

RANCANG BANGUN SISTEM PEMANENAN ENERGI TERBARUKAN OFF-GRID MENGUNAKAN PANEL SURYA DAN PIKOHIDRO

Novan Akhiriyanto

Teknik Instrumentasi Kilang, PEM Akamigas
Email: novan.akhiriyanto@esdm.go.id

ABSTRAK

Kata kunci: off-grid, hybrid, pembangkit PV surya, picohydro, ketinggian air

Sistem irigasi di beberapa lahan pertanian Kabupaten Blora sudah memiliki sumur air dengan menggunakan pompa air di tengah lahan pertanian, sehingga membutuhkan listrik melalui jaringan listrik (PLN) yang disalurkan melalui kabel panjang dari warga terdekat. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan sistem energi off-grid di luar jaringan. Tujuan dari penelitian yang diusulkan adalah bagaimana merancang sistem pemanenan energi hybrid off-grid berbasis pembangkit solar PV dan pikohidro, khususnya kinerja pikohidro sebagai kompensasi energi yang dihasilkan dari energi potensial yang terakumulasi dalam penyimpanan air. alat pikohidro sehingga mampu menghasilkan energi aliran air dari outlet tangki air ke pengguna air tawar. Agar energi aliran air dapat secara optimal menggerakkan turbin kecil di pikohidro, parameter penting yang mempengaruhi tegangan yang dihasilkan oleh pikohidro adalah ketinggian air di dalam tangki. Tegangan tertinggi yang dihasilkan oleh picohydro pada sistem prototipe adalah 9,4 Volt. Secara umum prototipe telah selesai dan diimplementasikan, namun masih membutuhkan alat konverter DC-DC untuk pengisian daya dari pikohidro ke baterai 12V.

ABSTRACT

Keywords : off-grid, hybrid, solar PV generation, picohydro, water level

The irrigation system in several Blora Regency agricultural areas already has water wells using water pump in the middle of farming fields, so it requires electricity through the grid (PLN) which is distributed through long cables from closest residents. To solve this problem, it requires an off-grid energy system outside the grid. The objective of proposed research is how to design a hybrid off-grid energy harvesting system based on solar PV generation and picohydro, especially picohydro performance as compensating energy generated from potential energy accumulated in water storage. In this study, the aim is to utilize the picohydro device so that it is able to generate the energy of the water flow from the water tank outlet to fresh water users. So that the energy of water flow can optimally drive small turbines in picohydro, significant parameters that affect the voltage generated by picohydro are the water level in the tank. The highest voltage generated by picohydro in the system prototype is 9.4 Volts. In general, the prototype have been completed and implemented, but still requires DC-DC converter device for charging from picohydro to the battery in 12V.

PENDAHULUAN

Sebagian besar wilayah Kabupaten Blora adalah wilayah rawan kekeringan. Dengan menggunakan metode pengambilan sampel (teknik stratified random sampling), rawan kekeringan di Kabupaten Blora telah diteliti oleh memperoleh hasil bahwa rawan kekeringan untuk tingkat rendah seluas 15.922,67 Ha (20,58%), untuk tingkat sedang seluas 56.212,22 Ha (72,65%) dan untuk tingkat tinggi seluas 5.232,42 ha (6,76%) (Nuraini & Priyana, 2022).

Kecamatan Sambong memiliki tingkat rawan kekeringan sedang seluas 1.839,18 Ha dan tinggi seluas 694,87 Ha. Sedangkan untuk tingkat rawan kekeringan rendah tidak ada. Lahan persawahan Kecamatan Sambong didominasi oleh sawah tadah hujan seluas 982 Ha yang hanya mampu sekali panen tiap tahunnya (Badan Pusat Statistik Kabupaten Blora, Sep. 26, 2022). Secara khusus, Desa Temengeng terletak di wilayah barat Kecamatan Sambong berbatasan dengan Kecamatan Bogorejo. Desa ini memiliki tingkat rawan kekeringan tinggi pada sebagian kecil wilayahnya.

Sebenarnya Desa Temengeng memiliki beberapa sumur dari mata air (sendang) yang berada di dalam area persawahan. Sumur sendang ini biasanya digunakan oleh warga untuk irigasi lahan sawah tadah hujan saat musim kemarau. Selama ini, para warga memanfaatkan sumur sendang sebagai sumber air secara manual, karena memerlukan instalasi kabel yang panjang jika menggunakan pompa air yang dioperasikan dari jaringan PLN, mengingat lokasi sendang jauh dari rumah warga terdekat. Sehingga memerlukan sumber energi listrik off-grid agar dapat mengoperasikan pompa air di area sendang ini.

Pemanfaatan energi terbarukan berupa energi surya melalui sistem PLTS berbasis panel surya fotovoltaik telah banyak digunakan dalam mensuplai energi listrik dengan beban pompa air. PLTS digunakan sebagai energi listrik untuk beban pompa air dalam sistem irigasi pertanian pada lahan rawan kekeringan. Namun, saat ini teknologi sel PV yang digunakan dalam sistem PLTS berbasis PV monokristalin masih memiliki efisiensi sampai dengan 27,6% dalam tahap riset, sedangkan di pasaran pastinya lebih kecil dari itu (Smith et al., 2021). Agar dapat mengoptimalkan energi terbarukan yang berasal dari alam dengan kondisi alam yang telah dijelaskan di atas, maka dalam penelitian ini mengusulkan menambahkan perangkat pikohidro yang saat ini banyak dijual di pasaran, salah satunya yaitu mini-microhydro model F50-12V untuk dapat memanen energi berupa aliran air yang berasal dari keluaran (outlet) tandon penampung air.

Perangkat pikohidro F50-12V telah digunakan dalam penelitian sebagai pembangkit listrik skala mikro dengan fokus pada analisis variasi ketinggian tangki terbatas sampai 1,6 meter menghasilkan tegangan 8,97 Volt dan daya mencapai 61,52 Watt (Ariansyah & Sariman, 2021). Dengan adanya perangkat pikohidro ini maka memungkinkan energi listrik yang terpakai melalui pompa air untuk mengalirkan air dari sumur ke tangki diubah kembali menjadi energi listrik kemudian disimpan dalam baterai sehingga diharapkan efisiensi sistem semakin meningkat.

Penelitian mengenai perangkat pikohidro F50-12V ini telah dilakukan dalam studi investigasi kinerja pikohidro dengan melakukan identifikasi spesifikasi perangkat pikohidro terdiri dari parameter turbin, dimensi dan ukuran sudu-sudu. Untuk mencari daya listrik yang tersedia maka terlebih dahulu menetapkan perubahan tekanan (pressure drop) antara inlet dan outlet perangkat pikohidro. Kemudian perubahan tekanan ini dikalikan dengan debit aliran air yang mengalir pada turbin dalam pikohidro, sehingga didapatkan daya listrik tersedia. Daya ini

dibandingkan dengan daya listrik keluaran melalui perkalian antara arus dan tegangan keluaran yang dihasilkan sehingga menghasilkan efisiensi pikohidro (Tarkono & Ali, 2016).

Dari hasil percobaan investigasi kinerja ini didapatkan kesimpulan bahwa kecepatan putar turbin antara kondisi aktual dan teoritis memiliki nilai yang hampir sama. Laju aliran air yang berbanding lurus secara langsung dengan debit aliran air memiliki kontribusi yang signifikan, sehingga peningkatan laju aliran air memperbesar daya listrik keluaran yang dibangkitkan. Untuk menghasilkan tegangan keluaran perangkat pikohidro mencapai 12V maka dibutuhkan debit aliran air minimal sebesar 5,8 liter/min. Namun skema yang digunakan dalam percobaan ini masih belum mengintegrasikan dengan sistem pembangkitan energi terbarukan lainnya (hibrid). Percobaan ini hanya untuk mengetahui parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja keluaran perangkat pikohidro.

Dari uraian-uraian tersebut, ditemukan ide bagaimana memanfaatkan energi terbarukan secara optimal melalui suatu sistem pemanenan energi secara hibrid menggunakan PLTS dan pikohidro untuk diterapkan pada area persawahan agar memudahkan akses para warga mendapatkan air untuk irigasi persawahannya. Maka penelitian ini bertujuan untuk merancang suatu sistem energi terbarukan hibrid secara off-grid menggunakan PLTS dan pikohidro agar dapat memasok energi listrik yang digunakan untuk mengoperasikan pompa air di area persawahan tadah hujan yang memiliki sumur mata air (sendang) di dalamnya agar memudahkan akses warga mendapatkan air. Walaupun memiliki kapasitas kecil, namun dengan adanya pembangkit sekunder pikohidro ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi kinerja sistem untuk membangkitkan energi listrik dengan memanen energi potensial air skala kecil dalam tangki.

Kajian Pustaka

Sistem PLTS off-grid merupakan sistem PLTS berdiri sendiri (stand-alone) yang beroperasi tanpa terhubung dengan jaringan PLN [7], sehingga kebutuhan minimal untuk sistem PLTS ini terdiri dari modul surya, Solar Charge Controller (SCC), baterai dan peralatan proteksi listrik. Penentuan kapasitas minimal modul surya tergantung dari kapasitas beban yang akan disuplai dan berdasarkan data potensi iradiasi matahari per luasan per hari atau kWh/m²/day. Kapasitas minimal modul surya ini ditentukan oleh tegangan dan arus pada daya maksimumnya (V_{max} dan I_{max}) atau biasanya termuat dalam nameplate modul surya dengan istilah V_{mpp} dan I_{mpp} . Misalnya modul surya kapasitas 100 Wp, maka $V_{max} = 17,8$ V dan $I_{max} = 5,62$ A. Kapasitas daya maksimum modul surya diperoleh dari hasil perkalian V_{max} dan I_{max} sehingga $P_{max-PV} = 100,04$ W.

Pemilihan baterai secara praktis biasanya ditentukan oleh tegangan operasi sistem PLTS yang tergantung tegangan operasi SCC yang dipilih serta kapasitas nominal baterai itu sendiri dengan mengasumsikan Peak Sun Hour (PSH) secara umum terjadi selama 5 jam per harinya. Sedangkan penentuan SCC perlu memiliki spesifikasi tegangan dan arus masukan maksimum harus lebih besar 1,25 kali tegangan open circuit (VOC) dan arus short circuit (ISC) modul surya (Latasya et al., 2019).

Parameter penting lainnya terkait WPS adalah tekanan hidrostatik tangki penyimpanan yang tergantung pada ketinggian air dalam tangki penyimpanan. Tekanan hidrostatik akan menjadi lebih besar saat level air dalam tangki lebih tinggi, begitu juga sebaliknya. Sedangkan tekanan hidrodinamis akan selalu mengalami penurunan tekanan atau pressure drop (ΔP) yang biasanya

juga disebut headloss (hL). Secara praktis, untuk semua jenis aliran fluida laminar atau turbulen pada jenis pipa sirkular atau non sirkular dengan permukaan dalam yang halus atau kasar pada posisi horizontal atau miring, rugi-rugi mayor atau minor untuk penurunan tekanan (ΔP) dapat diperoleh melalui persamaan Darcy-Weisbach dengan tekanan dinamis dipengaruhi oleh massa jenis fluida dan kecepatan aliran, faktor gesekan Darcy, panjang pipa dan diameter pipa (Hayati et al., 2021).

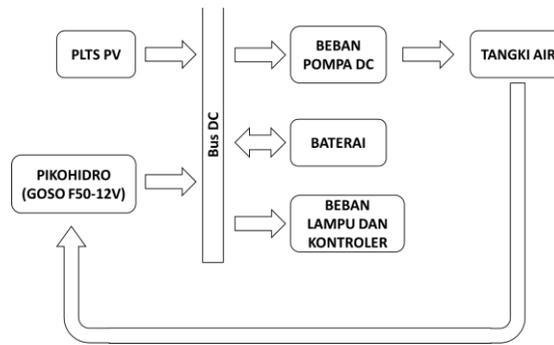
METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di lapangan sehingga menghasilkan purwarupa peralatan sistem. Penelitian berlokasi di Desa Temengeng, Kecamatan Sambong, Kabupaten Blora Jawa Tengah. Agar purwarupa peralatan dapat terwujud, maka konsep secara empiris perlu diterapkan dengan terlebih dahulu melakukan studi pustaka. Secara paralel juga melakukan survei lapangan di lokasi penelitian mulai dari jarak pembayangan pohon sekitar sumur sendang terhadap modul surya, menentukan titik koordinat untuk mendapatkan potensi iradiasi matahari melalui simulasi Homer dan mengukur ketinggian kedalaman sumur sendang. Kemudian melakukan perencanaan dan desain sistem serta merinci kebutuhan bahan dan alat utama sistem terdiri dari modul surya, tangki air, konstruksi menara penyangga tangki sesuai desain, baterai, SCC, perpipaan dan perangkat pikohidro. Pengumpulan data kebutuhan air dilakukan secara kualitatif berupa wawancara dengan para warga yang menggarap lahan persawahan sekitar sumur sendang beserta Kepala Desa dan Pejabat Perangkat Desa yang menangani pengairan di sekitar sumur sendang tersebut.

Pemodelan Sistem

Sistem yang diterapkan dalam penelitian menggunakan konfigurasi penyambungan sistem DC (DC coupling) agar mampu mengoptimalkan efisiensi sistem dengan meminimalisir penggunaan perangkat konverter daya (Sihite et al., 2012). Aliran energi dari sumber utama PLTS kemudian diserap oleh pompa DC kemudian disimpan di tangki air sebagai water pumped storage (WPS) sehingga energi potensial air tersimpan dalam tangki dapat diubah kembali menjadi energi listrik melalui pikohidro saat air mengalir digunakan oleh para warga.

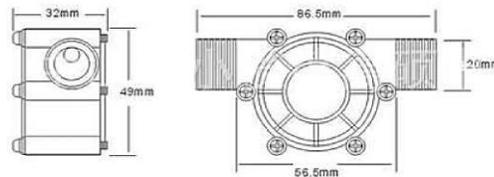
Dalam hal ini, konsep pemanenan energi dari iradiasi matahari dan energi potensial WPS diusulkan, walaupun untuk saat ini, pikohidro hanya mampu membangkitkan energi listrik maksimal sebesar 10 W per unit. Untuk memperbesar peluang pembangkitan daya oleh pikohidro, maka pikohidro dipasang 3 unit dengan percabangan tee. Model perancangan sistem ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 1. Model Rancang Bangun Sistem

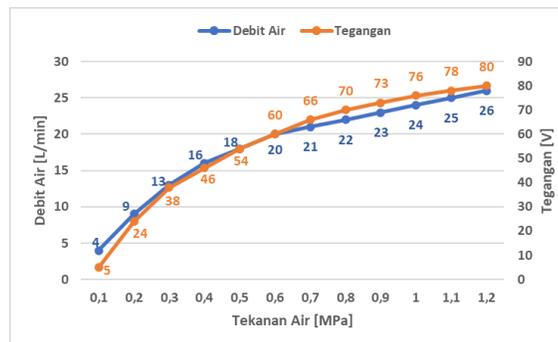
Perangkat PikoHidro yang Digunakan

Generator pikoHidro F50-12V yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi tegangan keluaran DC maksimal 12 V, arus listrik $\geq 200\text{mA}$ dan mampu membangkitkan daya maksimal 10 W. Dimensi fisik generator pikoHidro ini memiliki diameter outlet dan inlet luar 20 mm, diameter turbin sekitar 49 mm dan lebar turbin sekitar 32 mm, seperti ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 2. Dimensi Fisik PikoHidro F50-12V (Shenzhen Global Technology Co., Ltd)

PikoHidro yang sejenis dengan F50-12V banyak tersedia di pasaran. Jenis F50 memiliki varian spesifikasi tegangan 5 V, 12 V dan 80 V. Pertimbangan menggunakan F50-12V karena disesuaikan dengan tegangan sistem purwarupa serta tidak perlu menambahkan pengubah tegangan DC agar meminimalisir rugi-rugi sistem. Karakteristik tekanan air terhadap debit air dan tegangan yang dibangkit pikoHidro F50-12V dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 3. Karakteristik Tekanan Air terhadap Debit Air dan Tegangan, diolah (Shenzhen Global Technology Co., Ltd)

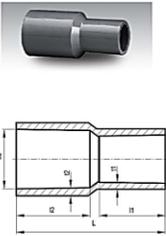
Dari data diolah karakteristik pada grafik di atas, untuk model F50-5V menghasilkan tegangan 5 V pada tekanan air sebesar 0,1 MPa dengan debit sebesar 0,1 L/min sedangkan untuk model F50-80V menghasilkan tegangan 80 V pada tekanan air sebesar 1,2 MPa dengan debit sebesar 26 L/min.

Menurut percobaan yang dilakukan oleh, model F50-12V dapat mencapai tegangan yang dibangkitkan sebesar 12,03 V pada debit sebesar 5,8 L/min dengan perbedaan tekanan air yang sama di sisi inlet dan outlet turbin pikoHidro (Marwani et al., 2021). Maka dapat disimpulkan bahwa tekanan air sebelum dan sesudah turbin pikoHidro tidak terlalu berpengaruh, namun tegangan yang dibangkitkan oleh pikoHidro sangat dipengaruhi oleh debit aliran air.

Perpipaan yang digunakan

Secara umum, perpipaan yang digunakan dalam purwarupa ini adalah pipa dengan diameter ¾ inci. Namun untuk pipa vertikal dari outlet tangki ke kran keluaran air menggunakan beberapa alternatif perubahan diameter melalui komponen pipa pengubah diameter secara gradual (v-sock) atau pipa reducing socket gradual yang banyak tersedia di pasaran. Ilustrasi v-sock yang digunakan ditunjukkan pada gambar di bawah.

REDUCING SOCKET (AW)



Ukuran Produk	d1	d2	L	H	I2	H1 (min)	I2 (min)
½" x ½"	22.4	26.45	74	30	35	3.3	3.3
1" x ½"	22.4	32.55	84	30	40	3.3	3.7
1" x ¾"	26.5	32.55	85	35	40	3.3	3.7
1½" x ½"	22.4	45.6	99	30	44	3.3	4.2
1½" x ¾"	26.45	42.6	93	35	44	3.3	4.2
1½" x 1"	32.55	42.6	94	40	44	3.7	4.2
1½" x 1½"	22.4	48.7	110	30	55	3.3	4.2
1½" x 2"	26.45	48.7	116	35	55	3.3	4.2
1½" x 1"	32.5	48.7	114	40	55	3.8	4.2
1½" x 1½"	42.6	48.7	115	44	55	3.2	4.2
2" x 1½"	22.4	60.8	125	30	63	3.3	4.6
2" x 2"	26.45	60.8	125	35	63	3.3	4.6
2" x 1"	32.5	60.8	140	40	63	3.8	4.6
2" x 1½"	42.6	60.8	125	44	63	3.2	4.6
2" x 1½"	48.7	60.8	138	55	63	4.2	4.6
3" x 1"	32.5	89.6	127	40	84	3.7	6.2
3" x 1½"	42.6	89.6	141	44	84	4.2	6.2
3" x 1½"	48.7	89.6	150	55	84	4.2	6.2
3" x 2"	60.8	89.6	165	63	84	4.2	6.2
4" x 1½"	48.7	104.7	199	55	84	4.2	7.7
4" x 2"	60.8	114.7	192	63	84	4.6	7.7
4" x 2½"	76.6	114.7	190	61	84	6.2	7.7
4" x 3"	89.6	114.7	190	64	84	6.2	7.7
6" x 3"	89.6	166	275	84	132	6.2	10.0
6" x 4"	114.7	166	295	84	132	7.7	10.0
6" x 5"	140.85	166	272	104	132	8.1	10.0
8" x 4"	114.7	217	340	50	145	4.7	5.0
8" x 5"	140.85	217	345	104	145	8.1	10.5
8" x 6"	166	217	350	132	145	10.0	10.5
10" x 6"	217	269	420	145	155	10.5	12.2

Gambar 4. V-sock yang Digunakan (Rucika)

Pemilihan v-sock yang digunakan mempertimbangkan banyaknya ketersediaan di pasaran yang umum digunakan yaitu ¾" x 2". Perubahan diameter pipa ini disebut "pipa adapter". Tujuan merubah diameter pipa agar diperoleh debit aliran air yang lebih kencang, mengingat tangki hanya memiliki elevasi dari tanah setinggi 3,2 m sehingga penurunan tekanan (ΔP) tidak terlalu berpengaruh dari outlet tangki ke kran keluaran air.

Menurut (Marwani et al., 2021) daya yang dibangkitkan oleh pikoHidro merupakan perkalian antara penurunan tekanan (ΔP) hidrostatik dan debit aliran (Q) hidrodinamis. Persamaan daya yang dapat dibangkitkan oleh pikoHidro (P_{avail}) sebagai berikut:

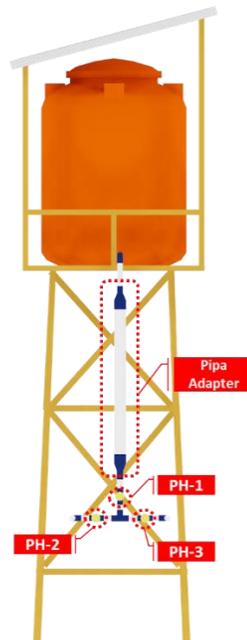
$$P_{avail} = \Delta P \times Q \quad (1)$$

Penurunan tekanan hidrodinamis mempengaruhi debit aliran, dengan menganggap penurunan tekanan hidrostatik tidak terlalu berpengaruh atau diabaikan karena elevasi pendek tangki ke kran keluaran dan koefisien gesek (f) sama di semua komponen perpipaan karena

menggunakan bahan pipa PVC yang sama serta massa jenis (ρ) sama karena menggunakan fluida air sehingga jika menggunakan persamaan Darcy-Weisbach maka diperoleh kecepatan aliran (\bar{v}):

$$\Delta P = f L/D (\rho \bar{v}^2)/2 \rightarrow \bar{v} \approx \sqrt{(D/L) (2/\rho f \Delta P)}$$

Dari persamaan (2) di atas, dapat diketahui bahwa nilai \bar{v} sangat tergantung dari diameter (D) dan panjang pipa (L). Pipa adapter digunakan dalam sistem agar memungkinkan dapat memperkencang aliran air yang mempengaruhi daya yang dapat dibangkitkan oleh pikohidro. Dari uraian-uraian di atas, maka desain awal ditunjukkan pada gambar di bawah.



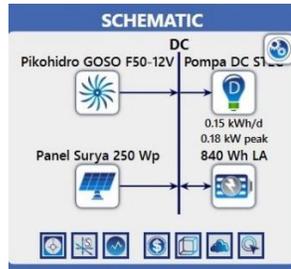
Gambar 5. Pemasangan Pipa Adapter dan Pikohidro dalam Purwarupa

Desain ini menggunakan 1 unit pipa adapter dan 3 unit pikohidro (PH-1, PH-2 dan PH-3) melalui percabangan tee pada perpipaan vertikal antara outlet tangki dan kran keluaran air.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara paralel dilakukan survei di lapangan, yaitu sumur sendang Desa Temengeng, Kecamatan Sambong, Blora Jawa Tengah. Dari model sistem sebelumnya, kemudian dibuat model di aplikasi simulasi Homer. Tujuan mensimulasikan sistem ini di aplikasi Homer agar dapat memperoleh data potensi energi iradiasi matahari yang merujuk pada data NASA berdasarkan titik koordinat yang ditentukan oleh pengguna. Skema pemodelan melalui aplikasi Homer dapat dilihat pada gambar di bawah.

Rancang Bangun Sistem Pemanenan Energi Terbarukan Off-Grid Menggunakan Panel Surya Dan Pikohidro



Gambar 6. Skema Pemodelan melalui Homer

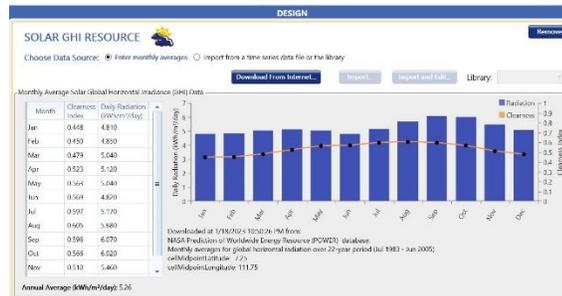
Penentuan Modul Surya

Sumur sedang Desa Temengeng yang dijadikan sebagai lokasi penelitian terletak di titik koordinat 7°05'35.8"S 111°30'23.9"E. Titik koordinat ini kemudian menjadi masukan untuk memperoleh data potensi iradiasi matahari melalui aplikasi simulasi Homer, seperti ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 7. Lokasi Pemasangan PLTS melalui Simulasi Homer

Setelah memasukkan titik koordinat lokasi pemasangan PLTS di aplikasi Homer, kemudian aplikasi ini akan mulai mengunduh data iradiasi matahari melalui basis data NASA yang diperoleh selama lebih dari 22 tahun (Juli 1983 – Juni 2005) dengan selang waktu rerata bulanan. Dapat dilihat dalam gambar bahwa radiasi dan indeks kecerahan (clearness index) pada Agustus – November relatif lebih tinggi dibanding bulan-bulan lainnya, seperti ditunjukkan gambar di bawah.



Gambar 8. Potensi Energi Iradiasi Matahari Desa Temengeng

Dari data ini bisa disimpulkan bahwa memang pada bulan Agustus – November tiap tahunnya, Desa Temengeng dapat dikatakan mengalami musim kemarau atau kekeringan, sehingga para warga memanfaatkan sumur sendang pada bulan-bulan tersebut. Data iradiasi matahari secara rerata tahunan mencapai 5,26 kWh/m²/hari dengan iradiasi matahari minimal terjadi pada bulan Januari sebesar 4,81 kWh/m²/hari.

Pertimbangan pemilihan kapasitas modul surya ditentukan oleh beban utama dalam sistem. Beban paling dominan dalam sistem ini adalah pompa DC dengan spesifikasi tercantum ditunjukkan pada tabel di bawah.

Tabel 1. Spesifikasi Pompa DC

Spesifikasi	Keterangan
Daya	180 W
Tegangan	12 V
Aliran maks.	1,5 m ³ /jam
Diameter <i>Outlet</i>	1 inci
<i>Suction</i> maks.	5 m
<i>Head</i> maks.	15 m

Beban pompa DC (Ppump) sebesar 180 W dengan tegangan 12 V serta aliran maksimal mencapai Qpump = 1,5 m³/jam. Tangki yang digunakan memiliki spesifikasi volume 1050 L atau volume tangki (Vtank) bisa diasumsikan sebesar 1000 L (1 m³) jika mencapai ketinggian air maksimal dalam tangki. Sedangkan berdasarkan wawancara di lapangan, kebutuhan air 4 x 25 L = 100 L/warga dalam sehari sehingga jika sumur sendang dibutuhkan untuk 50 warga, maka kebutuhan air (Vday) menjadi 5000 L/hari atau 5 m³/hari. Pengisian air dalam tangki untuk sehari, maka membutuhkan energi listrik sebesar:

$$E_{day} = (V_{day} \times [P]_{pump}) / Q_{pump} = (5 \times 180) / 1,5 = 600 \text{ Wh} \quad (3)$$

Tangki perlu diisi lima kali diisi penuh dalam sehari. Total kebutuhan energi listrik sebesar 600 Wh atau 0,6 kWh dalam sehari. Rugi-rugi tipikal yang terjadi pada PLTS adalah (Ramadhani, 2018):

- Rugi-rugi modul surya = 11,5%;
- Rugi-rugi charge controller atau SCC = 3%;
- Rugi-rugi inverter baterai = 6%;
- Rugi-rugi pengkabelan = 2%; dan
- Rugi-rugi baterai jenis asam timbal atau Lead Acid (LA) = 15%.

Maka dari uraian di atas, didapatkan rugi-rugi PLTS (%Ploss) mencapai 31,5%, tanpa memasukkan rugi-rugi inverter baterai karena dalam purwarupa ini tidak menggunakan inverter baterai. Total kebutuhan energi listrik terhadap modul surya (EPV) sebesar:

$$E_{PV} = E_{day} / (100\% - [\%P]_{loss}) = (0,6 \text{ kWh}) / (68,5\%) \approx 0,88 \text{ kWh} \quad (4)$$

Berdasarkan data pada Gambar 3, iradiasi matahari minimal (min SIrr) sebesar 4,81 kWh/m²/hari, maka kapasitas modul surya (PPV) sebesar:

$$P_{PV} = (E_{PV} \times S_{STC}) / \min[S_{Irr}] = (0,88 \times 1000) / 4,81 \approx 183 \text{ Wp} \quad (5)$$

Dengan SSTC adalah iradiasi matahari dalam kondisi uji baku atau Standard Test Condition (STC) yang biasanya tercantum dalam nameplate di belakang modul surya.

Dari persamaan (3) di atas, maka modul surya yang digunakan minimal memiliki kapasitas sebesar 183 Wp. Modul surya dengan kapasitas 183 Wp tidak ada di pasaran, sehingga perlu melakukan penyesuaian menjadi 200 Wp yang banyak tersedia di pasaran. Namun pertimbangan mengenai sebaran irradiasi matahari harian yang dinyatakan dalam istilah Peak Sun Hour (PSH), secara praktis biasanya PSH sebesar 5 jam dalam sehari.

Sehingga pemilihan modul surya dengan kapasitas 250 Wp sangat dianjurkan, karena masih dalam toleransi perhitungan persamaan (5). Penetapan memilih kapasitas modul surya 250 Wp juga mempertimbangkan adanya beban lainnya seperti beban penerangan kecil untuk menerangi sumur sedang tersebut. Jika memilih kapasitas modul surya berlebihan maka timbul biaya investasi yang lebih besar, sedangkan jika memilih kapasitas modul surya kurang dari 180 atau kapasitas modul surya 150 Wp maka tidak memenuhi perhitungan dalam persamaan (5). Modul surya yang dipilih memiliki spesifikasi ditunjukkan pada tabel di bawah.

Tabel 2. Spesifikasi Modul Surya

Spesifikasi	Keterangan
Jenis fotovoltaik kristalin	Polikristalin
Daya maks. (P_{max})	250 Wp
Tegangan maks. (V_{mp})	30,3 V
Arus maks. (I_{mp})	8,25 A
Tegangan <i>open cct</i> (V_{OC})	36,3 V
Arus <i>short cct</i> (I_{sc})	8,75 A
Dimensi	1640x992x35 mm
Berat	17,5 kg

Penentuan SCC

Dalam pemilihan SCC berdasarkan (Ramadhani, 2018) mempertimbangkan tegangan dan arus maksimal masukan SCC. Untuk tegangan maksimal masukan ($V_{max, in}$) dan arus maksimal masukan ($I_{max, in}$) sebesar:

$$V_{(max, in)} > 1,25 \times V_{OC} \approx 45,37 \text{ V} \quad (6)$$

$$I_{(max, in)} > 1,25 \times I_{SC} \approx 10,93 \text{ A} \quad (7)$$

Nilai VOC dan ISC berdasarkan Tabel 2 di atas, sedangkan nilai konstanta 1,25 merupakan batas aman yang dipertimbangkan dalam pemilihan SCC. Biasanya spesifikasi SCC yang sangat berpengaruh adalah $I_{max, in}$ sebesar 10,93 A, sehingga jika SCC yang digunakan memiliki spesifikasi 10 A, maka SCC tidak akan bekerja, berdasarkan perhitungan persamaan (7) maka membutuhkan SCC dengan arus minimal 10,93 A. Dalam penelitian ini menggunakan SCC 20 A, karena yang tersedia di pasaran kelipatan 10 A, yaitu 10 A, 20 A dan 30 A untuk sistem kecil.

Sedangkan $V_{max, in}$ telah ditentukan dalam spesifikasi SCC misalnya SCC 12 – 24 V 20 A, maka $V_{max, in}$ sebesar 48 V. Hal ini telah memenuhi perhitungan persamaan (6).

Baterai yang Digunakan

Penentuan baterai berjenis asam timbal (LA) karena pada umumnya banyak tersedia di pasaran dan lebih murah dibanding jenis baterai lainnya (NiMH, NiCd atau Lithium), walaupun sebenarnya baterai jenis LA ini tidak ramah lingkungan. Pemilihan baterai tergantung dari kapasitas modul surya yang digunakan (PPV, det) sebesar 250 Wp, dengan mempertimbangkan PSH tipikal sebesar 5 jam dan Depth of Discharge (DOD) tipikal untuk baterai LA agar memperpanjang umur teknis atau siklus pengisian daya (charging) sebesar 70%, maka kapasitas baterai LA (Cbatt) dengan tegangan baterai (vbatt) 12 V yang digunakan sebesar:

$$C_{batt} = 70\% \times (P_{(PV, det)} \times PSH) / v_{batt} \quad (8)$$

$$C_{batt} = 70\% \times (250 \times 5) / (12) \approx 72,92 \text{ Ah}$$

DOD adalah jumlah muatan/energi yang dikeluarkan atau dipakai (discharge) dari baterai. Sehingga jika DOD 70% maka berarti baterai ini telah melepaskan muatannya sebesar 70% dari rating 100% baterai. Pada kondisi ini, kapasitas baterai tersisa 30% untuk kembali mengisi daya (charging) yang disebut State of Charge (SOC). Dari persamaan (6), menghasilkan energi baterai diperoleh dari perkalian vbatt sebesar 12 V dengan kapasitas Cbatt sebesar 72,92 Ah sebesar 875 Wh.

Baterai yang digunakan memiliki spesifikasi tegangan vbatt sebesar 12 V dengan kapasitas Cbatt sebesar 70 Ah, sehingga energi baterai yang dapat digunakan diperoleh dari perkalian antara vbatt dan Cbatt sebesar 840 Wh. Hal ini mendekati spesifikasi baterai sesuai dengan perhitungan di atas. Pertimbangan menggunakan baterai 12 V 70 Ah ini juga untuk mengantisipasi kondisi jika rentang PSH di lapangan selama 4 – 5 jam, yaitu antara 700 Wh – 875 Wh.

Desain Purwarupa Sistem

Pembangunan purwarupa dimulai dengan perancangan alat melalui perangkat lunak khusus gambar 3D (Atmani & Rohman, 2021). Kemudian direalisasikan desain tersebut dengan ketinggian tangki dari permukaan tanah setinggi 3,2 m. Komponen baterai, SCC dan peralatan proteksinya berada di dalam kotak panel listrik menggantung di bawah tangki. Ilustrasi tangki yang digunakan ditunjukkan pada gambar di bawah.



**Gambar 9. Tangki yang Digunakan
(Penguin General Tank)**

Berdasarkan gambar di atas, spesifikasi tangki yang digunakan memiliki tinggi tangki 1,42 m, diameter 1,05 m, kapasitas volume 1050 L dengan berat kosong 26 kg. Jika tangki terisi penuh 1000 L, maka berat total tangki sekitar 1026 kg atau 1,026 Ton.

Jika ditambahkan dengan modul surya seberat 17,5 kg dan baterai seberat 22 kg. Maka tower purwarupa harus mampu menyangga beban sekitar 1.066 kg, karena perlu juga mempertimbangkan berat kosong panel listrik dan SCC MPPT walaupun dapat diabaikan karena relatif ringan.

Modul surya dipasang dengan sudut kemiringan sekitar 10o menghadap ke arah utara, sehingga 2 tiang penyangga modul surya lebih tinggi dibanding 2 tiang penyangga lainnya. Desain purwarupa sistem beserta penerapannya dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 10. Desain Purwarupa Sistem dan Penerapan

Pengujian Purwarupa

Parameter yang diuji dalam purwarupa ini adalah tegangan yang dibangkitkan oleh piko hidro sebagai pemanen energi listrik skala kecil. Parameter ini diukur dan diambil sebagai data hasil pengujian karena uji tanpa beban generator. Piko hidro dipasang sebanyak 3 unit sesuai Gambar 5, yaitu PH-1, PH-2 dan PH-3. Jenis pipa adapter yang diujicobakan disesuaikan dengan jenis diameter pipa yang banyak tersedia pada umumnya di pasaran, yaitu (Aditya, 2022):

1. Tanpa variasi perubahan diameter pipa atau pipa diameter $\frac{3}{4}$ " dengan panjang 195 cm;
2. Pipa adapter $\frac{3}{4}$ " □ $1\frac{1}{2}$ " □ $\frac{3}{4}$ " dengan panjang 160 cm;
3. Pipa adapter $\frac{3}{4}$ " □ 2" □ $\frac{3}{4}$ " dengan gradasi v-sock deceiver 2" □ $1\frac{1}{2}$ " □ $\frac{3}{4}$ " pada sisi keluaran ke PH-1 untuk meminimalisir hentakan aliran air dan panjang pipa adapter 160 cm.

Percobaan dilakukan saat tinggi air dalam tangki 119 cm dan 35 cm, saat ketinggian air maksimal dan minimal (Murtadlo et al., 2020). Kran keluaran air menggunakan ball valve dengan diameter outlet valve $\frac{3}{4}$ ". Pengujian dilakukan dengan 3 jenis percobaan, yaitu:

1. Saat kran keluaran air dibuka semuanya;
2. Saat kran keluaran air dibuka di sisi percabangan PH-2 saja, sehingga sisi percabangan PH-3 tidak ada aliran;

3. Saat kran keluaran air dibuka di sisi percabangan PH-3 saja, sehingga sisi percabangan PH-2 tidak ada aliran.

Saat kran keluaran air dibuka semuanya, maka tegangan yang dibangkitkan oleh PH-2 dan PH-3 sangat kecil < 4 Volt, sehingga bisa diabaikan. Parameter tegangan yang dibangkitkan oleh PH-1 ditunjukkan oleh tabel di bawah.

Tabel 3. Tegangan yang Dibangkitkan PH-1

Pipa Adapter	Level Air [cm]	Tegangan PH-1 [Volt]
1	119	9,2
2	119	9,3
3	119	9,4
1	35	7,4
2	35	7,8
3	35	7,8

Dengan pipa adapter 1 adalah pipa tanpa variasi perubahan diameter $\frac{3}{4}$ ", pipa adapter 2 adalah pipa variasi perubahan diameter $\frac{3}{4}$ " □ $1\frac{1}{2}$ " □ $\frac{3}{4}$ " dan pipa adapter 3 adalah pipa variasi perubahan diameter $\frac{3}{4}$ " □ 2" □ $\frac{3}{4}$ ".

Ujicoba saat keluaran air dibuka di sisi percabangan PH-2 saja, sehingga di sisi percabangan PH-3 tidak ada aliran atau tegangan PH-3 = 0, ditunjukkan pada tabel di bawah.

Tabel 4. Tegangan yang Dibangkitkan oleh PH-1 dan PH-2

Pipa Adapter	Level Air [cm]	Tegangan PH-1 [Volt]	Tegangan PH-2 [Volt]
1	119	6,4	7,8
2	119	6,5	7,8
3	119	6,6	8,1
1	35	5,5	6,7
2	35	6	6,6
3	35	5,6	6,7

Sedangkan ujicoba saat keluaran air dibuka di sisi percabangan PH-3 saja, sehingga di sisi percabangan PH-2 tidak ada aliran atau tegangan PH-2 = 0, ditunjukkan pada tabel di bawah.

Tabel 5. Tegangan yang Dibangkitkan oleh PH-1 dan PH-3

Pipa Adapter	Level Air [cm]	Tegangan PH-1 [Volt]	Tegangan PH-3 [Volt]
1	119	6,6	5,9

2	119	6,6	7,2
3	119	7,2	6,7
1	35	5,7	5,2
2	35	5,6	5,3
3	35	5,8	5,3

KESIMPULAN

Dari data ujicoba pada Tabel 4 – 6, parameter tegangan yang dibangkitkan oleh pikoHidro tergantung dari ketinggian air dalam tangki dan jenis pipa adapter yang dipasang. Tegangan yang dibangkitkan juga sangat bergantung dari kondisi tiap pikoHidro walaupun sudah melewati standar pabrikan untuk dipasarkan, terutama adanya gesekan poros dengan pusat turbin akibat kotoran atau korosi.

Pada percobaan awal tanpa memasang percabangan pipa tee untuk PH-2 dan PH-3 dengan menggunakan kran keluaran air biasa, sehingga outlet kran memiliki diameter ½” menunjukkan bahwa pipa adapter 1 menghasilkan tegangan PH-1 sebesar 7,4 V dan pipa adapter 3 menghasilkan tegangan PH-1 sebesar 11,42 V bahkan saat ketinggian air dalam tangki terendah. Sehingga diameter keluaran kran juga dan percabangan tee juga ikut mempengaruhi tegangan yang dibangkitkan oleh pikoHidro.

Secara umum, penggunaan jenis pipa adapter 3 memberikan hasil tegangan terbesar pada semua ketinggian air dalam tangki. Tegangan yang dibangkitkan pikoHidro pada PH-1 saat semua kran dibuka sebesar 9,4 V saat ketinggian air dalam tangki 119 cm.

Dari hasil percobaan yang diperoleh, maka perlu menambahkan perangkat konverter DC-DC agar tegangan yang dibangkitkan oleh pikoHidro dapat disesuaikan dengan tegangan baterai 12 V agar mampu mengisi daya dari pikoHidro selain dari PLTS.

Pembukaan semua kran akan mempercepat kecepatan aliran air sehingga tegangan yang dibangkitkan lebih besar dibanding kran ditutup salah satu. Hal ini disebabkan aliran air bisa mencapai kondisi laminar pada titik setelah penyempitan diameter pipa adapter dan percabangan tee, walaupun telah diantisipasi dengan memberikan jarak antar titik-titik tersebut sepanjang 20 cm (min. $L = 5D$, atau sekitar 12,7 cm).

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, F. D. (2022). *Analisa Pengaruhlaju Aliran Air Terhadap Efektifitas Kondensor Ac Mobil*.
- Ariansyah, M. D., & Sariman, S. (2021). Analisa Performa Pompa Air DC 12V 42 Watt terhadap Variasi Kedalaman Pipa Menggunakan Baterai dengan Sumber Energi dari Matahari. *Jurnal Syntax Admiration*, 2(6), 1083–1102.
- Atmani, A. K. P., & Rohman, M. A. (2021). Rekonstruksi 3D Landmark Memvisualisasikan Perkampungan Peradaban Kuno Situs Liyangan Temuan Balai Arkeologi Yogyakarta. *Rekam: Jurnal Fotografi, Televisi, Animasi*, 17(2), 175–186.
- Hayati, N., Purwanto, A., & Muladi, E. (2021). Pengaruh Diameter Knee pada Headloss Aliran Berbasis Monogram, CAD dan CAE. *Journal Of Mechanical Engineering Manufactures Materials And Energy*, 5(2), 194–201.
- Latasya, Z., Sara, I. D., & Syahrizal, S. (2019). Analisis Rancangan Pembangkit Listrik Tenaga

- Surya (Plts) Off-Grid Terpusat Dusun Ketubong Tunong Kecamatan Seunagan Timur Kabupaten Nagan Raya. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, Dan Elektro*, 4(2).
- Marwani, M., Kadir, M. Z., & Putra, R. E. (2021). Investigation Performance Of Pico Hydro Water Pipe Turbine. *Indonesian Journal of Engineering and Science*, 2(3), 49–55.
- Murtadlo, M. Z. I., Imaduddin, I. R., Herlina, A., & Salim, A. T. A. (2020). Perancangan Kontrol Fuzzy Mamdani Untuk Ketinggian Pusaran Air Pada Basin Silinder Gravitation Water Vortex Power Plant. *JEECAE (Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering)*, 5(2), 1–7.
- Nuraini, R., & Priyana, Y. (2022). *Analisis Tingkat Rawan Kekeringan Lahan Pertanian Sawah Di Kabupaten Blora Tahun 2020*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Ramadhani, B. (2018). Instalasi pembangkit listrik tenaga surya Dos & Don'ts. *Deutsche Gesellschaft Fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Energising Development (Endev) Indonesia Jakarta*, 23–28.
- Sihite, P. B., Santoso, M. I., & Pramudyo, A. S. (2012). Perancangan Mysql Cluster Menggunakan Mikrotik RB750 Sebagai Node Database Management. *Susunan Panitia*, 95.
- Smith, B. L., Woodhouse, M., Horowitz, K. A. W., Silverman, T. J., Zuboy, J., & Margolis, R. M. (2021). *Photovoltaic (PV) module technologies: 2020 benchmark costs and technology evolution framework results*. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- Tarkono, T., & Ali, H. (2016). *Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Material Teknik*.