

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID* MENGGUNAKAN *PHOTOVOLTAIC* DAN *WIND TURBINE* SUMBU HORIZONTAL UNTUK PENERANGAN PADA *ROOFTOP* RUMAH

**Adiyan Daniswara Utami; Umi Fadlilah
Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta**

Abstrak

Konsumsi energi saat ini semakin meningkat. Energi fosil yang digunakan terus menerus akan menipis, jadi dibutuhkan pengembangan renewable energy. Renewable energy ini sangat berpotensi untuk mengatasi ketersediaan energi fosil yang semakin menipis dari tahun ke tahun. Salah satu energi yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia adalah energi surya dan energi bayu. Keduanya dapat disatukan menjadi sebuah pembangkit listrik tenaga hybrid menggunakan photovoltaic dan wind turbine. Pada rancang bangun pembangkit ini menggunakan photovoltaic berkapasitas 60 Wp dan generator DC dengan kapasitas 40 Watt yang nantinya akan digunakan untuk beban lampus 15 Watt pada rooftop rumah. Penggabungan pembangkit listrik hybrid dari photovoltaic dan wind turbine dalam pengujian tiga hari berturut-turut didapatkan hasil pengujian daya rata-rata maksimal yaitu 18,98 Watt dan 12,226 Watt. Penelitian ini juga membandingkan pengukuran manual dengan pengukuran secara otomatis menggunakan sensor. Rata-rata persentase kesalahan antara alat ukur dan otomatis tidak jauh berbeda yaitu sekitar 0,082% sehingga tingkat akurasi juga tinggi mencapai 99,918%.

Kata kunci : Hybrid, Photovoltaic, PLTB, PLTH, PLTS, Wind Turbine

Abstract

Energy consumption today is increasing. Fossil energy that is used continuously will run low, so the development of renewable energy is needed. Renewable energy has the potential to overcome the availability of fossil energy that is dwindling from year to year. One of the potential energy to be developed in Indonesia is solar energy and wind energy. Both can be put together into a hybrid power plant using photovoltaic and wind turbine. In the design of this plant using photovoltaic with a capacity of 60 Wp and a DC generator with a capacity of 40 Watt which will later be used for 15 Watt lamp loads on the rooftop of the house. The combination of hybrid power plants from photovoltaic and wind turbines in three consecutive days of testing results obtained maximum average power test results of 18.98 Watts and 12.226 Watts. The study also compared manual measurements with automated measurements using sensors. The average percentage of error between measuring instruments and automatic is not much different, which is around 0.082% so that the accuracy rate is also high, reaching 99.918%.

Keywords : Hybrid, Photovoltaic, PLTB, PLTH, PLTS, Wind Turbine

1. PENDAHULUAN

Energi listrik sudah menjadi kebutuhan primer, sehingga kurva penyediaan listrik semakin berkembang yang biasa dikonsumsi setiap hari oleh konsumen. Meningkatnya kurva penyediaan listrik ini harus diimbangi dengan efek yang ditimbulkan pada lingkungan sekitarnya. Seperti yang diketahui bahwa salah satu penyuplai pasokan tenaga listrik terbesar di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang memiliki bahan bakar berupa fosil (Devrifqi & Mowaviq, 2021).

Fosil yang saat ini terbatas, maka perlu dilakukan pengembangan renewable energy (Alfanz et al., 2016). Negara Indonesia memiliki iklim tropis dan merupakan Negara yang terdiri dari gugusan kepulauan, sehingga Indonesia memiliki keuntungan untuk mengembangkan pembangkit dari renewable energy (Setia et al., 2021). Renewable energy yang melimpah dapat dimanfaatkan untuk pembuatan pembangkit skala kecil yang tak terbatas. Renewable energy ini berpotensi untuk mengatasi energi fosil yang semakin menipis setiap tahunnya (Alfanz et al., 2016). Salah satu energi yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia adalah energi surya dan energi bayu. Keduanya dapat disatukan menjadi sebuah pembangkit listrik tenaga hybrid menggunakan photovoltaic dan wind turbine. Salah satu penggunaan nyata dari pemanfaatan kedua energi tersebut dapat diimplementasikan kepada beban skala kecil, sehingga menjadi salah satu solusi untuk penghematan energi listrik di perumahan (Setia et al., 2021).

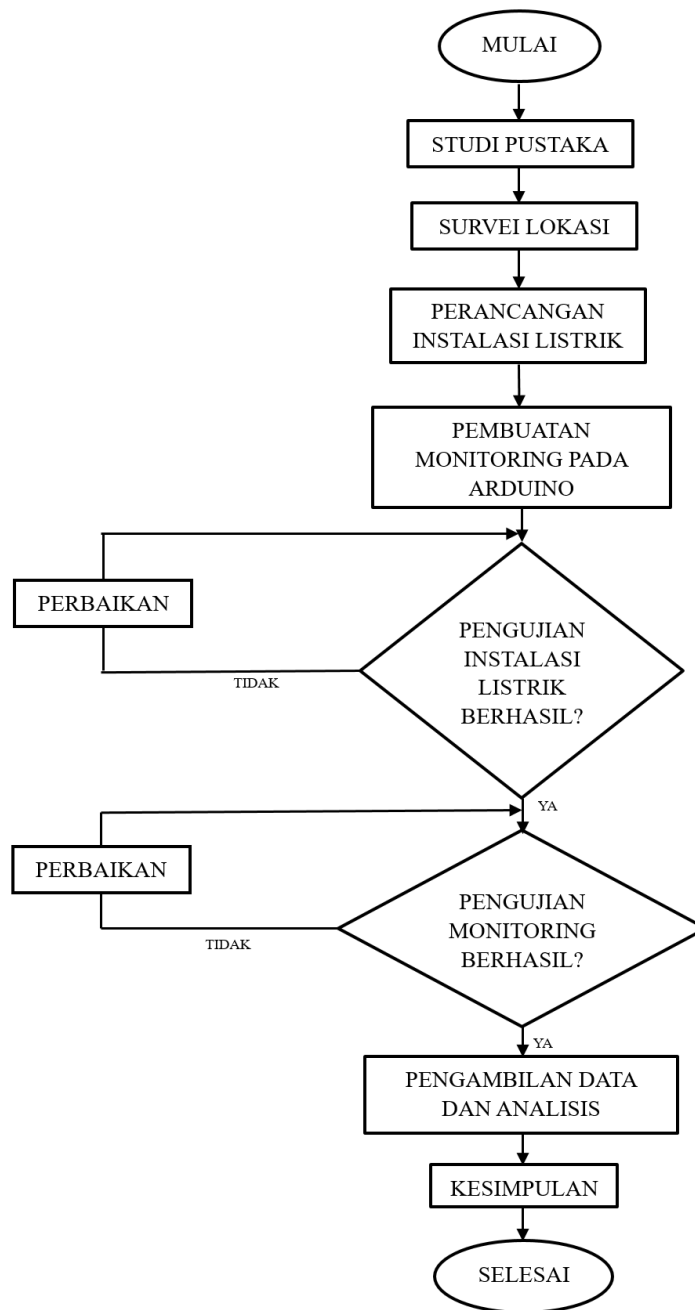
Photovoltaic digunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk menghasilkan listrik dari cahaya matahari. Cahaya matahari ini mengandung foton yang nantinya jika terkena photovoltaic akan dikonversi secara langsung menjadi listrik. (Devrifqi & Mowaviq, 2021). Energi yang dihasilkan photovoltaic dipengaruhi oleh parameter iklim atau lingkungan wilayah tertentu, seperti intensitas radiasi matahari, dan kelembaban (Fadillah et al., 2021). Wind turbine digunakan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dan memerlukan sumber daya berupa angin. Sumber daya alam ini setiap hari bersirkulasi di dunia baik di siang hari maupun di malam hari. Gerak putaran yang disebabkan oleh angin merupakan energi kinetik yang diubah menjadi energi listrik. (Devrifqi & Mowaviq, 2021). Kecepatan dan arah angin merupakan faktor utama yang menentukan energi yang bisa dihasilkan wind turbine (Fadillah et al., 2021)

Pada kesempatan kali ini, penulis membuat rancang bangun pembangkit listrik tenaga hybrid menggunakan photovoltaic dan wind turbine untuk penerangan pada rooftop rumah. Kombinasi dari dua pembangkit ini merupakan kombinasi yang bersifat intermittent. Pembangkit yang bersifat intermittent adalah pembangkit yang mempunyai sifat berselang – seling antara iya dan tidak dalam mensuplai daya listrik, mengingat sumbernya adalah angin yang kecepatannya tidak selalu konstan untuk PLTB dan cahaya yang hanya tersedia pada siang hari untuk PLTS. Penulis berharap dengan penggabungan kedua pembangkit ini, dapat mengoptimalkan kapasitas dengan memadukan keunggulan kedua pembangkit ini yang nantinya dapat membantu untuk penghematan energi listrik pada suatu rumah.

2. METODE

Penelitian ini memiliki langkah kerja dalam bentuk diagram alir pada gambar 1 di bawah ini. Penelitian ini mengamati dan menganalisis output pengujian yang dihasilkan oleh PLTS, PLTB, PLTH, Baterai dan Beban. Penelitian ini juga membandingkan keluaran dari photovoltaic, generator DC serta baterai menggunakan alat ukur dan sensor. Pengambilan data dilakukan untuk menganalisis

penggunaan beban untuk penerangan di suatu rooftop rumah..



Gambar 1. Diagram Alir

2.1. Studi Pustaka

Studi Pustaka merupakan metode dengan mencari dan mengumpulkan informasi yang dapat dijadikan referensi dari jurnal–jurnal khususnya di bidang energi terbarukan (renewable energy) sebagai referensi (Nurjaman & Purnama, 2022). Sumber dari studi pustaka bisa didapatkan dari buku, jurnal atau makalah, tesis atau internet yang berkaitan dengan penelitian kita. Pada hal ini penulis melakukan tinjauan ulang melalui sumber-sumber yang sudah ada sebelumnya dan dijadikan referensi dalam penelitian ini.

2.2. Survei Lokasi

Survei Lokasi merupakan tahapan menentukan lokasi yang cocok dengan pembuatan tugas akhir ini.

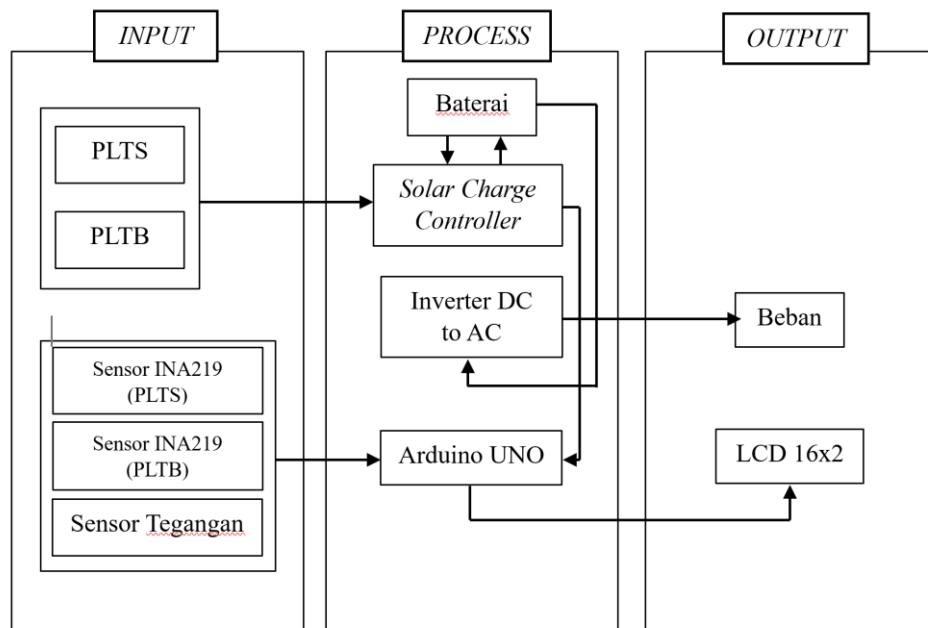
Oleh karena itu, penting untuk mengetahui kondisi sebenarnya dari tempat yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini. Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa tempat penelitian berada pada Rooftop Rumah di Kota Cepu, Kabupaten Blora.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

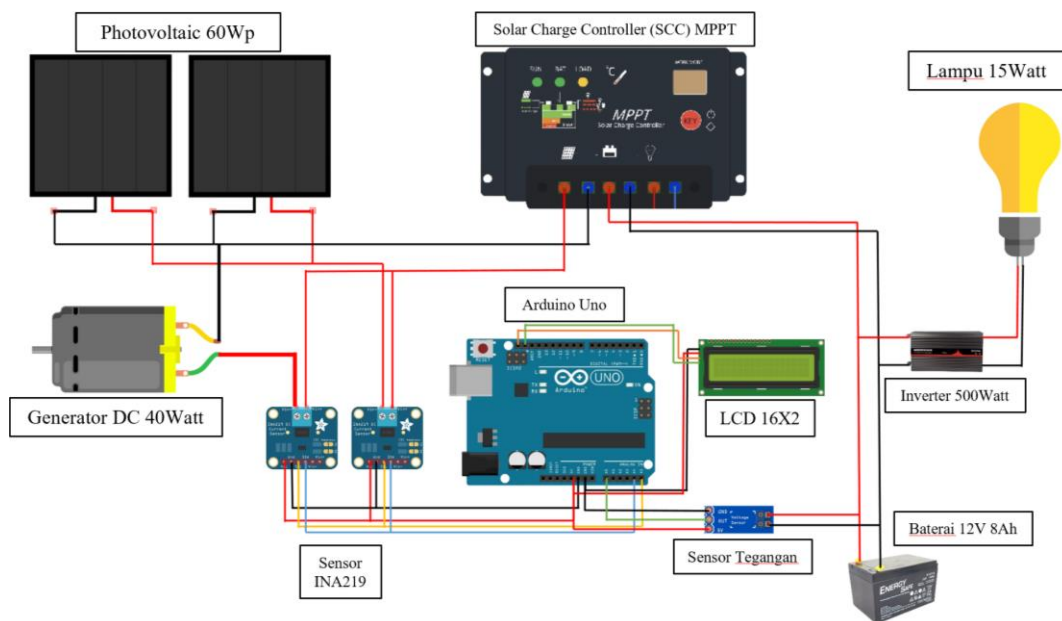
2.3. Pembuatan Sistem

Tahapan pembuatan sistem merupakan rancangan hardware yang akan dilakukan. Pada Gambar 3 merupakan kombinasi dari dua pembangkit yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), untuk penyimpanan pada baterai menggunakan charge controller. Charge controller yang digunakan yaitu Maximum Power Point Tracking (MPPT). Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah sebuah sistem elektronik yang harus ada pada sebuah sistem photovoltaic agar sistem dapat menghasilkan daya maksimal. Beberapa sensor membaca parameter keluaran seperti sensor tegangan untuk membaca tegangan baterai, dua sensor INA 219 untuk membaca parameter keluaran PLTS dan PLTB. Selanjutnya Arduino Uno memproses pembacaan keluaran dari sensor tegangan dan sensor INA 219, setelah itu hasil monitoring ditampilkan pada layar LCD berukuran 16x2. Beban yang digunakan merupakan lampu AC, maka dibutuhkan inverter DC to AC yang dihubungkan ke beban.



Gambar 3. Blok Diagram Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Implementasi rangkaian ini dapat dilihat pada Gambar 4. Rangkaian listrik dan sistem monitoring dihubungkan sesuai desain rangkaian yang telah dibuat.



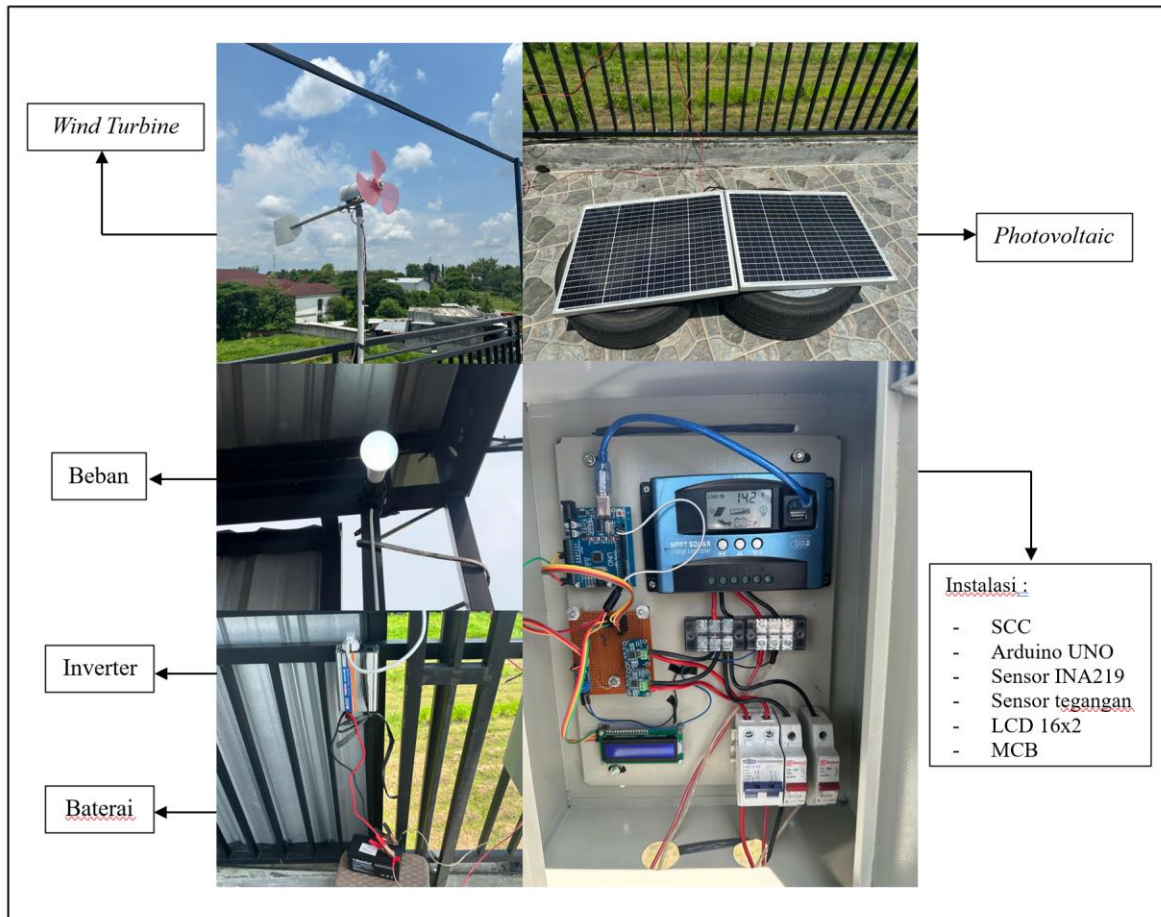
Gambar 4. Wiring Diagram System

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Realisasi Alat

Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) ini merupakan gabungan dari photovoltaic dengan kapasitas 60 Wp dan wind turbine dengan menggunakan turbin sumbu horizontal dan generator DC 40 watt. Sistem pembangkit ini menggunakan charge controller untuk mengontrol sistem pengisian baterai. Sensor INA 219 akan membaca output dari dua pembangkit tersebut dan sensor tegangan membaca tegangan baterai kemudian diproses oleh software Arduino IDE. Selanjutnya sistem ini akan

dimonitor menggunakan LCD 16x2 dan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hardware Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid menggunakan Photovoltaic dan Wind Turbine

Tabel 1. Spesifikasi *Photovoltaic*

Parameter Spesifikasi	Keterangan
<i>Merk</i>	MS60M-72
<i>Voltage at Power (Vmp)</i>	18,2V
<i>Current at Power (Imp)</i>	3,34A
<i>Open-Circuit Voltage (Voc)</i>	21,51V
<i>Short-Circuit Current (Isc)</i>	3,59A

Penelitian ini menggunakan photovoltaic tipe monocrystalline dengan maksimal daya 60W. Jenis photovoltaic ini memiliki tegangan maksimal (Voc) apabila tanpa beban sebesar 18,2 Volt dan arus hubung singkat (Isc) yaitu 3,34 Ampere. Jika photovoltaic terdapat beban, maka menghasilkan tegangan maksimal (Vmp) sebesar 21,51 Volt dan arus maksimalnya (Imp) sebesar 3,59 Ampere.

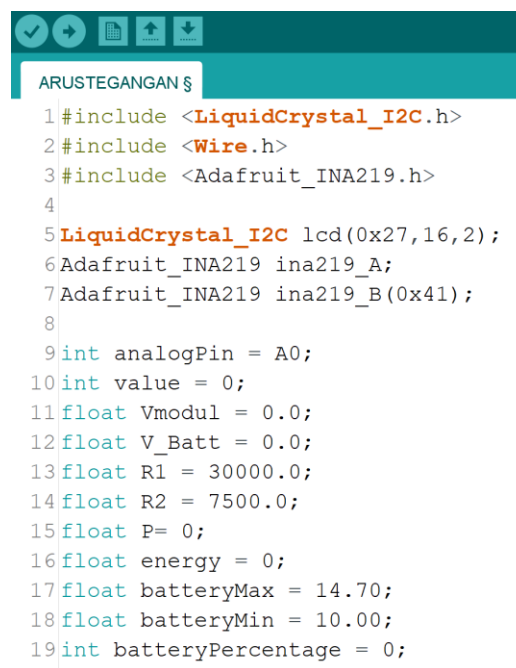
Tabel 2. Spesifikasi Generator DC

Parameter Spesifikasi	Keterangan
Tipe	DC Generator
Model	MI-50GE018
Rating Daya	40W
Rating Tegangan	12V - 24V
Rating Arus	1,5A
Rating Kecepatan	600 rpm
Shaft/Poros	8 mm

Penelitian ini menggunakan Generator DC MI-50GE018 dengan daya maksimal yang dapat dihasilkan 40 Watt. Tegangan yang dapat dihasilkan berkisar 12-24 Volt dengan arus 1,5 Ampere pada kecepatan 600 rpm.

3.2. Sistem Program Monitoring

Sistem Program Monitoring pada penelitian ini menggunakan software Arduino IDE dengan microcontroller berbasis Arduino UNO. Pada program ini terdapat 3 sensor yaitu 2 sensor INA 219 dan 1 sensor tegangan. Sensor INA 219 pertama digunakan untuk monitoring keluaran tegangan dan arus dari photovoltaic sedangkan sensor INA 219 kedua digunakan untuk monitoring keluaran tegangan dan arus dari generator DC yang terhubung pada wind turbine. Sensor tegangan digunakan untuk membaca tegangan baterai, setelah itu pembacaan sensor ditampilkan pada layar LCD 16x2.



```

ARUSTEGANGAN $
1 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
2 #include <Wire.h>
3 #include <Adafruit_INA219.h>
4
5 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
6 Adafruit_INA219 ina219_A;
7 Adafruit_INA219 ina219_B(0x41);
8
9 int analogPin = A0;
10 int value = 0;
11 float Vmodul = 0.0;
12 float V_Batt = 0.0;
13 float R1 = 30000.0;
14 float R2 = 7500.0;
15 float P= 0;
16 float energy = 0;
17 float batteryMax = 14.70;
18 float batteryMin = 10.00;
19 int batteryPercentage = 0;
--

```

Gambar 6. Script Program Monitoring



Gambar 7. Output Sensor dari Arduino

Hasil Pengukuran Keluaran Photovoltaic dan Wind Turbine

Pada proses penelitian ini dilakukan pengukuran untuk melihat keluaran photovoltaic, wind turbine, output inverter, serta perbandingan pengukuran secara langsung dengan alat ukur dan otomatis menggunakan sensor. Rumus rata-rata error dapat dilihat pada Persamaan 1, sedangkan rumus persentase akurasi diketahui dari Persamaan 2.

$$\text{Rata - rata error} = \frac{\text{pengukuran alat ukur} - \text{pengukuran sensor}}{\text{pengukuran alat ukur}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{nilai rata - rata error} \dots\dots\dots(2)$$

A. Pengujian PLTS Hari Pertama, Hari Kedua dan Hari Ketiga

Pada pengujian ini menggunakan beban lampu 15 watt. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian PLTS hari pertama, hari kedua, dan hari ketiga.

Tabel 3. Pengujian PLTS Hari Pertama, Hari Kedua, dan Hari Ketiga

Pengujian Hari Pertama					Pengujian Hari Kedua				Pengujian Hari Ketiga			
Waktu	(volt)	(ampere)	/(watt)	lux	(volt)	(ampere)	/(watt)	lux	(volt)	(ampere)	/(watt)	lux
10.00	13,77	1,69	23,27	389	3,79	1,8	24,82	394	0	0	0	0
10.30	13,78	1,81	24,94	392	3,89	1,91	26,52	701	0	0	0	0
11.00	13,89	2,01	27,91	712	3,93	2,01	27,99	715	0	0	0	0
11.30	13,91	2,21	30,741	749	3,77	1,79	24,64	395	0	0	0	0
12.00	14,25	2,39	34,057	824	3,65	1,52	20,74	358	4,04	0	0	0
12.30	14,22	2,32	32,99	811	3,33	1,55	20,66	352	0,45	0,07	0,731	85
13.00	14,12	2,22	31,346	789	2,89	1,6	20,62	351	2,97	1,86	24,124	392
13.30	14,03	2,18	30,585	743	2,78	1,42	18,14	376	3,47	2,02	27,2	719
14.00	13,9	2,11	29,329	729	2,34	0,58	7,15	375	3,23	1,07	14,15	356
14.30	13,65	1,67	22,795	379	2,03	0,18	0,36	3	2,91	1,11	14,33	375
15.00	13,15	1,45	19,067	316	1,05	0	0	0	2,84	1,5	19,26	311
16.00	12,43	0,61	7,582	364	0	0	0	0	0,56	0,73	7,7	342
17.00	2,11	0,3	0,63	55	0	0	0	0	2,56	0,09	0,23	7
18.30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 3 merupakan hasil pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) hari pertama, hari kedua dan hari ketiga. Alat ukur yang digunakan yaitu Clamp Meter untuk mengukur tegangan dan arus, serta Lux Meter untuk mengukur intensitas Cahaya. Hari pertama nilai tegangan dan arus tertinggi berada pada pukul 12.00 WIB yaitu 14,25 Volt dan 2,39 Ampere. Puncak tertinggi daya pada PLTS berada pada pukul 12.00 WIB dengan nilai 34,057 Watt. Untuk nilai puncak intensitas cahaya dari PLTS sebesar 824 lux pada pukul 12.00 WIB. Pada hari kedua nilai tegangan, arus dan daya tertinggi berada pada pukul

11.00 WIB dengan nilai 13,93 Volt, 2,01 Ampere dan 27,99 Watt. Untuk nilai puncak intensitas cahaya dari PLTS sebesar 851 lux pada pukul 11.00 WIB. Sedangkan hari ketiga memiliki nilai tegangan, arus dan daya tertinggi berada pada pukul 13.30 WIB dengan nilai 13,47 Volt, 2,02 Ampere dan 27,2 Watt. Untuk nilai puncak intensitas cahaya dari PLTS sebesar 802 lux pada pukul 13.30 WIB.

B. Pengujian PLTB Hari Pertama, Hari Kedua dan Hari Ketiga

Pada pengujian ini menggunakan beban lampu 15 watt. Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian PLTB hari pertama, hari kedua, dan hari ketiga.

Tabel 4. Pengujian PLTB Hari Pertama, Hari Kedua, dan Hari Ketiga

Waktu	Pengujian Hari Pertama					Pengujian Hari Kedua				
	V (volt)	(ampere)	V (watt)	Rpm	Kecepatan Angin	(volt)	(ampere)	V (watt)	Rpm	Kecepatan Angin (m/s)
10.00	0	0	0	0	0,18	0	0	0	0	0,28
10.30	0	0	0	0	0,71	0	0	0	0	0,19
11.00	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0,69
11.30	12,34	0,6	7,4	398	1,72	0	0	0	0	0,6
12.00	13,81	0,73	10,08	793	3,86	2,69	0,82	10,4	390	1,67
12.30	14,28	0,9	12,85	876	4,04	3,62	0,80	10,8	741	3,43
13.00	13,35	0,88	11,74	567	3,14	2,46	0,65	8,09	345	1,72
13.30	12,87	0,76	9,78	432	2,21	3,03	0,71	9,25	505	2,6
14.00	12,53	0,61	7,64	397	2,17	2,65	0,69	8,7	755	3,55
14.30	13,32	0,77	10,25	551	2,94	3,69	0,80	10,952	602	3,27
15.00	13,56	0,78	10,57	568	3,1	4,02	0,91	12,758	876	4,1
16.00	12,03	0,5	6,01	343	1,52	3,95	0,89	12,415	790	3,91
17.00	0	0	0	0	0,51	3,89	0,83	11,528	783	3,86
18.30	12,05	0,42	5,06	343	1,53	3,65	0,80	10,92	759	3,7
19.00	12,1	0,6	7,26	356	1,77	13,7	0,80	10,96	767	2,73

Pengujian Hari Ketiga					
Waktu	V (volt)	(Ampere)	W (watt)	Rpm	Kecepatan Angin (m/s)
10.00	12,6	0,53	6,678	337	1,59
10.30	13,47	0,65	8,755	550	2,81
11.00	13,38	0,63	8,429	475	2,31
11.30	13,33	0,6	7,9	389	2,21
12.00	13,67	0,73	9,97	759	3,1
12.30	13,78	0,82	11,29	743	3,56
13.00	13,5	0,7	9,45	456	2,86
13.30	13,41	0,6	8,046	455	2,53
14.00	13,34	0,6	8,004	391	2,2
14.30	0	0	0	0	0,42
15.00	0	0	0	0	0,45
16.00	0	0	0	0	0,25
17.00	0	0	0	0	0,44
18.30	0	0	0	0	0,41
19.00	0	0	0	0	0,37

Tabel 4 merupakan hasil pengukuran dari Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) hari pertama, hari kedua dan hari ketiga. Alat ukur yang digunakan yaitu Clamp Meter untuk mengukur tegangan dan arus, Tachometer untuk mengukur rpm dari generator wind turbine, serta Anemometer untuk mengukur kecepatan angin. Hari Pertama nilai tegangan, arus dan daya tertinggi berada pada pukul 12.30 WIB

dengan nilai 14,28 Volt, 0,9 Ampere dan 12,85 Watt, kemudian nilai puncak tertinggi rpm pada PLTB sebesar 876 rpm pukul 12.30 WIB. Pada hari kedua Nilai tegangan, arus dan daya tertinggi berada pada pukul 15.00 WIB dengan nilai 14,02 Volt, 0,91 Ampere dan 12,758 Watt, kemudian nilai puncak tertinggi rpm pada PLTB sebesar 876 rpm pukul 15.00 WIB. Sedangkan hari ketiga memiliki nilai tegangan, arus dan daya tertinggi berada pada pukul 12.30 WIB dengan nilai 13,78 Volt, 0,82 Ampere dan 11,29 Watt, kemudian nilai puncak tertinggi rpm pada PLTB sebesar 759 rpm pukul 12.00 WIB. Kelemahan PLTB pada pengujian yaitu saat angin memutar wind turbine, wind turbine hanya dapat bergerak tidak lebih dari 15 menit setelah itu akan diam jika tidak ada angin.

C. Pengujian PLTH, Baterai serta Beban Hari Pertama, Hari Kedua dan Hari Ketiga

Pada pengujian ini menggunakan beban lampu 15 watt yang nantinya akan digunakan untuk penerangan di rooftop rumah. Pada tempat tersebut dengan menggunakan beban lampu dengan kapasitas tersebut sudah cukup untuk menerangi tempat tersebut. Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian PLTH, Baterai, Beban serta Energy hari pertama, hari kedua, dan hari ketiga.

Tabel 5. Pengujian PLTH, Baterai, Beban dan Energy Hari Pertama, Hari Kedua, dan Hari ketiga

Pengujian Hari Pertama								
Waktu	PLTH	Baterai		Beban			Energy (Wh)	
	N (watt)	V (volt)	OC (%)	V (volt)	(ampere)	ktor Daya (watt)		
10.00	23,27	14,54	100%	222,6	0,059	0,94	12,34	0,49
10.30	24,94	14,67	100%	224,6	0,064	0,93	13,37	0,52
11.00	27,91	14,65	100%	224,3	0,059	0,94	12,44	0,41
11.30	38,14	14,69	100%	225,1	0,062	0,94	13,12	0,48
12.00	44,13	14,65	100%	225,3	0,063	0,95	13,48	0,49
12.30	45,84	14,66	100%	225,1	0,064	0,96	13,83	0,4
13.00	43,08	14,56	100%	226,6	0,066	0,98	14,65	0,54
13.30	40,36	13,81	75%	225,1	0,063	0,96	13,61	0,42
14.00	36,96	13,75	75%	225,2	0,061	0,96	13,19	0,43
14.30	33,04	13,68	75%	225,2	0,063	0,96	13,62	0,58
15.00	29,63	13,58	75%	225,4	0,062	0,95	13,28	0,48
16.00	13,59	13,3	75%	225,2	0,063	0,95	13,48	0,48
17.00	0,63	12,97	75%	224,6	0,065	0,94	13,72	0,52
18.30	5,06	13,32	50%	223,8	0,063	0,95	13,39	0,49
19.00	7,26	13,46	50%	222,8	0,062	0,94	12,98	0,47
Pengujian Hari Kedua								
10.00	24,82	12,2	50%	226,4	0,054	0,95	11,61	0,45
10.30	26,52	13,25	50%	226,4	0,055	0,95	11,83	0,52
11.00	27,99	13,66	50%	226,4	0,055	0,96	11,96	0,38
11.30	24,64	13,47	50%	226,3	0,059	0,95	12,68	0,42
12.00	31,14	14,13	75%	226,3	0,06	0,95	12,9	0,41
12.30	31,46	14,53	75%	226,3	0,06	0,94	12,76	0,39
13.00	28,71	13,81	50%	225,9	0,062	0,94	13,16	0,41
13.30	27,39	13,94	50%	225,9	0,063	0,95	13,52	0,38
14.00	15,85	13,75	50%	226,2	0,063	0,96	13,68	0,52
14.30	11,31	13,76	50%	226,2	0,066	0,96	14,33	0,57
15.00	12,75	13,8	50%	225,4	0,062	0,95	13,27	0,41
16.00	12,41	13,74	50%	225,2	0,063	0,95	13,48	0,49
17.00	11,52	13,29	50%	224,6	0,065	0,94	13,72	0,52

18.30	10,92	13	50%	224,8	0,063	0,95	13,45	0,43
19.00	10,96	12,85	50%	225,2	0,064	0,94	13,54	0,51
Pengujian Hari Ketiga								
10.00	6,67	12,3	25%	226,4	0,055	0,95	11,82	0,47
10.30	8,75	12,42	50%	226,4	0,055	0,95	11,82	0,54
11.00	8,43	12,44	50%	226,4	0,044	0,96	9,56	0,4
11.30	7,9	12,29	50%	226,3	0,049	0,95	10,53	0,51
12.00	9,97	12,74	50%	226,3	0,046	0,95	9,89	0,42
12.30	12,02	13,13	50%	226,3	0,052	0,95	11,18	0,43
13.00	33,57	13,93	50%	225,9	0,062	0,96	13,44	0,41
13.30	35,25	14,11	50%	226,2	0,06	0,98	13,3	0,57
14.00	22,15	13,87	50%	226,2	0,06	0,96	13,03	0,53
14.30	14,33	13,31	50%	226,1	0,06	0,96	13,02	0,47
15.00	19,26	13,24	50%	223,4	0,062	0,95	13,16	0,44
16.00	7,7	13,24	50%	223,2	0,057	0,95	12,08	0,41
17.00	0,23	12,78	50%	224,5	0,055	0,95	11,73	0,38
18.30	0	12,56	50%	224,2	0,048	0,95	10,22	0,4
19.00	0	12,5	50%	224,6	0,047	0,94	9,92	0,46

Tabel 5 merupakan hasil pengukuran dari Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH), Baterai serta Beban hari pertama, hari kedua dan hari ketiga. Hari pertama PLTH memiliki nilai daya tertinggi pada pukul 12.30 WIB dengan nilai 45,84 Watt. Daya tersebut digunakan untuk menyuplai baterai dan nilai tegangan tertinggi baterai sebesar 14,69 Volt pada pukul 11.30 WIB kemudian akan dihubungkan ke inverter lalu diteruskan ke beban. Nilai tegangan dan arus beban memiliki nilai 226,6 V dan 0,066 A pada pukul 13.00 WIB. Lama beban dapat digunakan tergantung dengan nilai yang dihasilkan oleh PLTS maupun PLTB. Rata-rata energy yang dapat digunakan menggunakan pembangkit hybrid sebesar 0,48 Wh atau 72% dari total konsumsi energi yang dibutuhkan. Pada hari kedua PLTH memiliki nilai daya tertinggi pada pukul 12.30 WIB dengan nilai 31,46 Watt. Daya tersebut digunakan untuk menyuplai baterai dan nilai tegangan tertinggi baterai sebesar 14,53 Volt pada pukul 12.30 WIB kemudian akan dihubungkan ke inverter lalu diteruskan ke beban. Nilai tegangan dan arus beban memiliki nilai 226,6 V dan 0,066 A pada pukul 14.30 WIB. Lama beban dapat digunakan tergantung dengan nilai yang dihasilkan oleh PLTS maupun PLTB. Rata-rata energy yang dapat digunakan menggunakan pembangkit hybrid sebesar 0,454 Wh atau 68,1% dari total konsumsi energi yang dibutuhkan. Sedangkan hari ketiga memiliki PLTH memiliki nilai daya tertinggi pada pukul 13.30 WIB dengan nilai 35,25 Watt. Daya tersebut digunakan untuk menyuplai baterai dan nilai tegangan tertinggi baterai sebesar 14,11 Volt pada pukul 13.30 WIB kemudian akan dihubungkan ke inverter lalu diteruskan ke beban. Nilai tegangan dan arus beban memiliki nilai 225,9 V dan 0,062 A pada pukul 13.00 WIB. Lama beban dapat digunakan tergantung dengan nilai yang dihasilkan oleh PLTS maupun PLTB. Rata-rata energy yang dapat digunakan menggunakan pembangkit hybrid sebesar 0,456 Wh atau 68,4% dari total konsumsi energi yang dibutuhkan. Pada tabel di atas dapat dilihat untuk daya yang dihasilkan dari dua pembangkit tersebut cukup besar. Jika di rata-rata daya yang dihasilkan dua pembangkit tersebut dalam pengujian tiga hari berturut-turut yaitu 20,19 Watt sedangkan daya beban yang digunakan yaitu 15 Watt. Hal ini

menunjukkan bahwa dari rancang bangun tersebut efektif dan bisa digunakan untuk beban lebih dari yang digunakan saat ini tergantung dari hasil daya dua pembangkit tersebut.

D. Perbandingan pengukuran secara langsung menggunakan alat ukur dan secara otomatis menggunakan sensor.

Tabel 6. Pengujian akurasi antara alat ukur dan sensor pada Photovoltaic

ATA KE	ALAT UKUR	SENSOR	SELISIH	ATA KE	ALAT UKUR	SENSOR	SELISIH
	TEGANGAN (V)	TEGANGAN (V)			ARUS (A)	ARUS (A)	
1	14,12	13,91	0,21	1	1,42	1,33	0,09
2	14,23	14,52	-0,29	2	1,48	1,63	-0,15
3	13,43	13,42	0,01	3	0,97	0,97	0
4	13,98	13,65	0,33	4	1,24	1,32	-0,08
5	14,93	14,83	0,1	5	2,25	1,88	0,37
Rata-rata error (%)			0,0255	Rata-rata error (%)			0,061
Akurasi (%)			99,974	Akurasi (%)			99,938

Pengujian pada Tabel 6 merupakan pengujian akurasi antara alat ukur dan sensor pada Photovoltaic. Pengujian sensor INA 219 pada photovoltaic dengan parameter tegangan memiliki akurasi 99,974% dan rata-rata error 0,0255%, sedangkan akurasi pada arus photovoltaic sebesar 99,938% dan rata-rata error 0,061%.

Tabel 7. Pengujian akurasi antara alat ukur dan sensor pada generator DC Wind Turbine

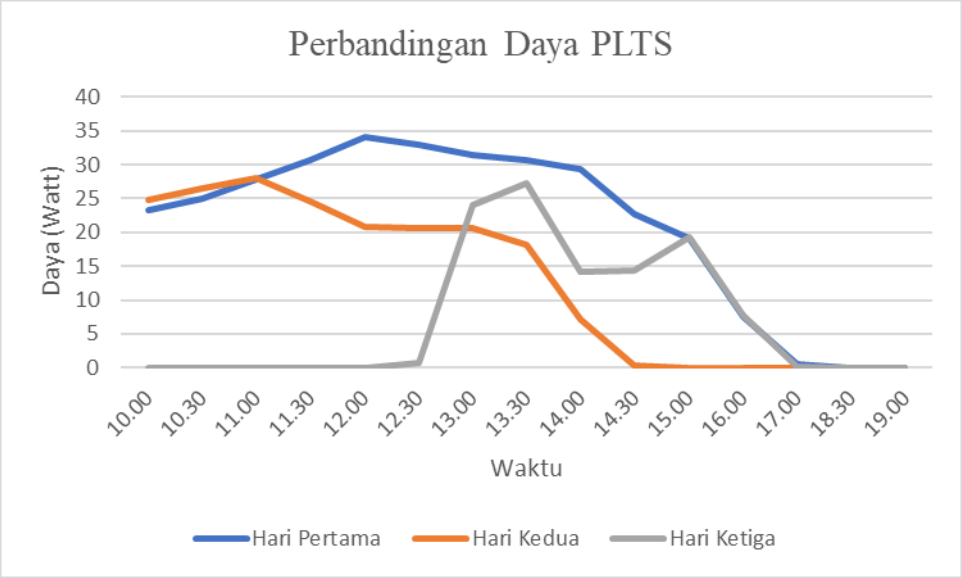
ATA KE	ALAT UKUR	SENSOR	SELISIH	ATA KE	ALAT UKUR	SENSOR	SELISIH
	TEGANGAN (V)	TEGANGAN (V)			ARUS (A)	ARUS (A)	
1	14,32	14,28	0,04	1	1,02	0,9	0,12
2	14,01	13,9	0,11	2	0,87	0,7	0,17
3	13,92	13,75	0,17	3	0,73	0,8	-0,07
4	13,98	13,89	0,09	4	0,78	0,7	0,08
5	14,22	14,1	0,12	5	0,74	0,8	-0,06
Rata-rata error (%)			0,0377	Rata-rata error (%)			0,238
Akurasi (%)			99,962	Akurasi (%)			99,761

Pengujian pada Tabel 7 merupakan pengujian akurasi antara alat ukur dan sensor pada generator DC Wind Turbine yang ada pada hasil pengujian pada wind turbine juga menggunakan sensor INA 219 dengan akurasi tegangan sebesar 99,962% dan rata-rata error 0,0377%, untuk pembacaan arusnya memiliki akurasi sebesar 99,761% dengan rata-rata error sebesar 0,238%.

Tabel 8. Pengujian akurasi antara alat ukur dan sensor pada Tegangan Baterai

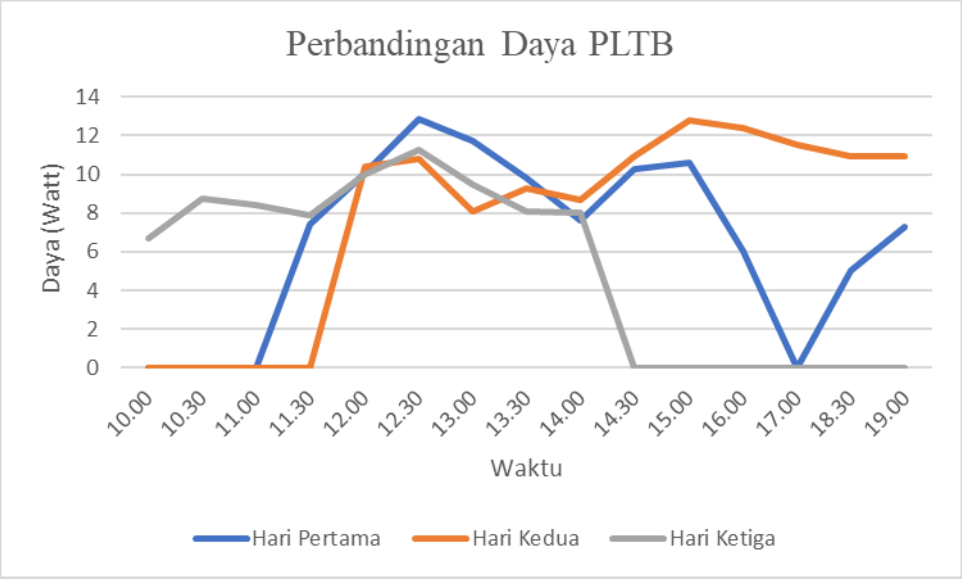
ATA KE	ALAT UKUR	SENSOR	SELISIH
	TEGANGAN (V)	TEGANGAN (V)	
1	13,96	14,08	-0,12
2	13,92	13,9	0,02
3	13,8	13,6	0,2
4	13,28	12,98	0,3
5	12,86	12,62	0,24
Rata-rata error (%)			0,048
Akurasi (%)			99,951

Pengujian pada Tabel 8 merupakan pengujian akurasi antara alat ukur dan sensor pada Tegangan Baterai yang menggunakan sensor tegangan dengan akurasi tegangan sebesar 99,951% dan rata-rata error 0,048%.



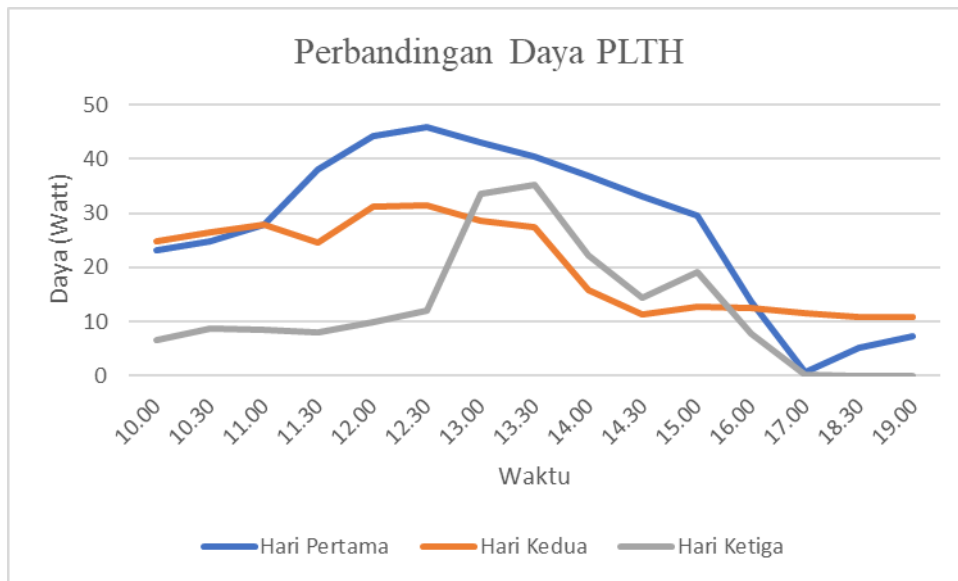
Gambar 8. Grafik Perbandingan Daya PLTS

Gambar 8 merupakan perbandingan nilai daya PLTS yang dihasilkan selama tiga hari berturut-turut. Grafik tersebut menunjukkan daya tertinggi berada pada Hari Pertama dengan waktu 12.00 WIB dan dapat dilihat nilai daya tercantum pada Tabel 3 yaitu 34,057 Watt. Tinggi dan rendahnya daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh cahaya matahari yang dihasilkan setiap harinya.



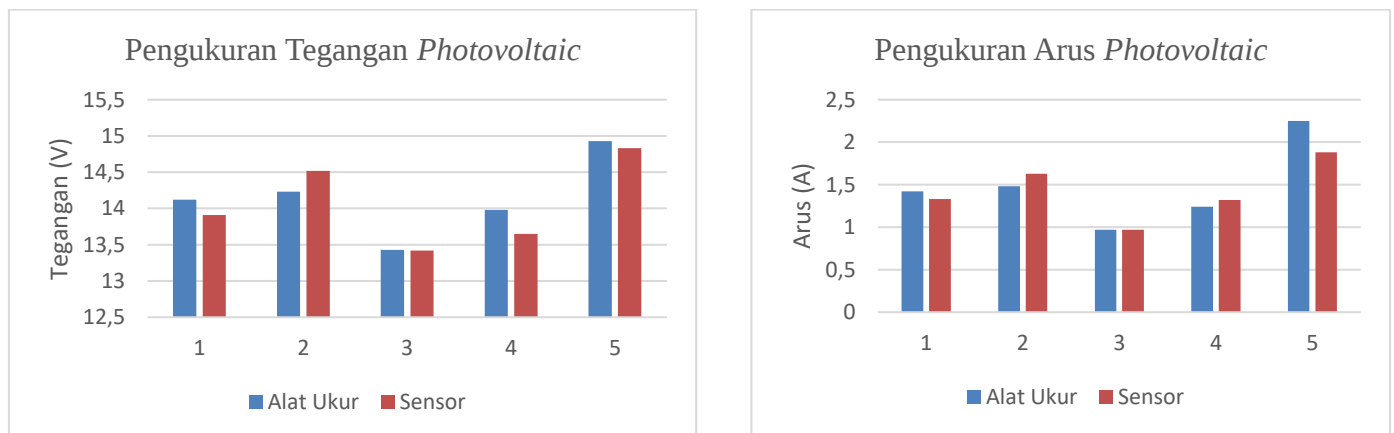
Gambar 9. Grafik Perbandingan Daya PLTB

Gambar 9 merupakan perbandingan nilai daya PLTB yang dihasilkan selama tiga hari berturut-turut. Grafik tersebut menunjukkan daya tertinggi berada pada Hari Pertama dengan waktu 12.30 WIB dan dapat dilihat nilai daya tercantum pada Tabel 4 yaitu 12,85 Watt. Tinggi dan rendahnya daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh kecepatan angin yang dihasilkan setiap harinya.



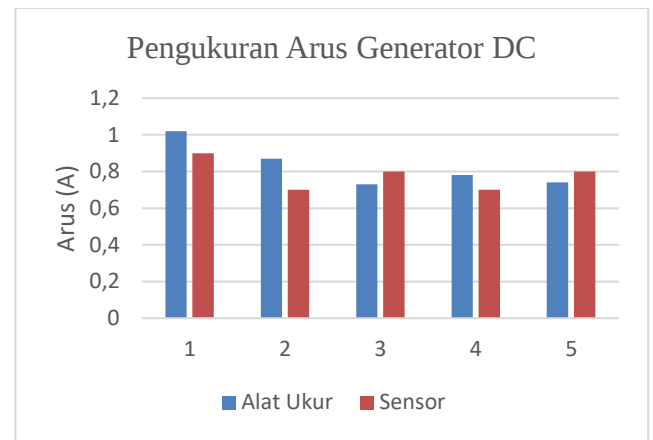
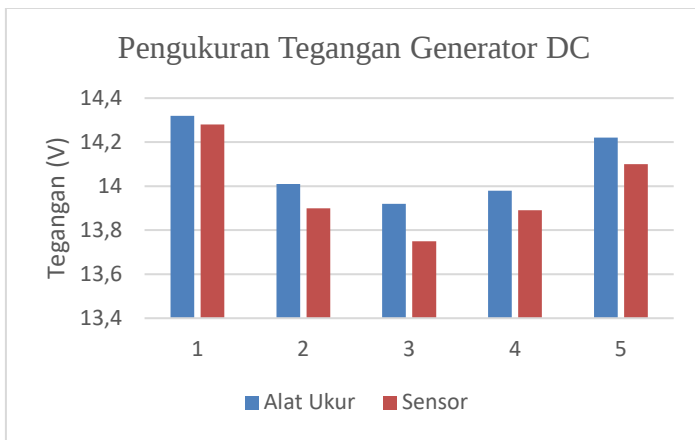
Gambar 10. Grafik Perbandingan Daya PLTH

Gambar 10 merupakan perbandingan nilai daya PLTH yang dihasilkan selama tiga hari berturut-turut. Grafik tersebut menunjukkan daya tertinggi berada pada Hari Pertama dengan waktu 12.30 WIB dan dapat dilihat nilai daya tercantum pada Tabel 5 yaitu 22,74 Watt. Tinggi dan rendahnya daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh daya dari PLTS maupun PLTB yang dihasilkan setiap harinya.



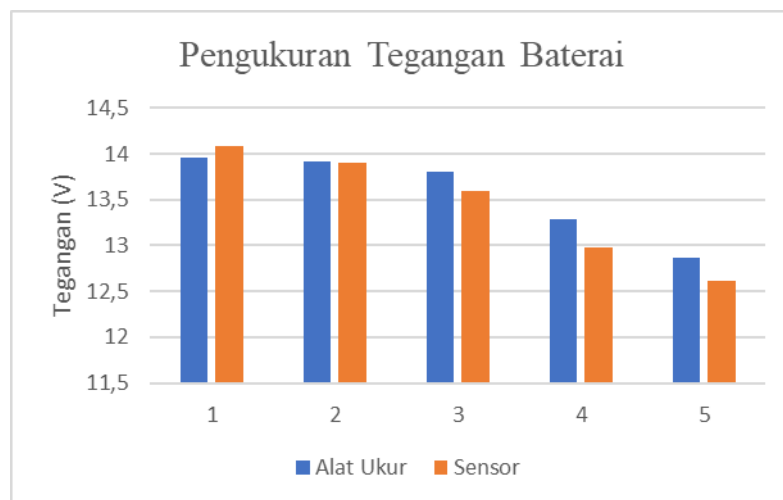
Gambar 11. Grafik Perbandingan Pengukuran Tegangan dan Arus Photovoltaic antara Alat Ukur dan Sensor

Gambar 11 merupakan grafik perbandingan pengukuran tegangan dan arus photovoltaic menggunakan alat ukur dan sensor, dilihat dari grafik tersebut bahwa nilai tegangan ataupun arus yang dihasilkan tidak berbeda jauh antara menggunakan alat ukur dan sensor. Rata-rata error dan tingkat akurasi yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 12. Grafik Perbandingan Pengukuran Tegangan dan Arus Generator DC antara Alat Ukur dan Sensor

Gambar 12 merupakan grafik perbandingan pengukuran tegangan dan arus generator DC menggunakan alat ukur dan sensor, dilihat dari grafik tersebut bahwa nilai tegangan ataupun arus yang dihasilkan tidak berbeda jauh antara menggunakan alat ukur dan sensor. Rata- rata error dan tingkat akurasi yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 7.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Pengukuran Tegangan Baterai antara Alat Ukur dan Sensor

Gambar 13 merupakan grafik perbandingan pengukuran tegangan baterai menggunakan alat ukur dan sensor, dilihat dari grafik tersebut bahwa nilai tegangan yang dihasilkan tidak berbeda jauh antara menggunakan alat ukur dan sensor. Rata- rata error dan tingkat akurasi yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 8.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada pembangkit listrik tenaga hybrid, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil keluaran tegangan, arus, dan daya pembangkit listrik tenaga surya dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari. Nilai intensitas cahaya yang tinggi, maka keluaran tegangan, arus, dan daya akan meningkat, begitu juga sebaliknya.

2. Pada nilai tegangan, arus, dan daya pembangkit listrik tenaga bayu dipengaruhi oleh kecepatan angin. Kecepatan angin yang semakin cepat akan meningkatkan nilai tegangan, arus dan daya.
3. Pada pengujian selama 3 hari berturut-turut PLTS bekerja secara optimal pada pukul 12.30 – 14.30 WIB sedangkan PLTB bekerja secara optimal pada pukul 12.00 - 16.00 WIB tergantung dengan kecepatan angin setiap harinya.
4. Lama beban lampu 15 watt pada rancang bangun pembangkit listrik tenaga hybrid dapat digunakan tergantung hasil dari PLTS dan PLTB.
5. Pada pengujian tersebut untuk daya yang dihasilkan dari dua pembangkit tersebut cukup besar. Jika di rata-rata daya yang dihasilkan dua pembangkit tersebut dalam pengujian tiga hari berturut-turut yaitu 20,19 Watt sedangkan daya beban yang digunakan yaitu 15 Watt. Hal ini menunjukkan bahwa dari rancang bangun tersebut efektif dan bisa digunakan untuk beban lebih dari yang digunakan saat ini tergantung dari hasil daya dua pembangkit tersebut.
6. Pengukuran manual dan otomatis yang diuji sangat kecil untuk tingkat errornya. Rata-rata error dari tegangan photovoltaic, generator DC, dan baterai yaitu 0,037% sedangkan rata-rata error dari arus photovoltaic dan generator DC yaitu 0,149%.

Adapun saran-saran untuk pengembangan penelitian dan perbaikan alat antara lain :

1. Menambahkan sebuah pengontrol untukantisipasi jika RPM dari generator melebihi standart pada datasheet agar tidak terjadi kerusakan.
2. Connector pada inverter dapat dihubungkan ke solar charge controller terlebih dahulu agar dapat dikontrol sehingga pemakaian daya baterai tidak digunakan sampai habis.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfanz, R., Maulana K, F., & Haryanto, H. (2016). Rancang Bangun Penyedia Energi Listrik Tenaga Hibrida (PLTS-PLTB-PLN) Untuk Membantu Pasokan Listrik Rumah Tinggal. *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 4(2), 78. <https://doi.org/10.36055/setrum.v4i2.456>
- Devrifqi, U. M., & Mowaviq, M. I. (2021). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Hybrid Tenaga Surya dan Bayu Untuk Simulasi Pompa Aerator Kolam 25 W. *Sutet*, 11(1), 36–50. <https://doi.org/10.33322/sutet.v11i1.1455>
- Fadillah, R. Z., Mahendra, A. I., Pangestu, M. B., Afriansyah, A., Rahman, A. F., Muhasabah, A., Susanty, M., & Setiawan, E. (2021). Perbandingan Penggunaan Panel Surya dan Turbin Angin dalam Implementasi Energi Baru Terbarukan (EBT) di Lingkungan Universitas Pertamina. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(1), 029–037. <https://doi.org/10.29122/jtl.v22i1.3247>
- Nurjaman, H. B., & Purnama, T. (2022). Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga. *Jurnal Edukasi Elektro*, 6(2), 136–142. <https://doi.org/10.21831/jee.v6i2.51617>
- Setia, G. A., Sutriyadi, Winanti, N., Haz, F., & Iskandar, H. R. (2021). Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Solar Cell dan Wind Turbine) untuk Beban Perumahan. *EPSILON: Journal of Electrical Engineering and Information Technology*, 19(2), 33–39. <https://doi.org/10.55893/epsilon.v19i2.58>