satu kolom.

Peletakan fondasi untuk kedua desain juga berbeda, untuk Desain I fondasi terletak di hilir alur sungai karena rumah turbin juga terletak di atas saluran hilir, sehingga pondasi lebih dalam dari Desain II. Rumah turbin untuk Desain II terletak di sebelah kanan saluran hilir, sehingga pondasi memiliki kedalaman yang lebih dangkal dari Desain I. Kedua pondasi untuk rumah turbin direncanakan menggunakan fondasi footplate dengan lebar  $0,6 \text{ m}$  dan ketinggian  $0,25 \text{ m}$ , tetapi dengan kedalaman yang berbeda, yaitu kedalaman  $2 \text{ m}$  untuk Desain I dan  $0,4 \text{ m}$  untuk Desain II. Detail pondasi untuk Desain I digambarkan pada gambar 7 dan untuk Desain II digambarkan pada gambar 8.



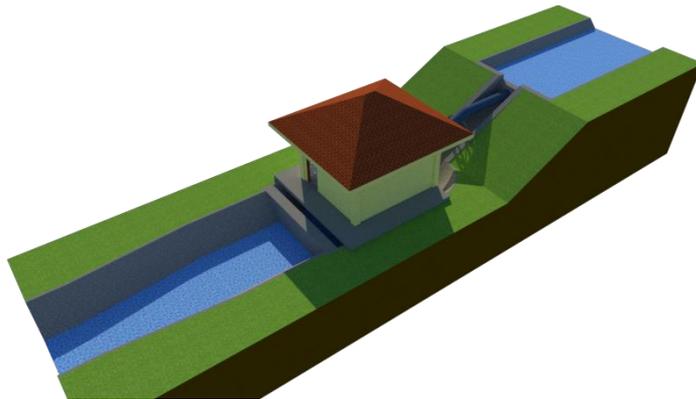
Gambar 7. Detail Fondasi untuk Desain I



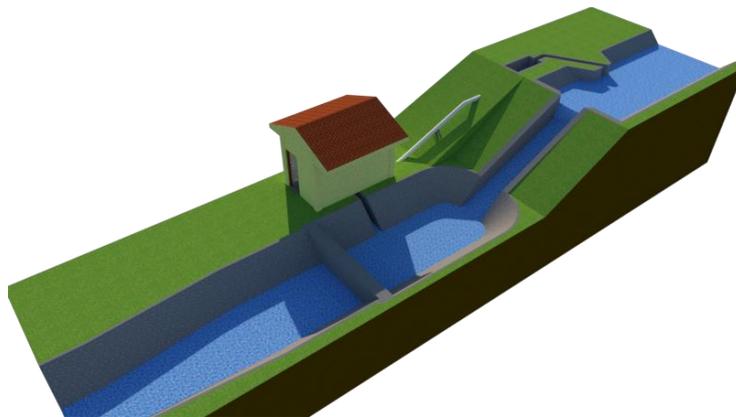
Gambar 8. Detail Fondasi untuk Desain II

### 3.8. Hasil Penggambaran 3D

Gambar 3D menggunakan *Sketchup* dan dirender menggunakan software tambahan *Vray*. Hasil gambar 3D ini digunakan sebagai referensi dan untuk memudahkan pembaca dalam memahaminya. Penggambaran secara 3D untuk Desain I dan Desain II ditunjukkan pada Gambar 9. dan Gambar 10.



Gambar 9. Hasil Render 3D untuk Desain I



Gambar 10. Hasil Render 3D untuk Desain II

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil observasi dan investigasi yang dilakukan di lokasi tersebut, diputuskan bahwa lokasi tersebut sangat memungkinkan untuk diadakannya PLTPH. Dengan adanya PLTPH di daerah tersebut, masyarakat sekitar akan mendapatkan dampak positif yang juga dapat mendorong perekonomian di daerah tersebut. Oleh karena itu, dari hasil penyelidikan diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan tinggi jatuh efektif didapatkan tinggi jatuh efektif untuk Desain I adalah 1,77 m dan tinggi jatuh efektif untuk Desain II adalah 2,0699 m.
2. Pada Desain I yang menggunakan turbin francis dengan debit  $0,1917 \text{ m}^3/\text{det}$  menghasilkan daya sebesar 1,7662 kW atau setara dengan 35 dari 50 Watt lampu dan menghasilkan energi tahunan sebesar 15472 kWh, sedangkan Desain II yang menggunakan Turbin Kaplan dengan debit  $0,02 \text{ m}^3/\text{det}$  menghasilkan daya sebesar 0,2762 kW atau setara dengan 5 buah lampu 50 Watt dan menghasilkan energi tahunan sebesar 2419,13 kWh.
3. Dengan mengambil faktor keamanan 3, daya dukung tanah aman ( $q_a$ ) adalah  $23189,23 \text{ kg/m}^2$  untuk Desain I dan  $19441,1155 \text{ kg/m}^2$  untuk Desain II. Dari hasil perhitungan diketahui bahwa total beban bangunan untuk 1 kolom yang disambung oleh pondasi ( $P_p$ ) adalah  $15300 \text{ kg/m}^2$  untuk Desain I dan  $8491,11 \text{ kg/m}^2$  untuk Desain II, sehingga desain pondasi yang telah dirancang dapat dikatakan aman dengan perbandingan  $q_a > P_p$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, Y., Juwono, P. T., & Wicaksono, P. H. (2015). *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) di Sungai Juju Desa Muwun Kabupaten Murung Raya Provinsi Kalimantan Tengah* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Chairullah, B. (2016). Analisa Daya Dukung Pondasi dengan Metoda SPT, CPT, dan Meyerhof pada Lokasi Rencana Konstruksi PLTU Nagan Raya Provinsi Aceh. *TERAS JURNAL-Jurnal Teknik Sipil*, 3(1).

- Gokhale, P., Date, A., Akbarzadeh, A., Bismantolo, P., Suryono, A. F., Mainil, A. K., & Nuramal, A. (2017). A Review on Micro Hydropower in Indonesia. *Energy Procedia*, 110, 316-321. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.146>
- Hashiddiqi, R., Marsudi, S., & Suhartanto, E. (2014). *Studi Kelayakan Pemasangan PLTPH di Saluran Irigasi Lodagung pada Bendungan Wlingi Blitar* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Mantiri, H. E., Rumbayan, M., & Mangindaan, G. M. C. (2018). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Listrik Minihidro Sungai Moayat Desa Kobo Kecil Kota Kotamobagu. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 7(3), 227-238.
- Maria Jessica Permatasari, 2021. Kelayakan Hidrologi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Kasus: Saluran Ngentep, Kabupaten Magetan). Skripsi. Universitas Sebelas Maret
- Rakhmawati, T., Hadiani, R. Rr., & Solichin, S. (2016). Optimasi Diameter Pipa Pesat Pada Model Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTPH). *Matriks Teknik Sipil*, 4(3).
- Tamer Nabil, Tamer M. Nasour, 2022. Power Extraction from Pico Hydro Turbines Installed in Water Pipeline. *Journal of Energy Engineering*, Volume 148, issue 2.
- Wibowo, N. A., Dermawan, V., & Harisuseno, D. (2013). Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) Wamena di kabupaten Jayawijaya Provinsi Papua. *Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya*.
- Yah, N. F., Oumer, A. N., & Idris, M. S. (2017). Small scale hydro-power as a source of renewable energy in Malaysia: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 228-239. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.068>
- Yildiz, V., & Vrugt, J. A. (2019). A toolbox for the optimal design of run-of-river hydropower plants. *Environmental Modelling & Software*, 111, 134-152. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.08.018>
- Zhou, D., & Deng, Z. (. (2017). Ultra-low-head hydroelectric technology: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.086>