

Rancang Bangun Sistem *Hybrid Grid Connected* Skala Laboratorium Berbasis *Piezoelectric* Dan Tenaga Surya

Nur Hamzah^{1*}, Remigius Tandioga¹, Muh Arif Rahmansyah², Rina²

¹⁾ Dosen Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

²⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar
Email: hamzah_said@poliupg.ac.id

Abstract: The increasing demand for electrical energy reflects societal progress, and to meet this need, power plants are essential. However, the use of fossil resources for electricity generation should be minimized. As a tropical country, Indonesia has good solar energy potential, with an average daily insolation of 4.8 kWh/m²/day, although solar energy utilization is less optimal during the rainy season. To address this, a hybrid solar power plant (PLTS) system integrated with a piezoelectric power plant (PLTP) was developed. The PLTP generates electricity by harnessing pressure from sunlight using crystalline materials. The hybrid system combines PLTS and PLTP, creating a grid-connected setup aimed at optimizing electrical use from PLN (State Electricity Company). This design not only aims to reduce PLN power usage but also serves to enhance understanding of alternative energy sources, including the construction, working procedures, component specifications, and assembly. Testing showed that this hybrid system is effective for home-scale use, providing energy savings. However, challenges arose due to the limited piezoelectric specifications, which affected the battery charger design. The theoretical calculation of 54 piezoelectric components resulted in a lower-than-expected voltage of 38.6 V, indicating a mismatch with the required voltage for optimal battery charging.

Keywords: *Prototype, PLTS, PLN, Piezoelectric.*

Abstrak: Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat mencerminkan kemajuan masyarakat. Untuk memenuhi kebutuhan ini, pembangkit listrik diperlukan, namun pemanfaatan energi dari sumber daya fosil harus diminimalkan. Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi energi matahari yang baik dengan rata-rata insolasi harian 4,8 kWh/m²/hari, meskipun pemanfaatannya kurang optimal di musim hujan. Untuk itu, dikembangkan sistem pembangkit listrik tenaga surya hibrida (PLTS) yang digabungkan dengan pembangkit listrik piezoelektrik (PLTP). PLTP bekerja dengan prinsip menghasilkan listrik melalui tekanan pada bahan kristalin akibat gaya matahari. Tujuan perancangan sistem hibrida ini adalah untuk menghemat penggunaan daya listrik PLN dengan menggabungkan PLTS dan PLTP dalam sistem terhubung ke jaringan. Selain itu, perancangan ini juga bertujuan meningkatkan pengetahuan tentang sumber energi alternatif, mulai dari desain konstruksi hingga perakitan alat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem hibrida berbasis piezoelektrik dan surya sangat dianjurkan untuk skala rumah tangga karena dapat menghemat daya PLN. Namun, hambatan muncul akibat kurangnya spesifikasi piezoelektrik, yang menyebabkan desain pengisi daya baterai tidak maksimal. Perhitungan teoretis dengan 54 komponen piezoelektrik menghasilkan tegangan DC 38,6 V, yang tidak sesuai dengan kebutuhan pengisi daya baterai.

Keywords: *Prototype, PLTS, PLN, Piezoelectric.*

I. LATAR BELAKANG

Kebutuhan energi listrik yang selalu meningkat menggambarkan semakin majunya masyarakat. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik ini dibutuhkan pembangkit listrik [1]. Dilain pihak, pembangkitan energi listrik dari sumber daya fosil yang selama ini menjadi andalan sudah harus diminimalisir agar tidak terjadi polusi lingkungan yang signifikan sebagai hasil dari pembangkitan energi listrik tersebut. Oleh sebab itu, perlu diberikan solusi alternatif penghasil energi listrik terbarukan yang ramah lingkungan [2]. Sumber daya energi yang ramah lingkungan tersebut bisa diperoleh dari energi yang selama ini tanpa disadari terbuang begitu saja [3].

Penggunaan sumber energi terbarukan merupakan solusi dalam menjawab tantangan krisis

energi yang terjadi [4]. Salah satu energi terbarukan adalah energi matahari. Indonesia merupakan negara tropis, sehingga memiliki dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau. Mengapa Indonesia perlu memanfaatkan energi surya ? Karena Indonesia mempunyai potensi energi surya dengan insolasi harian rata – rata $4,8 \text{ kWh/m}^2 / \text{hari}$ [5, 6]. Pemanfaatan panas matahari sebagai sumber energi listrik pada musim kemarau adalah sebagai energi yang disimpan pada siang hari dan dimanfaatkan sebagai listrik pada malam hari. Namun, pada musim hujan pemanfaatan panas matahari kurang maksimal sehingga untuk menunjang hal tersebut dibuatlah sistem *hybrid* panas matahari dengan *piezoelectric*.

Energi panas matahari dapat dimanfaatkan dengan bantuan salah satu peralatan yaitu *solar cell* yang merubah radiasi matahari menjadi energi listrik [7, 8]. *Piezoelectric* adalah sebuah alat transduser aktif dengan prinsip kerja pembangkitan listrik dari bahan kristal akibat dari gaya pijakan atau tekanan.

Perancangan alat ini mempunyai tujuan untuk mengefektifkan pemakaian daya listrik yang menggunakan jaringan listrik PLN dengan cara menggabungkan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan pembangkit listrik tenaga *piezoelectric*. Sistem ini biasa disebut dengan sistem *hybrid grid connected*. Dengan dilakukannya perancangan (desain) ini diharapkan nantinya dapat memberikan gambaran dan masukan tentang pemanfaatan pembangkit listrik sistem *hybrid grid connected* serta mengetahui proses yang terjadi di saat pembangkit tersebut beroperasi. Atas dasar tersebut penulis mengambil judul “Rancang Bangun Sistem *Hybrid Grid Connected* Skala Laboratorium Berbasis *Piezoelectric* dan Tenaga Surya.”

II. METODE PENELITIAN

II.1. Tahap Perancangan Konstruksi

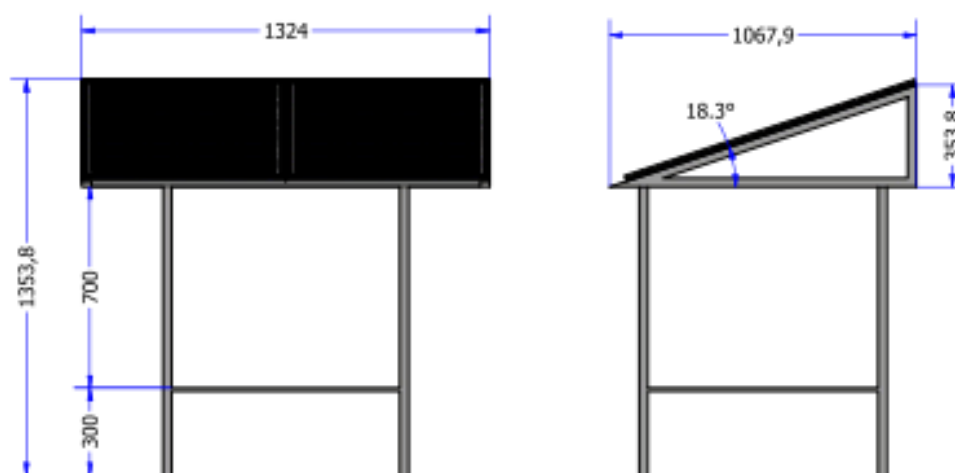
Tahap Perancangan Konstruksi merupakan proses mendesain alat-alat yang digunakan pada penelitian ini, sebagai berikut :

1 Konstruksi rangka panel surya

Pada proses perancangan konstruksi rangka panel surya diperlukan ketelitian dalam menentukan sudut kemiringan panel surya, hal ini diperlukan supaya panel surya mendapatkan pancaran sinar matahari yang optimal di lokasi penelitian. Orientasi dan inklinasi/kemiringan panel surya di Kecamatan Tamalanrea Makassar dengan titik koordinat $5,12^\circ \text{ LS}$, $119,48^\circ \text{ BT}$ adalah sebagai berikut:

$$\alpha = \delta - \varphi = 23,5^\circ - 5,12^\circ = 18,38^\circ$$

Jadi sudut kemiringan panel surya maksimum adalah sebesar $18,38^\circ$. Rangka panel surya tersebut akan dipasang di sekitaran Laboratorium Energi, Politeknik Negeri Ujung Pandang sehingga masih perlu dilakukan pengukuran sudut kemiringan terlebih dahulu sebelum disesuaikan dengan konstruksi rangka panel surya hingga diperoleh sudut kemiringan $18,38^\circ$. Hasil rancangan konstruksi ditunjukkan pada gambar 1.



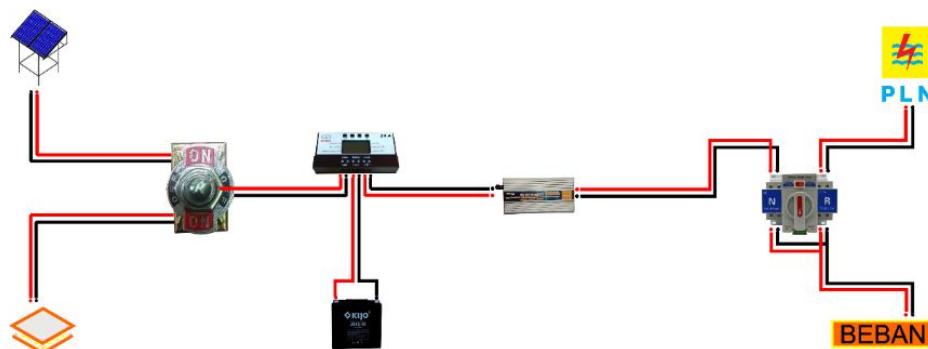
Gambar 1. Rancangan Struktur Kemiringan Panel Surya

2 Konstruksi rangka lantai *piezoelectric*

Piezoelectric ini akan dipasang di lantai untuk di injak dengan di injak memberikan tekanan yang akan di koversi nantinya menjadi listrik sehingga untuk konstruksinya akan mengikuti bentuk tehel lebar dan panjangnya namun untuk konstruksi alat nantinya masih menggunakan tripleks.

II.2. Tahap Perancangan Kelistrikan

Perancangan kelistrikan diawali dengan menghitung total energi yang digunakan saat beroperasi dan mengumpulkan data rata-rata intensitas matahari dan beberapa subjek berat badan manusia. Analisa data tersebut untuk mengetahui berapa panel surya dan *piezoelectric* serta kapasitas baterai yang akan digunakan dalam memenuhi kebutuhan energi dengan memanfaatkan potensi sumber daya alam terbarukan yakni Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga *Piezoelectric* dengan sistem *hybrid grid connected* untuk menghemat pemakaian listrik. Gambar 2 menunjukkan Skema perancangan pembangkit *hybrid grid connected*.



Gambar 2. Skema Rancang Bangun Sistem *Hybrid Grid Connected* Skala Laboratorium Berbasis *Piezoelectric* dan Tenaga Surya

II.3. Pengumpulan Data

Setelah proses perancangan, pembuatan alat, dan perangkaian alat dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah pengumpulan data. Beberapa parameter yang perlu dicatat antara lain :

1. Bentuk tegangan *piezoelectric*
2. Besar tegangan *piezoelectric*
3. Beban lampu (W)
4. Spesifikasi panel surya yang dipakai
5. Kapasitas baterai yang dipakai
6. Kapasitas inverter
7. Radiasi matahari (G)
8. Tegangan baterai (Vbat)
9. Injakkan kaki pada *piezoelectric* (m)

II.4. Pengolahan Data dan Analisa Data

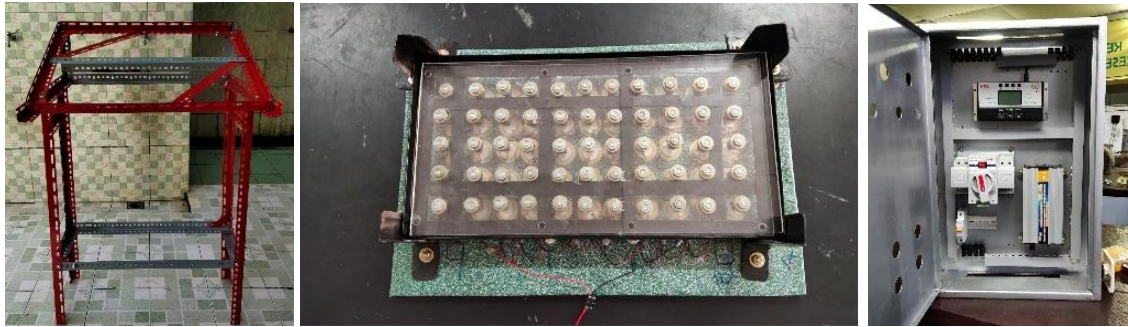
Setelah dilakukan pengumpulan data, selanjutnya yang dilakukan adalah pengolahan data, pengolahan data dilakukan sebagai berikut :

1. Menghitung tegangan yang dihasilkan *piezoelectric* berdasarkan osiloskop (V_{piezo})
2. Menghitung daya input panel surya (P_{in})
3. Menghitung daya output panel surya (P_{out})
4. Menghitung efisiensi (η)
5. Membuat grafik tegangan baterai (Vbat) dengan efisiensi baterai (η)
6. Membuat grafik tegangan *piezoelectric* (V_{piezo}) dengan injakkan kaki (m)

II.5. Hasil Rancangan

Sistem *hybrid grid connected* ini yang memanfaatkan tenaga surya dan injakkan kaki yang ada

di sekitar kita untuk diubah menjadi energi listrik. Adapun hasil rancangannya pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil rancangan dan pembuatan sistem hybrid grid connected

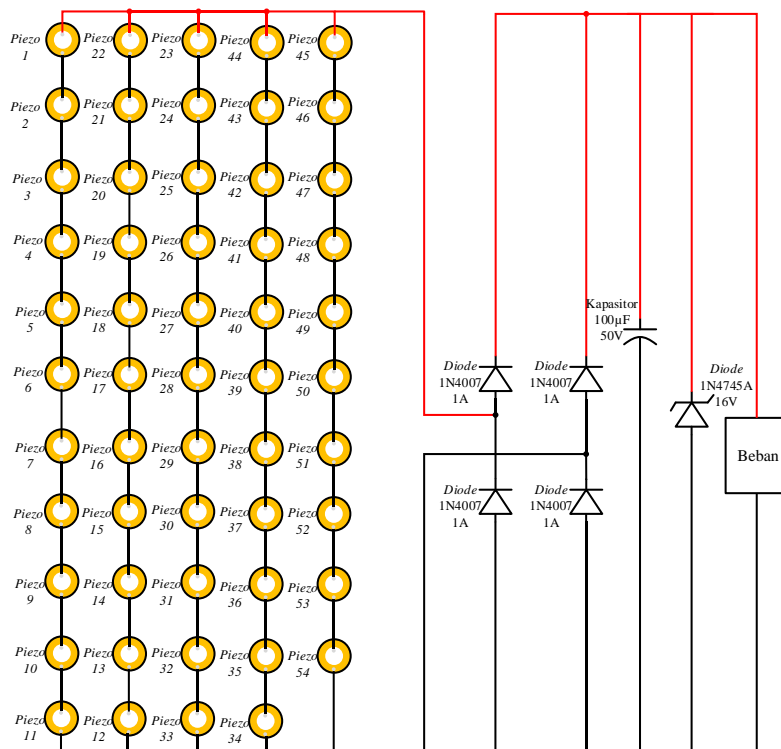
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Piezoelectric

Jika 1 *piezoelectric* memiliki besaran V_{dc} sebesar 0,73 V maka untuk mendapatkan jumlah *piezoelectric* yang dibutuhkan dengan output tegangan sebesar 24 Volt, sebagai berikut :

$$\text{Jumlah } \textit{piezoelectric} = \frac{V_{dc} \text{ yang diinginkan}}{V_{dc} \text{ per } \textit{piezoelectric}} = \frac{24V}{0,73 V} = 32,87 \text{ buah}$$

Untuk rancangan kelistrikan *piezoelectric* ini untuk mengatur seri-paralel penyambungan setiap komponen *piezoelectric* pada Pembangkit listrik tenaga *piezoelectric*. Jika sumber tegangan diseri-paralelkan maka akan lebih besar arus dan tegangannya ketimbang hanya seri atau parallel saja (arus dan tegangan signifikan). Dari hal tersebut untuk rancangan penyambungan seri-paralel yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian kelistrikan 54 komponen *piezoelectric* seri-paralel

B. Panel Surya

Kemiringan bumi sebesar $23,5^\circ$ dan lokasi Makassar tepatnya di kampus Politeknik Negeri Ujung Pandang memiliki titik koordinat $5,12^\circ$ LS dan $119,48^\circ$ BT, sehingga $\delta = 23,5^\circ$ dan $\varphi = 5,12^\circ$ LS. Jika dianalisis dari Gambar 4.8 dapat diperhatikan terdapat 4 tanggal yakni 22 Desember, 21 Maret, 21 Juni dan 23 September dimana dari keempat tanggal tersebut sinar matahari tidak sama rata yang mengenai permukaan bumi, dari hal tersebut juga dapat digambarkan sinar matahari yang mengenai permukaan bumi lebih jelas sehingga diketahui sudut kemiringan panel yang tegak lurus terhadap matahari.

1) Menghitung daya input (P_{in}) panel surya

Untuk menghitung daya input panel surya menggunakan rumus, sebagai berikut :

$$P_{in} = G \times A$$

$$\text{Intensitas radiasi matahari (G)} = 505 \text{ Watt/m}^2$$

$$\text{Luasan panel surya} = 670 \text{ mm} \times 530 \text{ mm} = 355100 \text{ mm}^2 = 0,3551 \text{ m}^2$$

Ditanyakan : Daya input panel surya (P_{in}) = ?

Penyelesaian :

$$P_{in} = G \times A$$

$$P_{in} = 505 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 0,3551 \text{ m}^2 = 179,33 \text{ W}$$

2) Menghitung daya output (P_{out}) panel surya

Untuk menghitung daya output panel surya menggunakan rumus pada persamaan 2-3 dengan menggunakan data rata-rata setiap satu jam pada lampiran 3. Maka didapatkan nilai daya output panel surya, sebagai berikut :

$$P_{out} = V \times I$$

$$\text{Tegangan rata-rata pada panel surya (V)} = 12,7 \text{ Volt}$$

$$\text{Arus rata-rata pada panel surya (I)} = 0,9 \text{ Ampere}$$

Ditanyakan : Daya output panel surya (P_{out}) = ?

Penyelesaian :

$$P_{out} = V \times I$$

$$P_{out} = 12,7 \text{ V} \times 0,9 \text{ A} = 11,40 \text{ W}$$

3) Menghitung efisiensi (η) panel surya

Untuk menghitung efisiensi panel surya menggunakan rumus pada persamaan 2-4 dan menggunakan data perhitungan P_{in} dan P_{out} sebelumnya. Maka didapatkan nilai efisiensi panel surya, sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} . 100\%$$

$$\text{Daya input pada panel surya (P}_{in}) = 179,33 \text{ W}$$

$$\text{Daya output pada panel surya (P}_{out}) = 11,40 \text{ W}$$

Ditanyakan : Efisiensi panel surya (η) = ?

Penyelesaian :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} . 100\%$$

$$\eta = \frac{11,40}{179,33} . 100\% = 6,36 \%$$

4) Tabel hasil Analisis data panel surya (50Wp)

Berdasarkan perhitungan-perhitungan di atas, maka diperoleh hasil analisis data pengujian panel surya pada tabel 1.

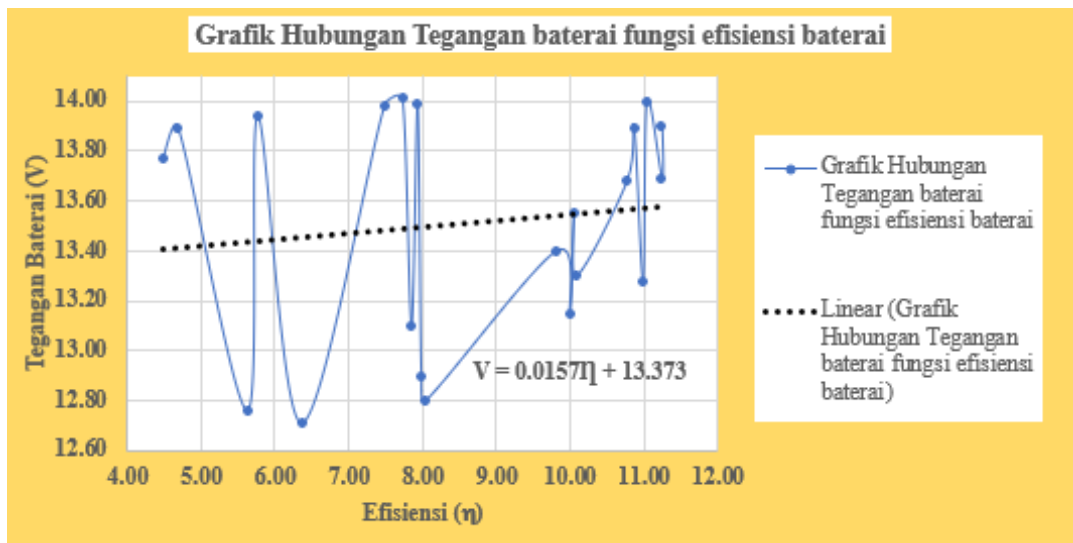
Tabel 4.5 Hasil analisis data pengujian panel surya pada Selasa 31 Agustus 2021

Waktu	G panel $\alpha = 18.33^\circ$	Input baterai		Luas panel surya A	Daya input P_{in}	Daya output P_{out}	Efisiensi	Tegangan baterai V_{bat}
		V_{dc}	I_{dc}					
WITA	W/m ²	(V)	(A)	(m ²)	(W)	(W)	(%)	(V)
9.30	505	12.7	0.9	0.3551	179.33	11.40	6.36	12.71
9.45	838	14	1.2	0.3551	297.57	16.74	5.63	12.76
10.00	845	12.7	1.9	0.3551	300.06	24.11	8.04	12.80
10.15	901	16	1.6	0.3551	319.95	25.52	7.98	12.90
10.30	1001	18	1.55	0.3551	355.46	27.88	7.84	13.10
10.45	1010	18.9	1.9	0.3551	358.65	35.82	9.99	13.15
11.00	1055	17.9	2.3	0.3551	374.63	41.12	10.98	13.28
11.15	1062	18.1	2.1	0.3551	377.12	38.01	10.08	13.30
11.30	1066	18.6	2	0.3551	378.54	37.12	9.81	13.40
11.45	1070	18.2	2.1	0.3551	379.96	38.16	10.04	13.55
12.00	1076	17.9	2.3	0.3551	382.09	41.12	10.76	13.68
12.15	1020	19.4	2.1	0.3551	362.20	40.70	11.24	13.69
12.30	1080	19.6	2.2	0.3551	383.51	43.10	11.24	13.90
12.45	1066	19.6	2.1	0.3551	378.54	41.10	10.86	13.89
13.00	1002	16.4	2.4	0.3551	355.81	39.24	11.03	14.00
13.15	998	16.1	1.7	0.3551	354.39	27.37	7.72	14.01
13.30	1001	17.6	1.6	0.3551	355.46	28.18	7.93	13.99
13.45	1011	17.9	1.5	0.3551	359.01	26.85	7.48	13.98
14.00	966	16.5	1.2	0.3551	343.03	19.78	5.77	13.94
14.15	988	17.5	0.9	0.3551	350.84	15.73	4.48	13.77
14.30	890	18.5	0.8	0.3551	316.04	14.82	4.69	13.89
Rata-rata	973.86	17.22	1.73	0.36	345.82	30.18	8.57	13.51

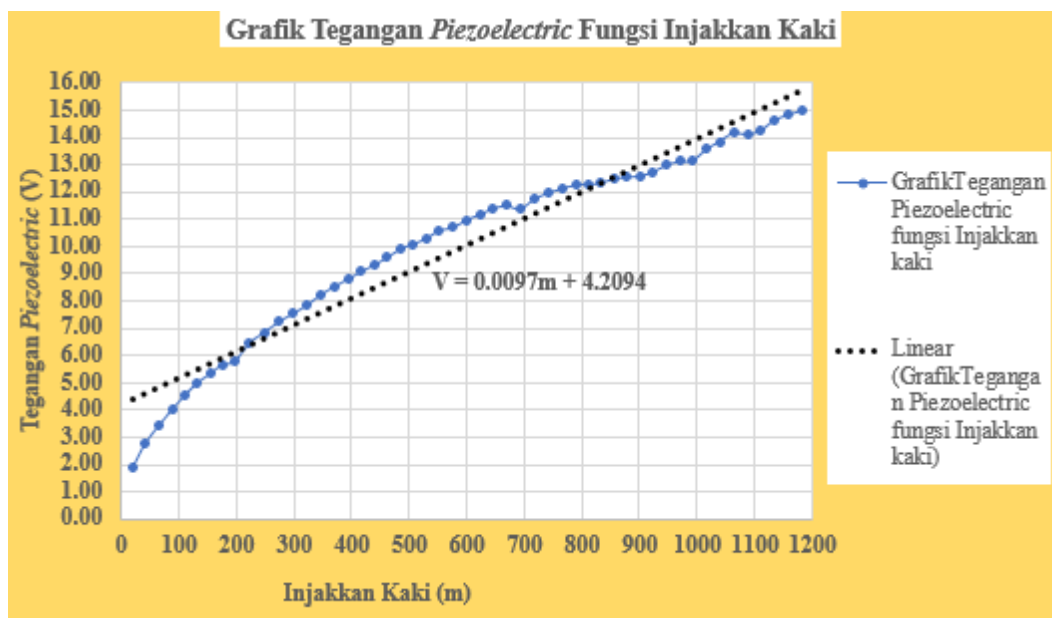
Dari hasil analisis diatas terlihat nilai efisiensi terbesar pada G sebesar 1080 W/m² dengan nilai efisiensi 11,24%. Namun, berdasarkan sumber : Wikipedia.com nilai intensitas matahari ke bumi (G) sebesar 1367 W/m² sehingga nilai efisiensi dari panel surya tersebut masih bisa naik. Adapun jika dirumuskan dapat dilihat dibawah ini, sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \frac{\text{Efisiensi panel surya analisis}}{\text{Efisiensi panel surya maksimum}} &= \frac{\text{Intensitas matahari analisis}}{\text{Intensitas matahari maksimum}} \\
 \frac{11,24 \%}{\text{Efisiensi panel surya maksimum}} &= \frac{1080 \text{ W/m}^2}{1367 \text{ W/m}^2} \\
 \text{Efisiensi panel surya maksimum} &= \frac{1367 \text{ W/m}^2}{1080 \text{ W/m}^2} \times 11,24\% = 14,23\%
 \end{aligned}$$

Adapun performansi solar cell ditunjukkan pada gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Hubungan tegangan dan efisiensi baterai



Gambar 6. Hubungan tegangan piezoelectric dan injakan kaki

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan data yang telah diperoleh dari hasil pembuatan dan pengujian alat maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penelitian ini telah memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi pembangkit listrik untuk mengisi baterai/aki yang nantinya baterai/aki ini akan dipakai untuk mensupay beban. Dalam penggunaan PLTS ini diperoleh efisiensi sebesar 11,24% pada G sebesar 1080 W/m^2 . Adapun jika nilai G maksimum sebesar 1367 W/m^2 maka nilai efisiensinya akan bertambah menjadi sebesar 14,23%. Dari hasil analisis didapatkan pula bahwa hubungan antara tegangan baterai/aki sebagai fungsi dari efisiensi PLTS mengikuti persamaan : $V = 0.0157\eta + 13.373$. Pada efisiensi sebesar 14,23% didapatkan tegangan sebesar 13,596V, yang mana nilai ini masih berada dalam jangkauan tegangan operasi baterai.
2. Dalam penelitian ini telah difungsikan sistem pengisian baterai/aki oleh PLTS sebagai suplay daya utama pada sistem *hybrid grid connected*. Baterai yang telah terisi penuh sebesar 12,32V ternyata mampu mensuplay beban sebesar 65W selama kurung waktu 2 jam 44 menit, dan

sesudahnya system grid pln akan masuk beroperasi secara otomatis ketika tegangan baterai berada dibawah batas minimum.

3. Dalam penelitian ini untuk mem-*backup* sistem pengisian baterai/aki pada musim hujan maka digunakan sistem *piezoelectric* yang menghasilkan tegangan sebesar 15,01V pada pengujian *stand alone* dengan penginjakkan kaki sebanyak 1184 kali. Sistem *piezoelectric* belum bisa digabung dalam sistem karena bukan merupakan sumber tegangan tetap yang mana tidak tercapai tegangan awal yang cukup untuk bisa masuk dalam sistem.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Siagian and F. Fahreza, "Rekayasa Penanggulangan Fluktuasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Vehicle To Grid (V2G)," in *Seminar Nasional Teknologi Komputer & Sains (SAINTEKS)*, 2020, vol. 1, no. 1, pp. 356-361.
- [2] D. R. Rahman, M. K. I. Basith, T. R. Darmawan, and S. F. Mujiyanti, "RSV-P (Road Speed Bump's Vibration Power Plant): Pemanfaatan Speed Bump Sebagai Media Konversi Getaran Jalan Menjadi Energi Listrik Alternatif EBT Berbasis IOT," *Lomba Karya Tulis Ilmiah*, vol. 3, no. 1, pp. 1-16, 2022.
- [3] A. Hasibuan, W. V. Siregar, and M. Sayuti, *Pemanfaatan Energi Angin Untuk Pembangkit Energi Listrik Di Daerah Kepulauan Menggunakan Kincir Angin Skala Kecil*. Feniks Muda Sejahtera, 2023.
- [4] S. Suwasti and M. R. Djalal, "Design of Continuous Water Heater Hybrid Solar And Gas System," *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 99, no. 7, 2023.
- [5] M. A. Ridho, B. Winardi, and A. Nugroho, "Analisis Potensi Dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro Menggunakan Software Pvsyst 6.43," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 7, no. 4, pp. 883-890, 2019.
- [6] F. Kuway and G. D. Prenata, "RANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DALAM KONTEKS PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN DI DESA SABAL (Kab. Kepulauan Tanimbar Kec. Wermakatian)," *Jurnal ELKO (Elektrikal dan Komputer)*, vol. 4, no. 1, 2023.
- [7] P. Gunoto and S. Sofyan, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya 100 Wp Untuk Penerangan Lampu Di Ruang Selsar Fakultas Teknik Universitas Riau Kepulauan," *Sigma Teknika*, vol. 3, no. 2, pp. 96-106, 2020.
- [8] S. Suwasti, Y. Klistafani, and M. R. Djalal, "Application of Water Tube Filling Pump in Hybrid System of Solar Energy and PLN," *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 7, 2024.