JIUBJ Jurnal Ilmiah
Universitas Batanghari Jambi
Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi 23, 1 (2023): 1056-1061
DOI: 10.33087/jiubj.v23i1.2525
http://ji.unbari.ac.id/index.php/ilmiah

Meningkatkan Nilai Tambah Jaringan Irigasi dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Studi Kasus – Ji Kedung Kandang)

Suwignyo, Khoirin Nissa, Azhar Adi Darmawan
Civil Engineering of Muhammadiyah Malang University
Correspondence email: suwignyodjuwari@gmail.com; khoirinnissa26@gmail.com; azharadidfts@umm.ac.id

Abstrak. Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di jaringan irigasi memiliki potensi besar untuk menyumbang pengadaan energi listrik nasional. Meskipun demikian, pembangunan PLTMH di jaringan irigasi masih terkendala karena desain perletakan bangunan sipil yang terbatas oleh lahan. Padahal, pengadaan energi listrik di jaringan irigasi dapat membantu ketersediaan cadangan sumber energi listrik berbasis Energi Baru Terbarukan (EBT) yang juga dapat berperan dalam penurunani emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Berdasarkan kajian di saluran irigasi induk Kedung Kandang yang memiliki tinggi jatuh mencapai 11 m dengan debit 3,5 m3/detik, daya pembangkit yang bisa dihasilkan mencapai 275 kW. Desain saluran pembawa dan kolam penampung direncanakan di tubuh saluran. Dimensi kolam penampung direncanakan memiliki kedalaman air (h) = 3,2 m, lebar 2,5 m, dan panjang 10 m. Berdasarkan kajian penentuan jenis turbin, komponen yang digunakan adalah dua turbin propeller tipe H-Shaft dengan diameter 0,603 m yang masing – masing memiliki kapasitas 137,5 kW. Penggunaan dua turbin membutuhkan desain rumah pembangkit seluas 4,5 x 6,5 m. Hasil potensi PLTMH di saluran irigasi induk Kedung Kandang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik SMK Muhammadiyah 7 dan Pondok Pesantren Muhammadiyah Gondanglegi sekaligus sebagai laboratorium lapangan terpadu antara SMK Muhammadiyah 7 bersama Universitas Muhammadiyah Malang. Dengan memanfaatkan sumber listrik yang berbasis EBT tersebut, diperkirakan mampu mereduksi gas emisi karbon dari penggunaan energi fosil dan batu bara.

Kata kunci : emisi; irigasi; mikrohidro; propeller; reduksi

Abstract. *The development of Micro Hydro Power Plants (PLTMH) in irrigation networks has great potential to contribute to the national electricity supply. However, the construction of the PLTMH in the irrigation network is still constrained due to the design of the placement of civil buildings which are limited by land. In fact, the procurement of electrical energy in the irrigation network can help provide backup sources of electrical energy based on New and Renewable Energy (EBT) which can also play a role in reducing Greenhouse Gas (GHG) emissions. Based on a study in the main irrigation canal of Kedung Kandang which has a fall height of 11 m with a flow of 3.5 m3/second, the generating power that can be generated reaches 275 kW. Conveyor channel design and reservoir ponds are planned in the channel body. The dimensions of the reservoir are planned to have a water depth (h) = 3.2 m, a width of 2.5 m, and a length of 10 m. Based on the study of determining the type of turbine, the components used are two propeller turbines of the H-Shaft type with a diameter of 0.603 m, each with a capacity of 137.5 kW. The use of two turbines requires a power house design measuring 4.5 x 6.5 m. The potential results of PLTMH in the Kedung Kandang main irrigation canal can be utilized to meet the electrical energy needs of SMK Muhammadiyah 7 and Pondok Pesantren Muhammadiyah Gondanglegi as well as an integrated field laboratory between SMK Muhammadiyah 7 and University of Muhammadiyah Malang. By utilizing NRE-based electricity sources, it is estimated that it will be able to reduce carbon emissions from the use of fossil energy and coal.*

Keywords**:** *Emissions; Irrigation; Micro hydro; Propeller; Reduction.*

PENDAHULUAN

Pembangunan dan rehabilitasi jaringan irigasi di Indonesia bertujuan untuk meningkatkan efisiensi ketersediaan dan penggunaan sumber daya air nasional agar mendukung Impian Indonesia 2015 – 2085, salah satunya adalah Indonesia menjadi pusat pendidikan, teknologi, dan peradaban dunia. Pengembangan teknologi pada infrastuktur di jaringan irigasi dengan potensi air yang dimiliki telah menghasilkan energi listrik dari pembangunan PLTA di beberapa bendungan dengan total daya 297,7 MW (Dirjen SDA. 2020). Di sisi lain, dengan kajian dari potensi

bangunan terjun di jaringan irigasi, pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dapat mencapai 26,0498 MW untuk wilayah sungai Serayu-Opak (Pranoto et al., 2018).

Jaringan irigasi nasional memiliki luas 9,136 juta hektar dengan presentase jaringan irigasi permukaan sebesar 78% atau seluas 7,145 juta hektar (PPPSI, 2018). Dari luasan yang tersedia, peranan irigasi bisa dioptimalkan untuk efisiensi sumber daya air dalam bentuk PLTMH di beberapa bangunan terjun yang potensial. Tahun 2005 telah berhasil dibangun PLTMH Melong kapasitas 100 kW yang memanfaatkan bangunan terjun di jaringan irigasi Curug Agung di Kabupaten Subang. Pada bulan April 2008, juga telah dibangun PLTMH Sengkaling 1 berkapasitas 100 kW di Kampus Universitas Muhammdiyah Malang (UMM) yang merupakan hasil kerjasama UMM dengan Badan Penelitian dan Pengembangan (Balitbang) Departemen ESDM RI (Suwignyo, 2007).

Kabupaten Malang memiliki jaringan irigasi Kedung Kandang dengan titik potensial di 22 bangunan terjun dan 6 bangunan sadap yang memiliki tinggi jatuh hidrolik rata – rata 2,0 – 3,5 m dengan debit yang terukur berkisar 500 – 600 liter/detik. Berdasarkan dari data tersebut, jaringan irigasi Kedung Kandang dapat memiliki potensi daya terbangkit ± 1 Mwatt (Suwignyo, 2007). Kajian potensi mikro hidro di daerah irigasi sudah banyak dilakukan, namun penerapan teknologi tersebut masih terkendala dengan penentuan siteplan bangunan sipil yang terbatas oleh ketersediaan lahan (Azhar Adi Darmawan et al., 2021a). Disisi lain, Indonesia membutuhkan kesiapan cadangan energi sebagai solusi atas penurunan ketersediaan sumber energi batu bara dan fosil. Tidak hanya itu, berdasarkan komitmen pada "Paris Agreement", Indonesia memiliki tanggungjawab Internasional untuk mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang dapat diatasi dengan salah satunya adalah penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT) pada sektor - sektor kecil seperti PLTMH di jaringan irigasi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menunjukan manfaat dari pengembangan desain PLTMH di jaringan irigasi untuk menyuplai kebutuhan energi listrik dengan infrastruktur yang mudah dioperasikan dan dipelihara oleh masyarakat yang juga dapat berperan terhadap pengurangan produksi emisi gas. Metode yang digunakan dalam pengumpulan data berupa survei secara langsung tinggi jatuh dan debit air di saluran irigasi, wawancara, dan menghitung secara analisis potensi daya untuk dikonversikan terhadap nilai penurunan emisi GRK.

METODE

Rencana pengembangan PLTMH terletak di Dusun Putat Kidul, Kecamatan Gondanglegi Kabupaten Malang, tepatnya di Saluran Irigasi Induk Kedung Kandang Bangunan Got Miring. Lokasi PLTMH terletak di pinggir jalan Hayam Wuruk, sekitar 8,6 km dari Pabrik Gula Krebet – Malang. Tahap penelitian dimulai dari survei secara langsung untuk pengumpulan data tinggi jatuh dan debit air saluran irigasi. Data yang diperoleh kemudian dikaji untuk mendapatkan tinggi jatuh yang efektif dalam perhitungan potensi daya terbangkit. Daya terbangkit dijadikan acuan untuk mendesain jenis turbin yang akan digunakan sebagai bahan pertimbangan terhadap perencanaan siteplan bangunan sipil. Selanjutnya berdasarkan pertimbangan kebutuhan masyarakat sekitar, maka dapat dikaji proyeksi PLTMH di jaringan irigasi (Darmawan et al., 2021b).

Pengumpulan data tinggi jatuh dan debit air saluran irigasi

Metode pengumpulan data dilakukan secara langsung di titik potensial bangunan terjun atau sadap dan juga hasil wawancara warga setempat tentang kondisi air, fungsi saluran irigasi terkini, dan jam operasional. Data teknis berupa tinggi jatuh diperoleh dari pengukuran beda tinggi elevasi muka air di hulu dan di hilir bangunan terjun atau sadap, sedangkan debit pada saluran irigasi diperoleh dari pengukuran kecepatan aliran menggunakan flow meter dan luasan penampang saluran. Besarnya debit yang terukur dapat dirumuskan sebagai berikut: $Q = A \times V$

Keterangan: Q = debit air (m^3/detik), A = luasan penampang (m^2), V = kecepatan rata – rata aliran (m/detik).

Perhitungan potensi daya terbangkit

Setelah mendapatkan data tinggi jatuh dan debit air, daya terbangkit pada awalnya dihitung menggunakan tinggi jatuh kotor (H_{gross}) untuk menentukan tipe turbin yang akan digunakan. Tinggi jatuh kotor adalah hasil pengukuran tinggi jatuh tanpa mempertimbangkan kehilangan energi akibat beberapa kondisi. Berdasarkan pemilihan jenis turbin, efisiensi sistem akan dipengaruhi oleh penggunaan jenis turbin implus atau reaksi. Turbin implus untuk

head rendah (*crosslfow*) memiliki efisiensi maksimum 80%, sedangkan pada turbin reaksi (propeller) memiliki efisiensi mencapai 90% (Ramos, 2020). Selain penggunaan jenis turbin, daya terbangkit sesungguhnya akan diperoleh dari penggunaan tinggi jatuh efektif dan efisiensi generator (IMIDAP, 2019a). Oleh sebab itu, perhitungan daya terbangkit dapat dirumuskan sebagai berikut: $P = Q \cdot H_{eff} \cdot \eta t \cdot \eta g \cdot g \cdot \rho$
Keterangan: P = Daya terbangkit (kW), Heff = tinggi jatuh efektif, ηt = efisiensi turbin (%), ηg = efisiensi generator (%), g = percepatan gravitasi (9,81 m/s^2), ρ = massa jenis air (ton/m^3)

Perencanaan siteplan bangunan sipil

Bangunan sipil PLTMH terdiri dari minimal saluran pembawa (*headrace*) kolam penampung (*forebay*), pipa pesat (*penstock*), rumah pembangkit (*power house*), dan saluran pembuang (*tailrace*) (IMIDAP, 2009b). Analisis tata letak bangunan sipil mempertimbangkan ketersediaan lahan untuk rumah pembangkit, posisi kolam penampung, dan panjangnya pipa pesat. Bangunan tersebut didesain dengan mengeksploitasi jaringan irigasi tanpa merubah fungsi saluran.

Proyeksi PLTMH di jaringan irigasi

Setelah desain pembangkit direncanakan, pemanfaantan daya pembangkit dari PLTMH yang dibangun ditentukan berdasarkan hasil assesment dan analisis kebutuhan prioritas masyarakat sekitar yang diperoleh dari diskusi yang dilakukan dengan warga/pihak pengelola saluran irigasi. Prioritas pemanfaatan daya untuk kebutuhan masyarakat dinilai dengan kapasitas pembangkit yang bisa mencukupi penggunaan energi listrik yang produktif di masyarakat. Peralihan konsumsi energi listrik yang bersumber dari EBT akan dikonversikan terhadap nilai penggunaan listrik yang didapatkan dari PT. PLN Indonesia dan membandingkanya dengan sumber energi fosil dan batu bara. Nilai penurunan gas emisi karbon juga akan didapatkan dari besarnya dampak produksi gas akibat peralihan pemanfaatan sumber bahan bakar fosil dan batu bara ke EBT.

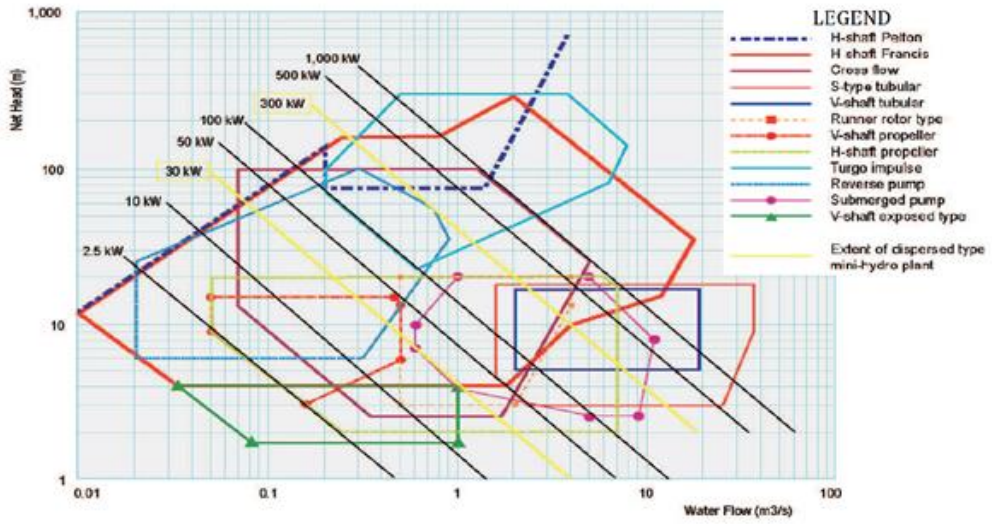
HASIL

Berdasarkan hasil identifikasi awal & observasi lapangan yang telah dilakukan, potensi sumber daya air di jaringan irigasi Kedung Kandang memiliki tinggih jatuh (H_{gross}) = 11 m dengan debit (Q) 3,5 m^3/detik. Hasil analisa pengukuran debit disajikan dalam tabel berikut ini.

Tabel 1
Hasil Analisa Pengukuran Debit Saluran Irigasi Induk Kedung Kandang Bangunan Got Miring

Tanggal Pengukuran	Saluran	Titik	H air (m)	Luas Penampang (m^2)	V aliran rata - rata (m/s)	Debit (m^3/detik)
11 Juni 2021	Induk Kedung Kandang	Got Miring	0,38	2,014	1,75	3,525

Sumber: data olahan



Sumber: IMIDAP, 2019

Gambar 1
Grafik Pemilihan Tipe Turbin

Gambar 1 turbin yang digunakan adalah tipe H-shaft propeller (poros horisontal) dengan efisiensi maksimum 90%. Apabila efisiensi generator dianggap mencapi 90% dan tinggi jatuh efektif diperoleh setinggi 9,9 m karena kehilangan energi akibat pipa pesat dan faktor lain direncanakan maksimal 11%, maka perhitungan daya terbangkit: P = 3,5 x 9,9 x 90% x 90% x 9,81 x 1 = 275,00 kW

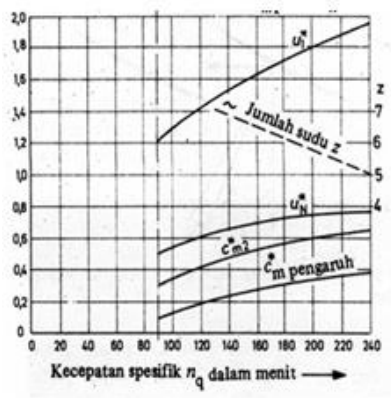
Daya 275, kW didesain untuk diproduksi oleh dua turbin dengan kapasitas masing – masing 137,5 kW. Desain diameter turbin propeller dapat dihitung melalui persamaan berikut ini:

Diameter luar turbin, $D_1 = \frac{60\ x\ u1*.\sqrt{(2.g.H_{eff})}}{n\ x\ \pi}$

dan kecepatan spesifik, $Nq = n\ \sqrt{\frac{Q'}{H_{eff}^{1,5}}}$

Keterangan : D_1 = diameter turbin (m), u1* = koefisien debit yang mengalir, g = 9,81 m/detik^2, H_{eff} = 9,9 m, n = jumlah putaran roda yang direncanakan (rpm), π = 3,14, Q' = debit air yang mengalir pada turbin (m^3/detik).

Apabila jumlah putaran roda (n) direncanakan 750 rpm dan berdasarkan grafik hubungan koefisien debit dan kecepatan spesifik dibawah ini, dapat diperoleh desain turbin propeller.



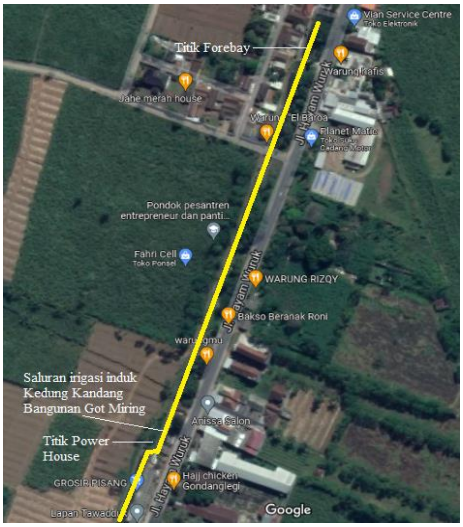
Sumber: Turbin, Pompa, dan Kompresor, 1980

Gambar 2
Grafik koefisien kecepatan aliran

$Nq = \mathbf{N}\ \sqrt{\frac{Q}{H^{1,5}}} = 750\ x\ \sqrt{\frac{1,75}{9,9^{1,5}}} = 177,76$ m/detik

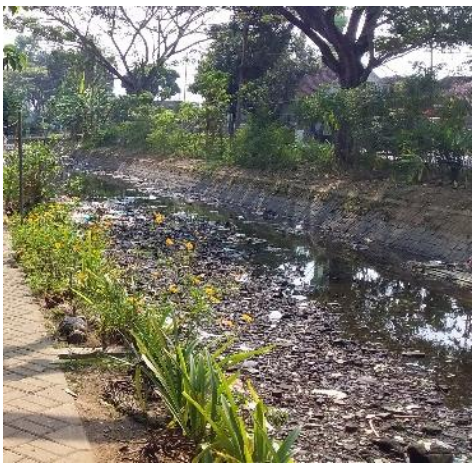
$D_1 = \frac{60\ x\ 1,7*.\sqrt{(2.9,81.9,9)}}{750\ x\ 3,14} = 0,603$ m

Hasil identifikasi awal & observasi lapangan juga menghasilkan pemetaan kondisi di sekitar saluran irigasi. Titik potensi dari saluran irigasi yang ditinjau memiliki cukup ruang untuk rumah pembangkit sejauh 23 meter dari kolam penampung yang direncanakan di badan saluran irigasi itu sendiri. Berdasarkan hasil survei titik forebay dan rumah pembangkit dapat dilihat berikut ini :



Sumber: Google-Map, 2021

Gambar 3
Titik potensial saluran irigasi induk Kedung Kandang



Sumber: data olahan

Gambar 4
Titik letak kolam penampung (forebay)



Sumber: data olahan

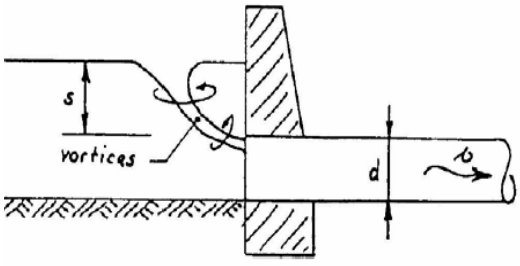
Gambar 5
Titik letak rumah pembangkit (power house)

Salah satu keuntungan desain PLTMH di saluran irigasi adalah dapat meminimalisir pembangunan bangunan sipil. Pada saluran irigasi yang memiliki karakteristik saluran seperti saluran pembawa, maka dalam pengadaan infrastruktur sipil tidak perlu adanya saluran pembawa. Selain itu, debit air yang terjamin memiliki fluktuasi rendah dapat mempertahankan elevasi muka air rencana sehingga tidak diperlukan adanya bangunan peninggi muka air di bagian hulu. Hal ini tentu akan berdampak terhadap biaya pembangunan dan nilai produktivitas PLTMH saluran irigasi dengan PLTMH non saluran irigasi. Bangunan forebay dapat direncanakan ditubuh saluran irigasi. Ruas saluran irigasi yang memiliki titik potensial PLTMH memiliki dimensi lebar saluran 4,3 m kedalaman air 0,38 m, dan luas penampang saluran 2 m. Kebutuhan dimensi forebay ditentukan supaya menjaga tinggi permukaan air tetap stabil. Sehingga, besarnya tinggi jatuh secara konsisten dapat terjaga. Oleh karena itu dimensi forebay yang diperlukan dapat dihitung sebagai berikut : volume tampungan, Vf adalah 20 sampai dengan 30 kali debit pembangkit (Q = 3,5 m^3/detik).

Vf = 20 x 3,5 = 70 m^3

Kedalaman air di forebay direncanakan memiliki tinggi muka air yang cukup untuk mencegah terjadinya kavitasi akibat inlet pipa. Berdasarkan kebutuhan kedalaman penstock dari muka air, perencanaan tampungan forebay dapat dihitung dalam tahap berikut ini:

Analisa kedalaman penstock, S $\geq$ 0,7 x v x $\sqrt{d}$, v = kecepatan aliran (m/detik), d = diameter penstock (m).



Sumber: data olahan

Gambar 6
Titik letak rumah pembangkit (power house)

Apabila diameter penstock direncanakan d = 1,5 m dan A merupakan luas penampang pipa, maka kedalaman penstock :

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{3,5}{\frac{1}{4} x\ 3,14\ x\ 1,5^2} = \frac{3,5}{1,77} = 1,98 \text{ m}$$

S = 0,7 x 1,98 x $\sqrt{1,5}$ = 1,70 m

Sehingga, kedalaman air di forebay dapat ditentukan h = S + d = 1,7 + 1,5 = 3,2 m.

Dimensi kolam :

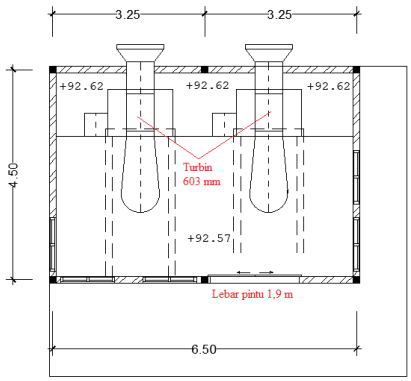
Vf = 70 m^3

= Panjang x Lebar x h

70 = 3,2 (Panjang x Lebar)

(Panjang x Lebar) = 21,875 m^2, dapat direncanakan panjang (L) = 10 m dan lebar (B) = 2,5 m (B harus lebih kecil atau sama dengan dari lebar saluran irigasi).

Selanjutnya perencanaan rumah pembangkit, kelayakan teknis bangunan menurut IMIDAP (2019a), setidaknya *power house* memiliki cukup ruang untuk pergerakan operator turbin ketika akan melakukan pengecekan, pengoperasian, dan pemeliharaan perangkat. Desain ruangan juga harus memiliki pintu akses yang lebar untuk memudahkan mobilisasi dalam pemasangan turbin. Berdasarkan kebutuhan ruang untuk dua turbin dengan dimensi D_1 = 0,603 m, maka power house dapat direncanakan dengan luasan 6,5 x 4,5 meter persegi.



Sumber: data olahan

Titik perencanaan *forebay* hingga ke titik perencanaan rumah pembangkit tidak terdapat bangunan pengambilan atau sadap. Sehingga, apabila keseluruhan debit air difungsikan sebagai energi pembangkit, maka dapat dipastikan tidak akan mengganggu fungsi saluran irigasi. Salah satu keuntungan lain desain PLTMH disaluran irigasi adalah pemanfataan energi listrik yang dapat langsung menjangkau kebutuhan masyarakat sekitar dan pengoperasian dan pemeliharaan infrastuktur dapat beriringan dengan pemeliharaan bangunan irigasi. Oleh sebab itu, pemanfaatan saluran irigasi yang berpotensial akan lebih meningkatkan jumlah konsumsi listrik di masyarakat sekitarnya.

Proyeksi PLTMH

Hasil wawancara dari masyarakat sekitar, PLTMH di saluran irigasi Kedung Kandang dapat dimanfaatkan sebagai penyedia sumber energi listrik berbasis EBT untuk SMK Muhammadiyah 7 Gondanglegi. Pemanfaatan lain juga dapat didistribusikan untuk menyuplai kebutuhan energi listrik Pondok Pesantren Muhammadiyah yang berlokasi sekitar 300 meter dari titik lokasi rumah pembangkit. Dalam penerapan lebih jauh, keberadaan PLTMH di saluran irigasi ini juga dapat menjadi Laboratorium Lapangan Terpadu untuk SMK Muhammadiyah 7 dan Universitas Muhammadiyah Malang.

SIMPULAN

Saluran irigasi memiliki potensi untuk digunakan sebagai sarana pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH). Potensi saluran irigasi dengan tinggi jatuh 9,9 m dan debit air 3,5 m3/detik dapat menghasilkan daya pembangkit, P = 275 kW yang diproduksi oleh dua turbin berkapasitas masing – masing 137,5 kW. Perencanaan bangunan sipil PLTMH di saluran irigasi berupa perencanaan kolam penampung (*forebay*), pipa pesat (*penstock*), dan rumah pembangkit (*power house*).

Forebay direncanakan ditubuh saluran irigasi. Dimensi forebay direncanakan L = 10 m, B = 2,5 m, dan h = 3,2 m. Sedangkan power house ditempatkan di hilir saluran sejauh 25 meter, memiliki desain ruang yang dapat menampung dua turbin berdiameter 603 mm dengan luasan yang direncanakan 6,5 m x 4,5 m menghadap ke sisi selatan.

DAFTAR PUSTAKA

Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. 2020. *Rencana Strategis 2020-2024*, Direktoreat Sumber Daya Air.

Dietzel, Fritz. 1980. *Turbinen, Pumpen*, Und Verdichter. Wurzburg: Vogel – Verlag.

Darmawan, A. A., Suhardjono, Bisri, M., & Suhartanto, E. 2021a. Assessment of spatial changes of LULC dynamics, using multi temporal landsat data (case study: Lesti Sub Watershed, Malang Regency, Indonesia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *930*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012075

Darmawan, Azhar Adi, Saleh, C., Setyono, E., & Amal, A. S. 2021b. Analisa Model Struktur Geologi Untuk Menduga Air Tanah Dengan Menggunakan Metode Geolistrik. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, *21*(1), 289. https://doi.org/10.33087/jiubj.v21i1.1261

IMIDAP. 2009a. *Pedoman Studi Kelayakan Sipil*. Jakarta: Dirjen Esdm.

IMIDAP. 2009b. *Pedoman Studi Kelayakan Mekanikal dan Elektrikal*. Jakarta: Dirjen ESDM

IMIDAP, I. M. D. and A. P. 2009c. Pedoman Studi Kelayakan PLTMH. *ESDM, Kementerian*, 2nd ed., 1–23. Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.

Pranoto, B., Aini, S. N., Soekarno, H., Zukhrufiyati, A., Al Rasyid, H., & Lestari, S. 2018. Potensi Energi Mikrohidro di Daerah Irigasi (Studi Kasus di Wilayah Sungai Serayu Opak). *Jurnal Irigasi*, *12*(2), 77. https://doi.org/10.31028/ji.v12.i2.77-86

Ramos, Helena., dkk. 2000. *Guidelines Of Design Small Hydropower Plants*. Wrean Dan Ded

.