

Rancang Bangun Sistem Pengaturan Suplai Energi Listrik Pembangkit Hibrida antara PLTS dan Generator 1.000 VA Menggunakan Arduino Uno

GIOVANI ELSYE RUMAROPEN, NASRUN HARIYANTO

Teknik Elektro Insitut Teknologi Nasional Bandung

Email : giovanielsye12@mhs.itenas.ac.id

Received DD MM YYYY | *Revised* DD MM YYYY | *Accepted* DD MM YYYY

ABSTRAK

Listrik merupakan energi utama yang sangat dibutuhkan di era modern saat ini. Penelitian ini akan disimulasikan suatu sistem pengontrolan dan penyimpanan daya dari energi matahari yaitu sel surya dan generator AC yang dapat mengintegrasikan serta mengoptimalkan hasil konversi energi matahari untuk disimpan pada baterai dan di distribusikan ke beban secara otomatis. Pengujian ini bekerja sesuai dengan perencanaan sumber energi listrik dari PLTS bekerja selama 10 jam, sumber energi listrik dari baterai bekerja selama 6 jam dan sumber energi listrik dari generator 8 jam. Jika baterai 12V maka energy listrik di suplai oleh baterai. Jika tegangan baterai 10V, Arduino Uno mengontrol transistor agar menggerakkan relay. Kontak relay menghubungkan sumber tegangan dengan motor DC. Motor DC berputar menggerakkan generator AC. Setelah generator AC mengeluarkan tegangan 220V, motor DC berhenti berputar.

Kata kunci: sistem kendali, energi terbarukan, teknologi hybrid, Arduino Uno.

ABSTRACT

Electricity is the main energy that is needed in today's modern era. This research will simulate a system for controlling and storing power from solar energy, namely solar cells and AC generators that can integrate and optimize the results of solar energy conversion to be stored in batteries and distributed to loads automatically. This test works in accordance with the planning of the electrical energy source from the PLTS working for 10 hours, the electrical energy source from the battery working for 6 hours and the electrical energy source from the generator working for 8 hours. If the battery is 12V then the electrical energy is supplied by the battery. If the battery voltage is 10V, Arduino Uno controls the transistor to drive the relay. The relay contacts connect the voltage source to the DC motor. The DC motor rotates to drive the AC generator. After the AC generator outputs 220V, the DC motor stops rotating.

Keywords: control system, renewable energy, hybrid technology, Arduino Uno.

1. PENDAHULUAN

Krisis energi merupakan masalah hingga saat ini masih menyelimuti kehidupan di era modern dimana hampir segala aktifitas sangat bergantung pada energi. Seiring dengan pertumbuhan penduduk, kebutuhan energi di Indonesia khususnya dan di dunia pada umumnya dari tahun ke tahun semakin meningkat. Karena energi juga merupakan unsur penunjang yang sangat penting dalam proses pertumbuhan ekonomi dan ikut menentukan keberhasilan pembangunan di sektor lain (**Hikmawan, 2012**).

Pembangkit Listrik *Hybrid* adalah penggunaan dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber yang berbeda. Tujuan utama dari sistem *Hybrid* pada dasarnya adalah berusaha menggabungkan dua atau lebih sumber (sistem pembangkit) sehingga dapat saling menutupi kelemahan masing-masing dan dapat dicapai keandalan *supply* dan efisiensi *economic* pada beban tertentu (**Nurmela, 2019**).

Akan tetapi di Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi pembangkit energi terbarukan yang besar yang dapat dimanfaatkan sebagai salah satu cara mengatasi krisis energi yaitu menggunakan pembangkit energi alternatif. Dimana sumber yang diambil atau diolah merupakan sumber yang tidak akan pernah habis dan selalu diperbarui. Berdasarkan masalah tersebut, maka dalam penelitian ini dirancang sistem kontrol pembangkit listrik hibrida dan unit penyimpanan daya (**Raharjo, 2013**).

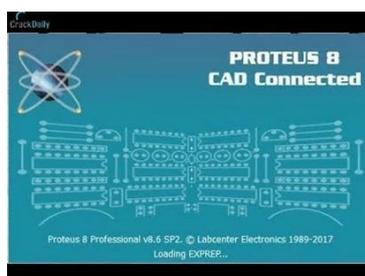
Dalam perancangan ini bertujuan merancang sistem kontrol penggunaan energi listrik dari pembangkit *hybrid* antara PLTS dan generator. Kedua pembangkit tersebut yaitu generator AC dan sel surya. Kontrol pada sistem ini menggunakan beberapa komponen elektronik dan sebuah perangkat terprogram yaitu *Arduino Uno* untuk mengontrol kedua pembangkit yaitu sel surya dan generator AC serta mengontrol pengisian baterai secara otomatis lalu di distribusikan ke beban. Dimana pada penelitian ini akan menganalisa tegangan baterai jika tegangan turun dengan rancang bangun alat otomatisasi penggunaan energi listrik dari PLTS dan generator 1000 VA, penelitian ini berbasis mikrokontroler.

2. METODE PENELITIAN

2.1. *Proteus Design Suite*

Proteus Design Suite adalah *alat software suite proprietary* yang digunakan terutama untuk desain otomatisasi elektronik (**Widianto, 2020**).

Perangkat lunak ini digunakan terutama oleh insinyur dan teknisi desain elektronik untuk membuat skema dan cetakan elektronik untuk pembuatan papan sirkuit tercetak. *Software* ini digunakan untuk mendesain dan mensimulasikan program yang sudah terkontrol dengan *coding Arduino Uno*.



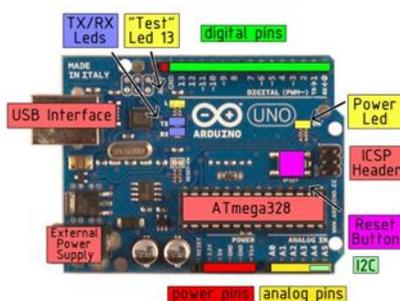
Gambar 1. *Proteus Design Suite*

2.2. Arduino Uno

Perancangan perangkat lunak dilakukan dengan menggunakan *software* Arduino IDE. Arduino Uno adalah sirkuit mikrokontroler berbasis ATmega328P. *Arduino Uno* memiliki 14 pin *input/output digital* (yang 6 dapat digunakan sebagai output PWM), 6 *input analog*, 16 MHz quartz crystal, koneksi USB, colokan listrik, *header* ICSP dan tombol *reset* (Call, 2014).

Untuk mengoperasikan *software* ini menggunakan program bahasa C, bahasa C adalah bahasa pemrograman yang sangat ampuh yang kekuatannya mendekati bahasa *assembler* (Abdilah, 2015).

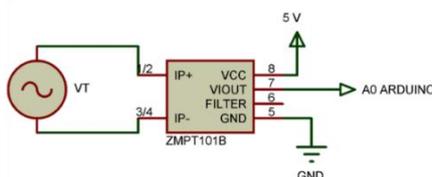
Pemograman ini di fungsikan untuk mengolah data dari relay, dan sensor DC dan juga sensor AC, yang nantinya mengaktifkan beban-beban seperti motor *stater*, generator dan *inverter*. Setelah rancangan program ini selesai, maka langkah selanjutnya mengunduh program tersebut ke mikrokontroler *Arduino Uno* yang dipakai dan di simulasikan pada proteus. Gambar 2 adalah bentuk fisik *Arduino Uno*.



Gambar 2. Arduino Uno

2.3. Sensor Tegangan

Rancangan sensor tegangan yang digunakan pada penelitian ini adalah modul sensor tegangan ZMPT101B. Sensor Tegangan ZMPT101B dirancang dengan menggunakan transformator sehingga hanya dapat digunakan untuk membaca tegangan AC. Sensor tegangan ZMPT101B memiliki akurasi yang tinggi, konsistensi yang baik untuk mengukur tegangan dan daya, serta dapat mengukur hingga 250 V. Sensor tegangan ZMPT101B ini mudah digunakan dan dilengkapi dengan trim multi putar potensiometer untuk menyesuaikan dengan *output* ADC (Zeming, 2013).

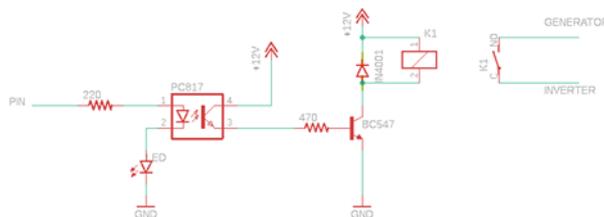


Gambar 3. Konfigurasi Modul Sensor Tegangan ZMPT101B

2.4. Relay

Relay adalah suatu saklar yang menghubungkan rangkaian beban *on* dan *off* dengan pemberian energi elektromagnetis, yang membuka atau menutup kontak pada rangkaian (Elmika, 2020).

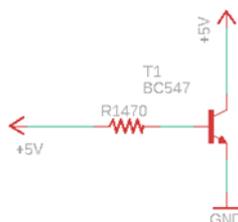
Relay omron dirancang sebagai *switch* untuk menyalakan peralatan listrik seperti motor stater, generator dan juga sebagai *switch* antara *inverter* dan generator. Gambar berikut menjelaskan skema rangkaian relay omron.



Gambar 4. Skematik *Driver* Relay

2.5. Transistor BJT

Kinerja rangkaian logika dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan kemampuan *switching* dari transistor. Transistor di rancang sebagai sakelar untuk menyalakan *driver* relay .BJT untuk digunakan sebagai penguat atau sakelar, memberi penerapan yang luas dalam peralatan elektronik, termasuk komputer, televisi, telepon seluler, penguat audio, kontrol industri, dan pemancar radio (Koswara, 2020).



Gambar 5. Skematik Transistor BC547

2.6. Perhitungan Kebutuhan Energi

Perencanaan sistem tenaga listrik yang dibuat adalah sistem dengan kapasitas daya semu dengan satuan (VA), sedangkan daya yang digunakan oleh beban adalah daya nyata dengan besaran Watt (W) dan energi yang digunakan dalam selang waktu tertentu dinyatakan dengan besaran (Wh) (Rezkyanto, 2019).

Power Factor yang digunakan adalah 0,85. Untuk mendapatkan nilai energi yang dibutuhkan maka dapat digunakan persamaan:

$$P = S \cos\phi \quad (1)$$

$$E_{total} = P \times t \quad (2)$$

Dengan

P : Daya nyata (W)

S : Daya semu (VA)

$\cos\phi$: Faktor daya

E_{total} : Energi total yang dibutuhkan (Wh)

2.7. Perhitungan Modul Surya

Kapasitas total modul surya dapat ditentukan dengan memperhatikan beberapa faktor yaitu kebutuhan energi total, insolasi matahari, serta faktor penyesuaian (*adjustment factor*) sebesar 1,1. Faktor penyesuaian ini dimaksudkan untuk memperhitungkan rugi-rugi yang terdapat pada kabel, battery charging regulator, dan *inverter* (Abdul Hafid, 2017).

$$\text{Kapasitas daya total modul} = \left(\frac{E_{total}}{\text{insolasi}} \right) \times 1,1 \quad (3)$$

Dengan

E_{total} : Energi total yang dibutuhkan (Wh)

Jumlah modul surya yang dibutuhkan adalah dengan membagi total kebutuhan daya yang dihasilkan dengan kapasitas daya dari modul surya per-unitnya.

$$\Sigma_{modul} = \frac{E_{total}}{E_{modul}} \quad (4)$$

Dengan

Σ_{modul} : Jumlah modul (unit)

E_{total} : Energi total yang dibutuhkan (Wh)

E_{modul} : Energi yang dihasilkan modul (Wh)

2.8. Perhitungan Baterai

Baterai adalah perangkat penyimpanan energi elektrokimia. Energi kimia yang terkandung dalam baterai dapat diubah menjadi energi listrik DC. Pada baterai isi ulang, proses tersebut dapat dibalik yaitu mengubah energi listrik DC menjadi energi kimia (**Sidiq, 2015**).

Untuk menentukan jumlah baterai yang akan digunakan perlu diketahui terlebih dahulu berapa kapasitas baterai yang diperlukan untuk memasok beban selama selang waktu tertentu.

V_s : Tegangan sistem (V)

Besarnya kapasitas baterai yang diperlukan dapat ditentukan dengan persamaan:

$$I_{Ah} = \frac{E_{total}}{V_s} \quad (5)$$

Dengan

I_{Ah} : Kapasitas arus yang dibutuhkan (Ah)

E_{total} : Energi total yang dibutuhkan (Wh)

V_s : Tegangan sistem (V)

Kapasitas total baterai yang dibutuhkan dengan mempertimbangkan faktor DOD dapat ditentukan dengan persamaan:

$$I_{Ah\ total} = \frac{I_{Ah}}{DOD} \quad (6)$$

Dengan

$I_{Ah\ total}$: Kapasitas total baterai (Ah)

I_{Ah} : Kapasitas arus yang dibutuhkan (Ah)

DOD : *Depth of discharge* (%)

Dengan mengetahui jumlah kapasitas total baterai yang dibutuhkan dan kapasitas baterai per-unit yang akan digunakan, maka jumlah baterai dapat dihitung dengan membagi kapasitas baterai total dengan kapasitas baterai per-unit.

$$\Sigma_{baterai} = \frac{I_{Ah\ total}}{\text{kapasitas baterai per-unit}} \quad (7)$$

Dengan

$\Sigma_{baterai}$: Jumlah baterai (unit)

$I_{Ah\ total}$: Kapasitas total baterai (Ah)

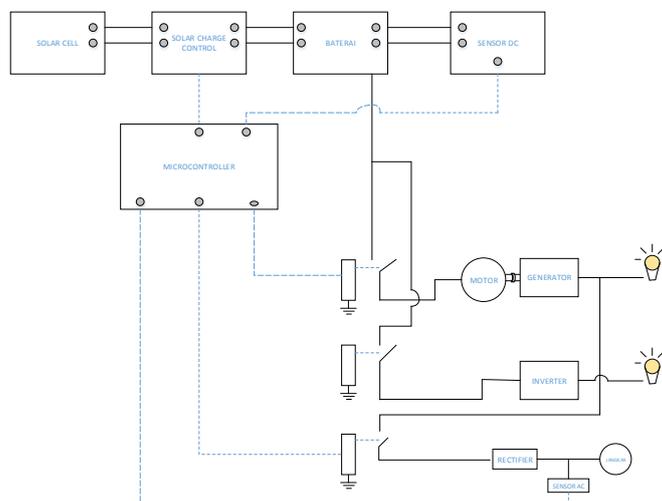
Kemudian kita dapat menghitung berapa arus pengisian baterai dengan asumsi *C rate charging* baterai 0,5, dimana C adalah peringkat baterai yang menunjukkan berapa cepat baterai dapat menerima dan melepaskan muatan listrik. kemampuan baterai dapat menerima arus *charging* seperti pada rumus berikut :

$$\text{Kapasitas Baterai} \times C \text{ rate} \quad (8)$$

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1. *Single Line* Diagram dan Rangkaian Kontrol

Single line Diagram sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 6 dan rangkaian keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6. *Single Line* Diagram Sistem

Gambar 6 adalah *single line* diagram sistem yang dimana ada beberapa komponen yaitu ,panel surya,*solar charge control*, baterai, *inverter*, sensor tegangan DC, sensor tegangan AC ,*arduino uno* ,*relay*, motor DC,*generator AC*, penyearah tegangan.



Keterangan :

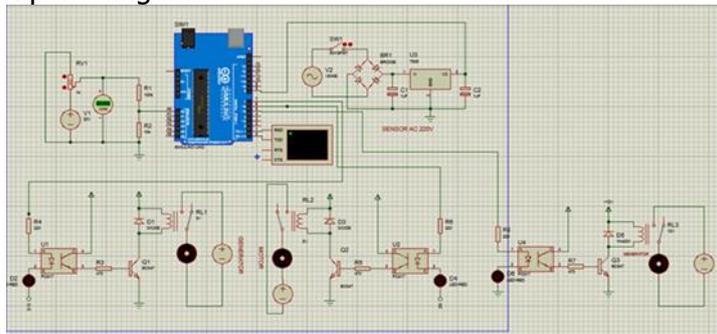
Dari setiap garis konektor mempunyai keterangan masing-masing dimana garis solid sebagai kabel daya, kemudian putus-putus sebagai kontrol.

Penjelasan blok diagram sebagai berikut :

- Generator AC merupakan pembangkit listrik sekunder.
- Sel Surya merupakan pembangkit listrik primer.
- AC - DC adalah rangkaian penyearah tegangan dengan menggunakan dioda untuk mengubah sinyal tegangan bolak-balik AC (*Alternating Current*) menjadi sinyal tegangan searah DC (*Direct Current*).
- Mikrokontroler *Arduino Uno*, yaitu bagian pengolahan hasil nilai yang dibaca oleh sensor. Kontroller pada perancangan sistem ini menggunakan *board Arduino Uno*. Kontroller disini juga digunakan untuk mengendalikan *driver* relay.
- Relay motor adalah relay yang berfungsi menyalakan motor untuk menyalakan generator sehingga sumber yang akan didistribusikan ke beban.
- Sensor tegangan AC untuk mengirimkan data berupa besar kecilnya tegangan keluaran dari pembangkit listrik generator AC ke arduino .
- Sensor tegangan baterai adalah rangkaian pembagi tegangan untuk mengirimkan data berupa besar kecil nya tegangan keluaran dari aki ke arduino yang selanjutnya diolah untuk mengendalikan relay untuk menyalakan generator.

Rancang Bangun Sistem Pengaturan Suplai Energi Listrik Pembangkit Hibrida antara PLTS dan Generator 1.000 VA Menggunakan Arduino Uno

- h) Baterai yaitu berfungsi sebagai media penyimpanan energi listrik cadangan ketika kedua sumber pembangkit tidak mampu mensuplai daya ke beban.
- i) *Inverter* Tegangan DC ke AC merupakan sebuah perangkat elektronik yang mengkonversikan sinyal tegangan DC menjadi AC serta menaikkan tegangan keluaran yang berasal dari baterai 12V DC menjadi 220V AC yang difungsikan sebagai beban AC.
- j) Beban tegangan AC dan DC merupakan pembebanan berupa peralatan listrik seperti contohnya lampu penerangan.



Gambar 7. Rangkaian Sistem

Dari Gambar 7 dapat diketahui rangkaian keseluruhan dari perangkat keras yang dirancang untuk pengaturan tegangan keluaran generator dan juga baterai. Tegangan keluaran baterai yang terukur oleh sensor tegangan akan menjadi referensi untuk mengontrol relay agar bekerja sesuai *system*. *Arduino Uno* sebagai mikrokontroler ada sensor DC dan AC yang berfungsi untuk *sensing* tegangan keluaran dan juga ada *regulator* sebagai penurun tegangan. Kemudian pada *Arduino Uno* dipasang terminal *virtual* agar dapat melihat tegangan yang terbaca.

3.2. Program Arduino

Hasil pemrograman sistem pengaturan suplai energi listrik yang menggunakan *Arduino Uno* dapat kita lihat pada Gambar 8 di bawah ini ,



Tabel 1. Data Pengamatan Pengujian Relay Baterai

Keterangan Program	Logika pin 6 Arduino	Tegangan pin 6 Arduino (Volt)	Status Relay	Keterangan Pensaklaran Relay
Sumber Baterai >11V	1	05,03	<i>on</i>	Relay menghubungkan beban dengan sumber baterai

Pada Tabel 1 terlihat pada saat program membaca data sensor tegangan pembangkit dengan nilai tegangan >11V maka logika pin 6 adalah '1' relay aktif sehingga relay menghubungkan beban dengan sumber baterai

3.4. Pengujian Relay Generator

Pada pengujian relay generator kita ingin memastikan keterangan pensaklaran relay ketika membaca keterangan program sumber baterai <11. Dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Data Pengamatan Pengujian Relay Generator

Keterangan Program	Logika pin 6 Arduino	Tegangan pin 6 Arduino (Volt)	Status Relay	Keterangan Pensaklaran Relay
Sumber baterai <11V	1	05,03	<i>on</i>	Relay menghubungkan beban dengan sumber generator dengan waktu 1 detik.

Pada Tabel 2 terlihat pada saat program membaca data sensor tegangan pembangkit dengan nilai tegangan <11V maka logika pin 6 adalah '1' relay aktif sehingga relay menghubungkan beban dengan sumber generator.

3.5. Hasil Pengujian Sistem Otomatisasi

Pada pengujian sistem otomatisasi kita ingin memastikan keterangan pensaklaran relay ketika membaca keterangan program sumber baterai <11. Dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Tabel Pengujian Relay Pengisian Baterai

Waktu	PLTS	Baterai	Generator
07:00-17:00	<i>On</i>	<i>Charging</i>	<i>Off</i>
17:00-23:00	<i>Off</i>	<i>On</i>	<i>Off</i>
23:00-07:00	<i>Off</i>	<i>Off</i>	<i>On</i>

Pada Tabel 3 terlihat pada waktu ketika di pagi hari PLTS *on* dan baterai sambil mengisi energi dan menyimpannya agar dapat digunakan ketika sore atau malam hari dengan waktu tertentu dan pada saat tegangan dari baterai tidak dapat menyuplai beban maka generator akan bekerja hingga mencapai tegangan output yang di inginkan. Hal ini dapat dibuktikan dari pengujian *driver* relay yang telah diuji diatas.

3.6. Penentuan Beban dan Spesifikasi Komponen

Pada perancangan ini ada beberapa hal yang harus di tentukan agar dapat menentukan berapa kapasitas yang dapat di pakai .

Rancang Bangun Sistem Pengaturan Suplai Energi Listrik Pembangkit Hibrida antara PLTS dan Generator 1.000 VA Menggunakan Arduino Uno

1. Menentukan kapasitas generator yaitu 1000 VA
2. Baterai *Lead Acid* 13,5 V (dalam keadaan full)
3. Daya untuk Beban 800 watt

Tabel 4. Data Beban

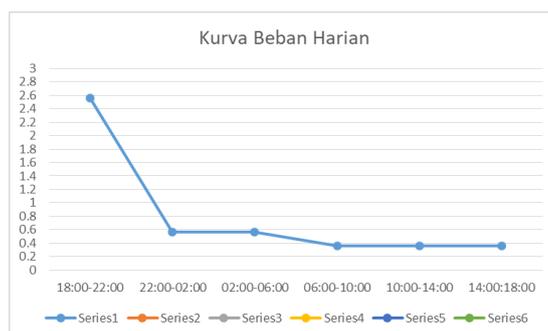
Jenis Beban	Kapasitas Beban (Watt)				
	30	50	10	60	300
Lampu	7				1
Kulkas					
Tv LED 43 inc		1			
1 set sound system			1		
Dispenser				1	
Total	210	50	10	60	300
	630				

Tabel 4 menjelaskan penentuan beban yang di pakai dengan total 630 Watt dan dalam kilo Watt hour sehingga kita dapat menentukan kurva beban. Dapat di lihat pada Tabel 5 adalah kapasitas beban yang sudah di konversi ke kilo Watt hour.

Tabel 5. Kapasitas Beban dalam kWh

	Kapasitas Beban (kWh)
18:00-22:00	2,56
22:00-02:00	0,57
02:00-06:00	0,57
06:00-10:00	0,36
10:00-14:00	0,36
14:00-18:00	0,36

Tabel 5 menjelaskan bahwa dalam waktu 18.00 hingga 22.00 itu adalah puncak pemakaian listrik sehingga kita dapat lihat pada Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 9. Kurva Beban Harian

Gambar 9 adalah kurva beban harian kWh terhadap waktu yang menjelaskan bahwa pada jam 18:00 hingga jam 22:00 adalah puncak pemakaian energi listrik dapat di lihat pada kurva daya sebesar 2,6 kW. Kemudian pada jam 06:00 hingga jam 18:00 tidak terlalu menggunakan listrik daya sebesar 0,4 kW. Sumbu *horizontal* adalah waktu (jam) sedangkan sumbu *vertical* adalah daya.

3.7. Perhitungan Kapasitas Modul Surya

Penentuan kapasitas daya pada modul surya diambil berdasarkan harga terendah insolasi matahari.

Tabel 6. Data Insolasi Matahari

Variable	I	II	III	IV	V	VI	VI I	VI II	IX	X	XI	XII
Insolation, kWh/m ² /day	4,31	4,58	5,03	5,01	4,85	4,67	4,97	5,53	5,95	5,69	5,05	4,72
Clearness, 0-1	0,40	0,43	0,48	0,51	0,54	0,55	0,57	0,59	0,59	0,54	0,48	0,45
Temperature, °C	25,39	25,44	25,67	25,86	25,74	25,48	25,28	25,55	25,80	25,77	25,48	25,40
Wind speed, m/s	3,61	3,67	2,83	3,15	4,28	4,77	5,64	5,65	4,96	3,76	3,19	2,89
Precipitation, mm	253	216	266	285	208	81	70	57	104	196	283	306
Wet days, d	18,6	16,0	17,3	16,7	14,7	12,5	9,6	9,3	9,5	12,7	17,7	19,3

Berdasarkan data insolasi pada Tabel 6, kondisi penyinaran matahari terendah berada pada angka 4,31 kWh/m²/day dan tertinggi adalah 5,95 kWh/m²/day. Kapasitas daya total modul surya adalah:

$$\text{Kapasitas daya total modul} = \left(\frac{4800}{4,31} \right) \times 1,1 = 1225,1 \text{ wp}$$

$$E_{\text{modul}} = 150 \text{ W} \times 6 \text{ h}$$

$$E_{\text{modul}} = 900 \text{ Wh}$$

Dalam satu modul surya dengan kapasitas 150 Wp, dalam 6 jam penyinaran maka dapat menghasilkan energi sebesar 900 Wh. Jumlah modul surya yang dibutuhkan adalah:

$$\Sigma_{\text{modul}} = \frac{1225,1}{900} = 1,3$$

$$\Sigma_{\text{modul}} \approx 2 \text{ unit}$$

Ukuran daya panel surya (P) yang diperlukan untuk mengisi muatan baterai akumulator dihitung menggunakan persamaan berikut

$$P = \frac{500 \times 12}{6} \times 1,1 = 1100 \text{ W}$$

3.8. Perhitungan Baterai

Jumlah baterai dan kapasitas baterai yang akan digunakan harus dapat menampung jumlah energi total yang diperlukan.

$$I_{Ah} = \frac{4800}{12} = 400 \text{ Ah}$$

Dengan memperhitungkan faktor DOD baterai kapasitas baterai yang diperlukan adalah:

$$I_{Ah \text{ total}} = \frac{400}{80\%} = 500 \text{ Ah}$$

Dengan menggunakan modul surya berkapasitas 150 Wp, maka dibutuhkan sedikitnya 2 unit modul surya

$$\Sigma_{\text{baterai}} = \frac{500}{60} = 8,3$$

$$\Sigma_{\text{baterai}} \approx 9 \text{ unit}$$

Rancang Bangun Sistem Pengaturan Suplai Energi Listrik Pembangkit Hibrida antara PLTS dan Generator 1.000 VA Menggunakan Arduino Uno

$$I_{Batre} = \frac{1200}{12} = 100 A$$

Untuk dapat memasok daya sebesar 800 Watt selama 6 jam dibutuhkan 9 unit baterai dengan kapasitas 60 Ah 12 V.

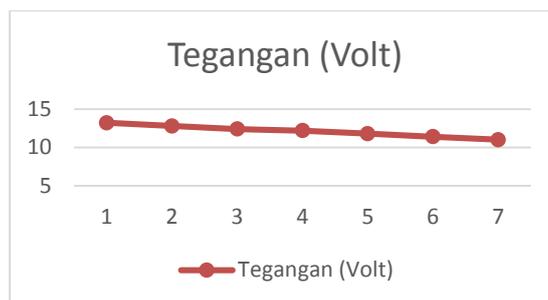
kemampuan baterai dapat menerima arus *charging*, Maka arus pengisian baterai adalah

$$500 \times 0,5 = 250 A$$

Tabel 7. Pembebanan Baterai

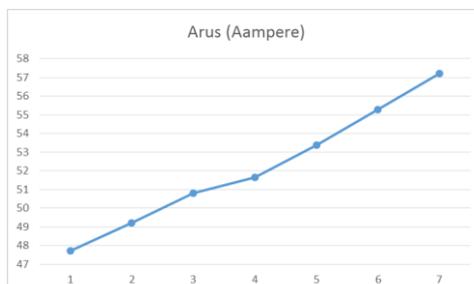
No	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Waktu (Jam)	Ah yang terpakai
1	13,2	47,73	630	1	47,73
2	12,8	49,22	630	2	110,53
3	12,4	50,81	630	3	160,17
4	12,2	51,64	630	4	206,56
5	11,8	53,39	630	5	266,95
6	11,4	55,26	630	6	331,56
7	11	57,2	630	7	400,4

Berdasarkan Tabel 7 proses pengosongan baterai, tegangan awal turun dari 13,2 Volt menjadi 12 Volt, pada jam pertama, dan setelah 7 jam berikutnya tegangan turun menjadi 11 Volt.



Gambar 10. Kurva Pembebanan

Penjelasan mengenai Gambar 10 yaitu kurva selama proses pembebanan, seiring dengan waktu tegangan turun dari 13,2 Volt menjadi 11 Volt setelah 7 jam. Sumbu *Vertical* adalah tegangan sedangkan sumbu *horizontal* adalah waktu. Sedangkan pada Gambar 11 arus terhadap waktu pembebanan.



Gambar 11. Kurva Arus Terhadap Pembebanan

Penjelasan mengenai Gambar 11 yaitu arus akan sedikit naik, tegangan baterai mulai turun, dikarenakan daya pada tidak berubah. Sumbu *vertical* adalah arus dan *horizontal* adalah pembebanan.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan perancangan, pengujian, dan analisa sistem, maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu sumber energi listrik dari PLTS bekerja selama 10 jam, sumber energi listrik dari baterai bekerja selama 6 jam dan sumber energi listrik dari generator 8 jam ketika baterai bertegangan 12 V energi listrik disuplai oleh baterai, kemudian ketika tegangan baterai dibawah 11 V, *Arduino Uno* memberi tegangan ke transistor dan transistor menggerakkan relay. Kontak relay menghubungkan sumber tegangan dengan motor DC. Motor DC berputar menggerakkan Generator AC. Setelah generator AC mengeluarkan tegangan 220 V, motor DC berhenti berputar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdilah, M. H. (2015). Sistem Monitoring Penggunaan Energi Listrik pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin Studi Kasus : Lentera Angin Nusantara (LAN). *e-Proceeding of Engineering*. Bandung: Universitas Telkom.
- Abdul Hafid, Z. A. (2017). Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pulau Balang Lompo. *Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika*, 6-12.
- Call, Q. J. (2014). *The Arduino Uno is a microcontroller board based*. Diambil kembali dari Octopart Data Sheet: datasheet.octopart.com
- Elmika. (2020). *Fungsi Relay Omron*. Diambil kembali dari Elmika: <https://elmika.co.id>
- Hikmawan, A. (2012). *Simulasi Hybrid Power System Antara Photovoltaic Dengan Fuel Cell Menggunakan Fuzzy Logic Controller*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Koswara. (2020). *Bipolar Junction Transistor (BJT)*. Diambil kembali dari Electronic Note: <http://myelectronicnote.blogspot.com>
- Nurmela, N. H. (2019). Optimasi Kinerja Sistem Pembangkit Hybrid. *Jurnal Of Energy and Electrical Engineering*, 6-12.
- Raharjo, P. (2013). *Perancangan Sistem Hybrid Solar Cell-Baterai-PLN Menggunakan Programmable Logic Controllers*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Rezkyanto, R. A. (2019). *Penentuan Kapasitas Sel Surya Dan Baterai*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sidiq, R. K. (2015). *Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai Mobil Listrik*. Jember: Universitas Jember.
- Widianto, M. H. (2020). *Proteus sebagai aplikasi software pengendali mikrokontroler*. Diambil kembali dari Binus University: <https://binus.ac.id>
- Zeming. (2013). *ZMPT101B (ZMPT107) Voltage Transformer Operating Guide*. Cina: Nanjing Zeming Electronics Co.,Ltd.