

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL OTOMATIS PADA
PHOTOVOLTAIC HYBRID UNTUK SKALA
RUMAH TANGGA**

SKRIPSI

OLEH :

KHOPINDO ADI PUTRA SINAGA

16.812.0014



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 6/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)6/12/23

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL OTOMATIS PADA
PHOTOVOLTAIC HYBRID UNTUK SKALA
RUMAH TANGGA**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh :

KHOPINDO ADI PUTRA SINAGA

16.812.0014

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

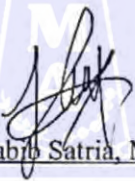
Document Accepted 6/12/23

Access From (repository.uma.ac.id)6/12/23

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem Kontrol Otomatis pada
Photovoltaic Hybrid Untuk Skala Rumah Tangga
Nama : Khopindo Adi Putra Sinaga
NPM : 16.812.0014
Fakultas : Teknik Elektro

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Ir. Habib Satria, MT. IPP

Dosen Pembimbing I



Dr. Rahmad Syam, S.Kom, M.Kom

Dekan



Ir. Habib Satria, MT. IPP

Ka. Prodi

Tanggal Lulus : 31 Agustus 2023

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 31 Agustus 2023



Khopindo Adi Putra Sinaga
16.812.0014

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Khopindo Adi Putra Sinaga
NPM : 16.812.0014
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : “Rancang Bangun Sistem Kontrol Otomatis Pada Photovoltaic Hybrid Untuk Skala Rumah Tangga”. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada Tanggal : 31 Agustus 2023

Yang Menyatakan



(Khopindo Adi Putra Sinaga)

ABSTRAK

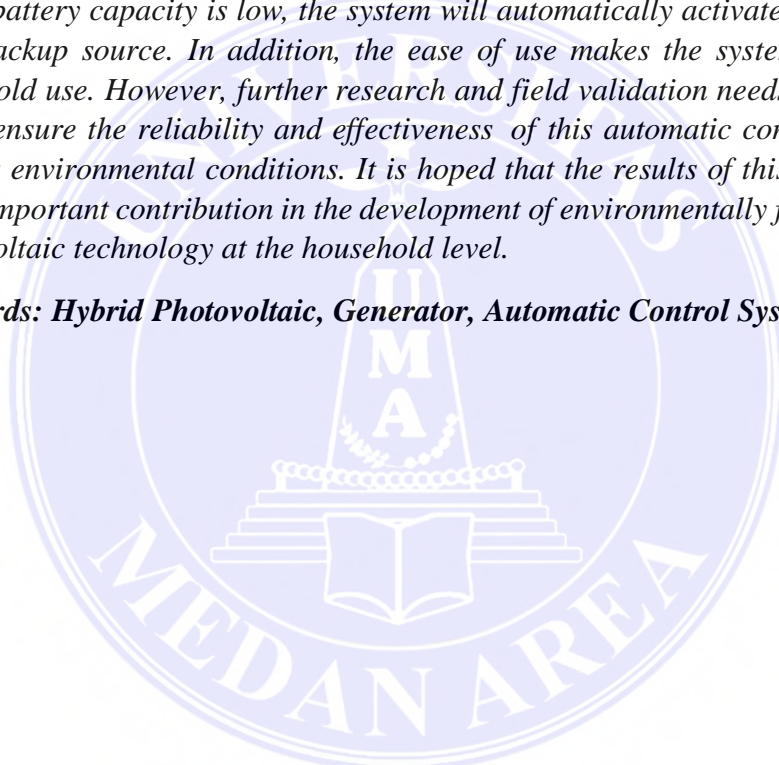
Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol otomatis pada pembangkit fotovoltaik hybrid skala rumah tangga. Sistem ini dirancang untuk mengoptimalkan penggunaan energi dari sumber terbarukan seperti panel surya, serta menjamin pasokan listrik yang stabil dengan menggunakan generator sebagai sumber cadangan. Pada penelitian ini dirancang dan diimplementasikan sebuah Modul kontrol akan mengatur secara otomatis kapan harus beralih antara sumber daya fotovoltaik dan genset, berdasarkan parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol otomatis mampu bekerja dengan baik dalam penyediaan pasokan listrik yang handal untuk kebutuhan rumah tangga. Ketika intensitas sinar matahari mencukupi, sistem akan menggunakan energi dari panel surya secara langsung tanpa melibatkan generator. Namun, ketika intensitas sinar matahari rendah atau kapasitas baterai hampir habis, sistem secara otomatis akan mengaktifkan generator sebagai sumber cadangan. Selain itu, kemudahan penggunaan membuat sistem ini cocok untuk digunakan dalam skala rumah tangga. Namun demikian, penelitian dan validasi lebih lanjut di lapangan perlu dilakukan untuk memastikan keandalan dan efektivitas sistem kendali otomatis ini dalam berbagai kondisi lingkungan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi kontribusi penting dalam pengembangan teknologi hybrid photovoltaic ramah lingkungan di tingkat rumah tangga.

Kata Kunci: Photovoltaic Hybrid, Genset, Sistem Kontrol Otomatis

ABSTRACT

This research aims to design and implement an automatic control system for household-scale hybrid photovoltaic generators. This system is designed to optimize the use of energy from renewable sources such as solar panels, as well as to ensure a stable supply of electricity by using a generator as a backup source. In this study designed and implemented a. The control module will set automatically when to switch between the photovoltaic power source and the genset, based on pre-set parameters. The test results show that the automatic control system is able to work well in providing a reliable supply of electricity for household needs. When the sunlight intensity is sufficient, the system will use energy from solar panels directly without involving a generator. However, when the sunlight intensity is low or the battery capacity is low, the system will automatically activate the generator as a backup source. In addition, the ease of use makes the system suitable for household use. However, further research and field validation needs to be carried out to ensure the reliability and effectiveness of this automatic control system in various environmental conditions. It is hoped that the results of this research can be an important contribution in the development of environmentally friendly hybrid photovoltaic technology at the household level.

Keywords: *Hybrid Photovoltaic, Generator, Automatic Control System*



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di desa Sei Semayang pada tanggal 10 Juli 1997 dari ayah Charles Sinaga dan ibu Tiona Br. Manullang. Penulis merupakan anak kelima dari enam bersaudara.

Tahun 2015 penulis lulus dari SMA Swasta Teladan Cinta Damai dan pada tahun 2016 juga penulis mendaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area Jurusan Teknik Elektro.

Selama mengikuti perkuliahan, penulis menjadi lebih memahami serta memperdalam pengetahuan tentang dunia elektro serta berbagai hal yang berhubungan dengan kelistrikan, yang bisa diterapkan penulis dalam kehidupan sehari-hari. Penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) pada perusahaan CV. ANGKASA MOBIE TECH.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkannya dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL OTOMATIS PADA *PHOTOVOLTAIC HYBRID* UNTUK SKALA RUMAH TANGGA”. Skripsi ini disusun dengan awal penulis dalam rangka memenuhi persyaratan Pendidikan menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Dalam proses penyelesaian proposal ini penulis banyak mendapat bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih yang setulusnya kepada yang terhormat:

1. Kedua orang tua penulis yang telah memberi dukungan berupa moril/spiritual dan material kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc selaku Rektor Universitas Medan Area.
3. Bapak Dr. Rahmad Syah, S.Kom, M.Kom selaku Dekan Fakultas Teknik.
4. Bapak Ir. Habib Satria, MT. IPP selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro
5. Bapak Ir. Habib Satria, MT. IPP selaku Dosen Pembimbing I untuk tugas akhir ini yang memberikan saran dan kritik yang membangun dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Para Staff dan Pengajar Universitas Medan Area khususnya Program Studi Teknik Elektro yang telah membantu dalam akademik dan administrasi.

7. Rekan-rekan penulis terkhususnya buat teman-teman seperjuangan Fakultas Teknik Program studi Teknik Elektro Universitas Medan Area angkatan 2016 yang telah memberikan banyak dukungan, motivasi, dan upaya dalam membantu menyelesaikan skripsi ini.
8. Keluarga tercinta terkhususnya buat kakak saya Lidia Sinaga yang turut membantu tanpa lelah dalam penyelesaian kuliah penulis baik secara moril maupun materiil.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari masih banyak kekurangan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk kesempurnaan dan kebaikan skripsi ini serta penulis berharap kiranya skripsi ini akan bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Penulis

(Khopindo Adi Putra Sinaga)

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	v
RIWAYAT HIDUP.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Photovoltaic Hybrid	6
2.1.1. Sistem Hybrid PV-Genset	7
2.2. Photovoltaic (PV)	9
2.3. Solar Charger Controller	13
2.4. Baterai	14
2.5. Inverter	16
2.6. Genset.....	17
2.6.1. Prinsip Kerja PV-Genset.....	18
2.6.2. Generator Sinkron.....	19
2.6.3. Generator Sinkron Berbeban	20

BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1.	Waktu dan dan Penelitian.....	22
3.1.1.	Waktu Penelitian.....	22
3.1.2.	Tempat Penelitian.....	22
3.2.	Metode Penelitian.....	23
3.3.	Alat dan Bahan.....	24
3.4.	Variabel Penelitian.....	25
3.5.	Pengumpulan Data.....	26
3.5.1.	Study Literature.....	26
3.5.2.	Study Obsersavi.....	27
3.5.3.	Study Dokumentasi.....	27
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1.	Pengujian Penelitian Sistem.....	28
4.3.	Analisa Sistem Hybrid.....	33
4.4.	Analisa Pengisian Baterai.....	35
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	36
5.1	Kesimpulan.....	36
5.2	Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA	38

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Sistem kerja Photovoltaic hybrid	6
Gambar 2.2. Konfigurasi sistem hibrida PV-genset	8
Gambar 2.3. Hubungan sel surya, panel surya, dan array.....	10
Gambar 2.4. Junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n	10
Gambar 2.5. Cara kerja sel surya dengan prinsip p-n junction	11
Gambar 2.6. Karakteristik arus-tegangan dari solar cell.....	12
Gambar 2.7. Kurva arus-tegangan untuk radiasi matahari yang berbeda.....	14
Gambar 2.8. Solar Charger Controller.....	14
Gambar 2.9. Baterai.....	15
Gambar 2.10. Diagram baterai sesudah dan sebelum discharge	16
Gambar 2.11. Konfigurasi rangkaian inverter.....	17
Gambar 2.12. Konstruksi generator sinkron satu fasa.....	19
Gambar 2.13. Karakteristik generator sinkron berbeban.....	21
Gambar 3.1. Flowchart	24
Gambar 3.1. Wiring Diagram.....	26
Gambar 4.1. Proses Pengujian Sistem	28
Gambar 4.2. Perbandingan Hybrid PV=GENSET (Voltage).....	33
Gambar 4.3. Perbandingan Hybrid PV=GENSET (Ampere)	34
Gambar 4.4. Perbandingan Hybrid PV=GENSET (Watt).....	34

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian	22
Tabel 3.2. Alat dan Bahan	25
Tabel 4.1. Data Peforma Panel Surya	29
Tabel 4.2. Data Peforma Genset	30
Tabel 4.3. Data Peforma Sistem Photovoltaic <i>hybrid</i>	31



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Latar belakang penelitian tentang rancang bangun sistem kontrol otomatis pada photovoltaic hybrid untuk skala rumah tangga didasarkan pada permasalahan keberlanjutan energi dan peningkatan penggunaan sumber daya energi terbarukan. Pemanfaatan energi listrik di rumah tangga menjadi salah satu penyebab utama penggunaan sumber energi fosil yang semakin meningkat. Dampak penggunaan energi fosil terhadap lingkungan dan perubahan iklim yang semakin mengkhawatirkan mendorong banyak negara untuk beralih ke penggunaan energi terbarukan, seperti energi matahari (solar) yang dihasilkan dari panel surya (photovoltaic). Namun, penggunaan energi terbarukan yang masih tergantung pada kondisi cuaca yang tidak bisa diprediksi dengan pasti menjadi kendala dalam penggunaan energi matahari untuk memenuhi kebutuhan energi sehari-hari di rumah tangga. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem yang dapat mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan yang dihasilkan oleh panel surya dan mengurangi ketergantungan pada sumber daya energi fosil.

Sistem kontrol otomatis pada photovoltaic hybrid untuk skala rumah tangga dapat menjadi solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Sistem ini akan membantu memaksimalkan penggunaan energi terbarukan yang dihasilkan oleh panel surya dan mengurangi ketergantungan pada sumber daya energi fosil.

Selain itu, dengan adanya kontroler otomatis pada sistem ini, penggunaan energi terbarukan dapat diatur dan dikontrol secara optimal, sehingga dapat menghasilkan efisiensi dan efektivitas penggunaan energi yang lebih baik. Dalam rangka mengatasi permasalahan tersebut, maka diperlukan penelitian dan pengembangan sistem kontrol otomatis pada photovoltaic hybrid untuk skala rumah tangga. Penelitian ini akan dilakukan dengan tujuan untuk merancang dan membangun sistem kontrol otomatis pada photovoltaic hybrid untuk skala rumah tangga yang dapat memaksimalkan penggunaan energi terbarukan yang dihasilkan oleh panel surya dan mengurangi ketergantungan pada sumber daya energi fosil.

1.2. Rumusan Masalah

Berikut adalah beberapa rumusan masalah penelitian tentang rancang bangun sistem kontrol otomatis pada photovoltaic hybrid untuk skala rumah tangga:

1. Bagaimana merancang sistem kontrol otomatis pada photovoltaic hybrid untuk skala rumah tangga yang efektif dan efisien?
2. Bagaimana mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan yang dihasilkan oleh panel surya pada sistem kontrol otomatis photovoltaic hybrid untuk skala rumah tangga?
3. Bagaimana menerapkan sistem kontrol otomatis pada photovoltaic hybrid secara mudah dan aman bagi pengguna rumah tangga?
4. Bagaimana mengukur dan mengevaluasi kinerja sistem kontrol otomatis pada photovoltaic hybrid untuk skala rumah tangga dalam penggunaan energi terbarukan dan penghematan biaya listrik?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tentang rancang bangun sistem kontrol otomatis pada *photovoltaic hybrid* untuk skala rumah tangga adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem kontrol otomatis pada photovoltaic hybrid untuk skala rumah tangga yang efektif dan efisien.
2. Mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan yang dihasilkan oleh panel surya pada sistem kontrol otomatis photovoltaic hybrid untuk skala rumah tangga.
3. Menerapkan sistem kontrol otomatis pada photovoltaic hybrid secara mudah dan aman bagi pengguna rumah tangga.
4. Mengukur dan mengevaluasi kinerja sistem kontrol otomatis pada photovoltaic hybrid untuk skala rumah tangga dalam penggunaan energi terbarukan dan penghematan biaya listrik.

1.4. Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat dari penelitian tentang rancang bangun sistem kontrol otomatis pada photovoltaic hybrid untuk skala rumah tangga antara lain:

1. Pada photovoltaic hybrid diharapkan dapat meningkatkan penggunaan energi terbarukan dari panel surya yang dihasilkan pada skala rumah tangga. Hal ini dapat membantu mengurangi ketergantungan pada sumber daya energi fosil yang semakin langka dan mahal.
2. Meningkatkan kemandirian energi pada rumah tangga: Dengan adanya sistem kontrol otomatis pada photovoltaic hybrid diharapkan dapat

meningkatkan kemandirian energi pada rumah tangga dengan memanfaatkan sumber daya energi terbarukan secara optimal.

3. Penghematan biaya listrik: Dengan penggunaan sistem kontrol otomatis pada photovoltaic hybrid diharapkan dapat mengoptimalkan penggunaan energi listrik dari panel surya dan mengurangi penggunaan listrik dari jaringan listrik utama. Hal ini dapat membantu penghematan biaya listrik pada rumah tangga.

1.5. Sistematika Penulisan

Laporan ini terdiri dari beberapa bab yang berisi urutan secara garis besar dan kemudian dibagi lagi dalam sub-sub yang akan menjelaskan dan menguraikan masalah yang lebih terperinci, secara garis besar isinya adalah :

BAB I PENDAHULUAN

Berisi Latar Belakang Pembuatan Laporan, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan Penulisan, Manfaat Penulisan, dan Sistematika Penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi landasan teori berupa konsep dasar dalam penyusunan alat dan laporan sehingga menghasilkan karya yang bernilai ilmiah dan memiliki daya guna.

BAB III METODELOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang langkah-langkah yang dilakukan penulis untuk mengerjakan serta menyelesaikan tugas akhir ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi Tentang Pengukuran Serta Pengujian Sistem Yang Dirancang, Kemudian Dilakukan Analisa Terhadap Alat Yang Dibuat.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan Tentang Simpulan Dan Saran Dari Pembuatan Alat Dan Laporan Sebagai Upaya Untuk Perbaikan Kedepan.

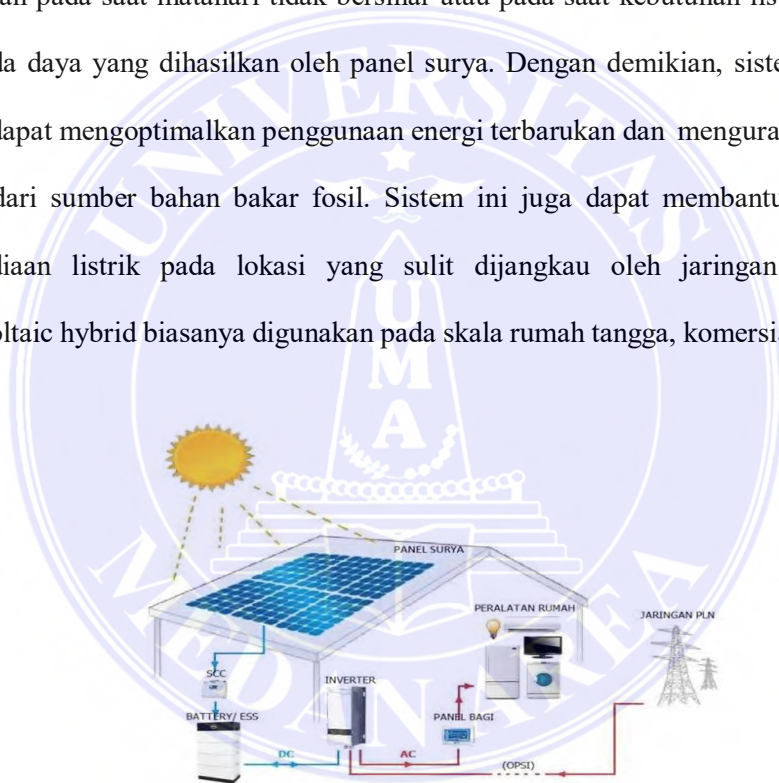


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Photovoltaic hybrid

Photovoltaic hybrid adalah sistem yang menggabungkan teknologi panel surya dengan baterai cadangan atau sumber energi lainnya, seperti generator atau jaringan listrik utama. Sistem ini dirancang untuk menghasilkan energi listrik terbarukan yang dapat digunakan pada saat matahari tidak bersinar atau pada saat kebutuhan listrik lebih tinggi dari pada daya yang dihasilkan oleh panel surya. Dengan demikian, sistem photovoltaic hybrid dapat mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan dan mengurangi penggunaan energi dari sumber bahan bakar fosil. Sistem ini juga dapat membantu meningkatkan ketersediaan listrik pada lokasi yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik utama. Photovoltaic hybrid biasanya digunakan pada skala rumah tangga, komersial, atau industri.



Gambar 2 1 Sistem kerja Photovoltaic hybrid

(Sumber: <https://www.aturrumah.com/panel-surya/cara-kerja-ilustrasi/>)

Sistem kerja Photovoltaic hybrid dengan mengumpulkan energi dari beberapa sumber energi terbarukan dan memanfaatkannya untuk memenuhi kebutuhan listrik. Sistem photovoltaic hybrid terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu

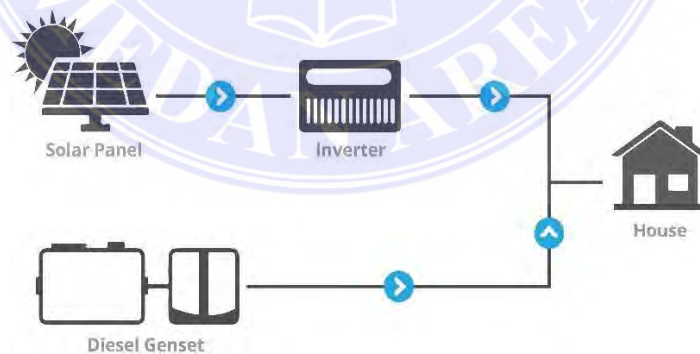
panel surya, baterai, dan kontroler. Panel surya mengumpulkan energi dari matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik DC. Energi listrik DC tersebut kemudian disimpan di baterai. Kontroler merupakan perangkat elektronik yang mengatur aliran energi antara panel surya dan baterai, serta mengatur penggunaan energi dari baterai dan sumber energi lainnya. Saat panel surya tidak dapat memenuhi kebutuhan listrik, kontroler akan mengaktifkan baterai atau sumber energi lainnya untuk memasok kebutuhan listrik tersebut. Selama energi yang disimpan di baterai mencukupi untuk memenuhi kebutuhan listrik, sumber energi lainnya tidak diaktifkan.

Prinsip kerja photovoltaic hybrid sangat bergantung pada kondisi lingkungan sekitarnya, seperti intensitas sinar matahari dan suhu. Oleh karena itu, perencanaan dan desain sistem photovoltaic hybrid harus mempertimbangkan faktor-faktor lingkungan tersebut agar dapat menghasilkan listrik secara optimal dan efisien.

2.1.1. Sistem Hybrid PV-Genset

Sistem hibrida dapat melibatkan dua atau lebih sistem pembangkit listrik. Pada umumnya, sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk dihibrid adalah Genset, PLTS, Mikrohidro, Tenaga Angin sehingga sistem hibrida bisa berarti PLTS-Genset, PLTS-Mikrohidro, PLTS-Tenaga Angin dst. Di Indonesia, sistem hibrida telah banyak digunakan, baik PLTS-Genset, PLTS-Mikrohidro, maupun PLTS-Tenaga Angin-Mikrohidro. Namun, sistem hibrida yang paling sering digunakan adalah PLTS-Genset (PV-Genset).

Tujuan dari sistem hibrida PV-Genset adalah mengkombinasikan keunggulan dari setiap pembangkit (dalam hal ini PV & genset) sekaligus menutupi kelemahan masing-masing pembangkit untuk kondisi-kondisi tertentu sehingga secara keseluruhan sistem dapat beroperasi lebih ekonomis dan efisien. Photovoltaic (PV) memerlukan investasi awal yang besar tetapi tidak memerlukan operation & maintenance (O&M) cost dan lebih murah untuk jangka panjang sehingga ideal untuk menyuplai beban dasar (base load). Jika digunakan untuk menyuplai beban puncak (peak load), investasi awal yang dibutuhkan akan terlalu besar. Sedangkan, investasi awal genset tidak besar tetapi O&M cost yang tinggi dan mahal untuk jangka panjang sehingga hanya efektif dan efisien untuk menyuplai beban puncak. Genset tidak efisien pada saat memikul beban dasar karena jauh di bawah kapasitas optimumnya. Sistem hibrida PV-Genset terdiri dari lima komponen utama, yaitu panel surya (photovoltaic: PV), Battery Control Regulator (BCR), Baterai, Bidirectional Inverter, dan Genset.



Gambar 2 2 Konfigurasi sistem hibrida PV-genset.

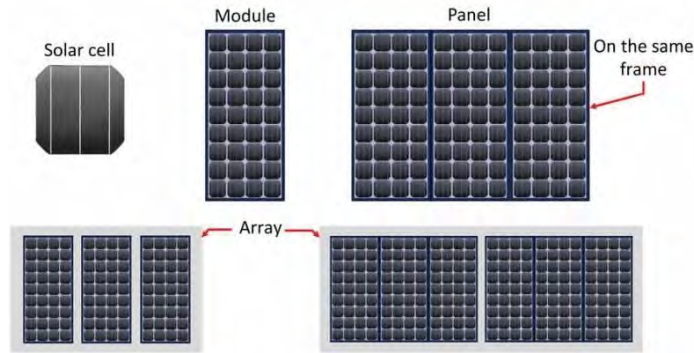
(Sumber: <https://renergynusantara.com/plts-pv-genset-hybrid/>)

Kombinasi sistem hibrida PV-Genset dapat mengurangi jam operasi genset (misalnya dari 24 jam per hari menjadi hanya 4 jam per hari pada saat beban

puncak saja) sehingga biaya O&M dapat lebih efisien. Sementara itu, PV digunakan untuk menyuplai beban dasar. Dengan demikian, sistem hibrida PV- Genset akan dapat menghemat O&M cost, meningkatkan efisiensi penggunaan genset, serta sekaligus menghindari kebutuhan investasi awal yang besar (<http://www.azetsurya.com>).

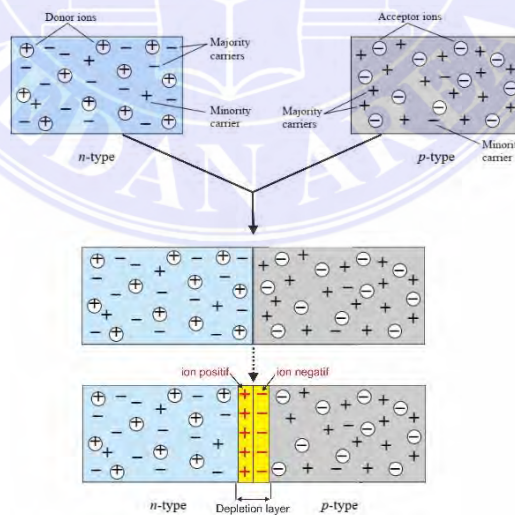
2.2. Photovoltaic (PV)

Sel surya dapat dianalogikan sebagai divais dengan dua terminal atau sambungan, dimana ketika kondisi gelap atau tidak cukup cahaya akan berfungsi seperti dioda, dan ketika disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Ketika disinari, umumnya satu sel surya menghasilkan tegangan DC sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus short-circuit berskala milliampere per cm². Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul (panel) surya biasanya terdiri dari 28- 36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan DC sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar. Modul surya tersebut bisa digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus output-nya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu (Septina, 2011). Gabungan dari modul (panel-panel) ini akan membentuk suatu Array seperti yang terdapat pada Gambar 2.3 berikut ini.



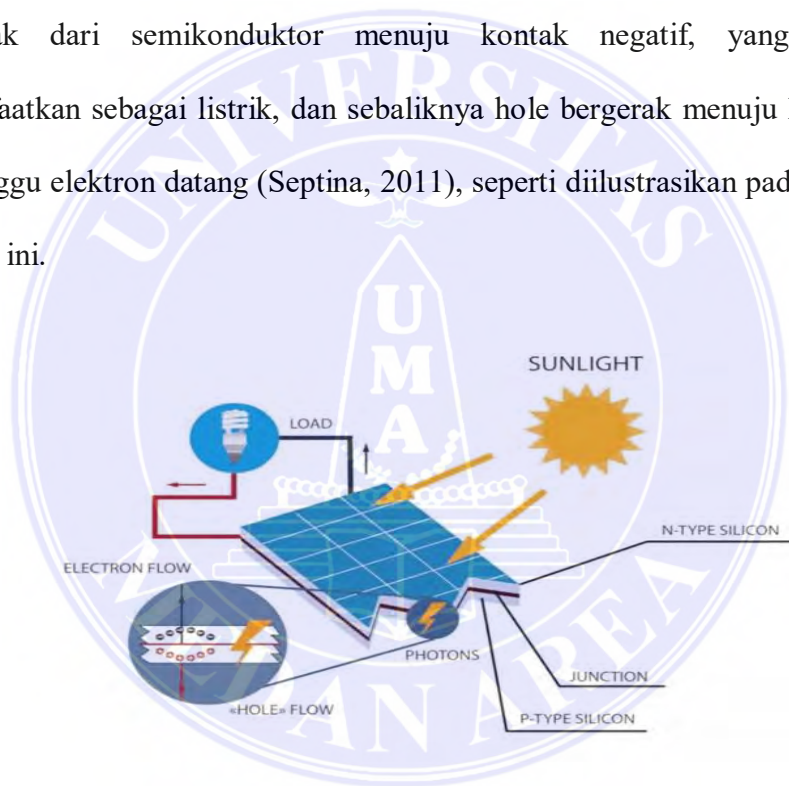
Gambar 2 3 Hubungan sel surya, panel surya, dan array (Sumber: <https://pasangpanelsurya.com/beda-sel-modul-panel-array-solar/>)

Cara kerja sel surya konvensional menggunakan prinsip p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatanikatan atom yang mana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya (Septina, 2011). Ilustrasi Gambar 2.4 berikut ini menggambarkan junction semikonduktor tipe-p dan tipe-n.



Gambar 2 4 Junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n (Sumber: <https://elektronikaisme.wordpress.com/2020/03/09/p-n-junction/>)

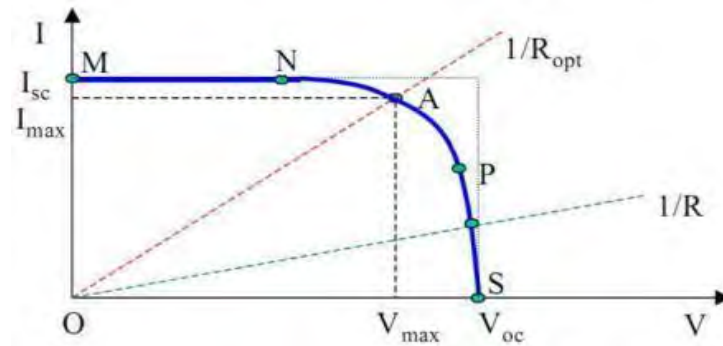
Peran dari p-n junction ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron (dan hole) bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan hole ini terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susunan p-n junction ini, maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang (Septina, 2011), seperti diilustrasikan pada Gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2 5 Cara kerja sel surya dengan prinsip p-n junction

(Sumber: <https://www.riapos.co.id/pentingnya-mengetahui-prinsip-kerja-sel-surya/>)

Karakteristik arus-tegangan sel surya ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut.



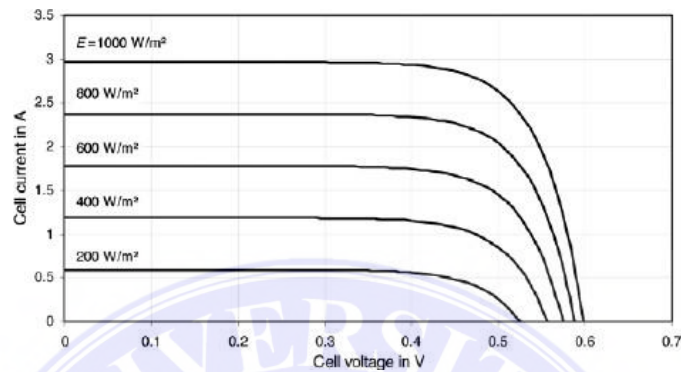
Gambar 2 6 Karakteristik arus-tegangan dari solar cell

(Sumber: Hansen dkk, 2000)

Sel photovoltaic adalah sebuah alat non-linear sehingga untuk memahami karakteristiknya diperlukan suatu grafik. Sifat elektrik dari sel photovoltaic dalam menghasilkan energi listrik dapat diamati dari karakteristik listrik sel tersebut, yaitu berdasarkan arus dan tegangan yang dihasilkan sel photovoltaic pada kondisi cahaya dan beban yang berbeda-beda. Kurva I-V menggambarkan sifat dari sel surya secara lengkap. Gambar 2.5 menunjukkan bahwa ketika sel dihubungkan dengan beban (R). Beban memberi hambatan sebagai garis linear dengan garis $I/V=1/R$. hal tersebut menunjukkan bahwa daya yang didapat bergantung pada nilai resistansi. Jika R kecil, maka sel beroperasi pada daerah kurva MN, dimana sel beroperasi sebagai sumber arus yang konstan atau arus short circuit. Pada sisi lain, jika R besar, maka sel beroperasi pada daerah kurva PS, dimana sel beroperasi sebagai sumber tegangan yang konstan atau tegangan open circuit. Jika dihubungkan dengan hambatan optimal R_{opt} berarti sel surya menghasilkan daya maksimal dengan tegangan maksimal dan arus maksimal. (Hansen dkk, 2000)

Salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap kinerja modul photovoltaic adalah intensitas radiasi matahari. Semakin besar intensitas cahaya matahari maka arus yang dihasilkan akan semakin besar. Pada Gambar 2.6 terlihat bahwa semakin kecil tingkatan cahaya matahari, maka bentuk dari kurva arus-

tegangan semakin menurun. Turunnya kurva ini menunjukkan turunnya arus dan daya, sedangkan tegangan berubah oleh bermacam-macam intensitas cahaya matahari.



Gambar 2.7. Kurva arus-tegangan untuk radiasi matahari yang berbeda.
(Sumber: <https://bacamedia.com/modul-surya-solar-cell-photovoltaic/>)

2.3. Solar Charger Controller

Solar charger controller (atau pengontrol pengisi daya surya) adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengatur arus dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya ketika mengisi baterai. Fungsi utama pengontrol pengisi daya surya adalah mengontrol pengisian baterai dan mencegah overcharging (pengisian berlebih) atau undercharging (pengisian kurang) baterai.



Gambar 2 8 Solar Charger Controller

(Sumber: <https://www.sanspower.com/solar-charge-control-untuk-panel-surya-ramah-lingkungan.html>)

Ketika panel surya menghasilkan listrik, pengontrol pengisi daya surya akan mengatur aliran listrik dan menyesuaikan tegangan dan arus sesuai kebutuhan baterai. Ketika baterai sudah penuh terisi, pengontrol pengisi daya surya akan menghentikan pengisian dan mencegah overcharging yang dapat merusak baterai.

Dengan menggunakan pengontrol pengisi daya surya, efisiensi pengisian baterai dari panel surya dapat ditingkatkan dan umur baterai juga dapat diperpanjang. Solar charger controller umumnya digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terdiri dari panel surya, baterai, dan inverter.

2.4. Baterai

Baterai mengakumulasi kelebihan energi yang dihasilkan oleh sistem photovoltaic dan menyimpannya untuk digunakan pada saat tidak ada masukan energi dari sumber lain. Kapasitas baterai untuk menyimpan energi dinilai dalam amp.jam (ampere hour: Ah) yang berarti 1 ampere dialirkan selama 1 jam = 1 amp.jam (1 Ah).



Gambar 2.9. Baterai

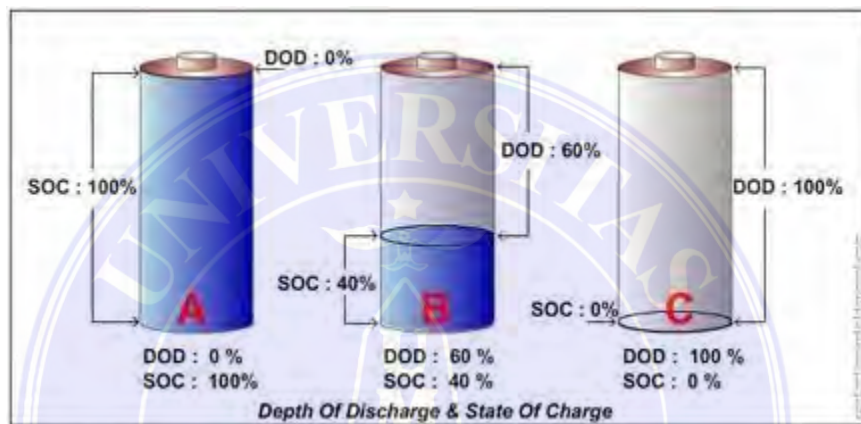
(Sumber: <https://pasangpanelsurya.com/cek-baterai-baru-bekas/>)

Selain itu, baterai juga berfungsi sebagai *buffer* daya untuk mengatasi *time lag* antara listrik yang dihasilkan oleh pembangkit (PV atau pun genset) dengan listrik yang digunakan oleh beban. Ukuran baterai yang dipakai sangat bergantung pada ukuran genset, ukuran panel surya, dan *load pattern*. Ukuran baterai yang terlalu besar baik untuk efisiensi operasi tetapi mengakibatkan kebutuhan investasi yang terlalu besar. Sebaliknya, ukuran baterai yang terlalu kecil dapat mengakibatkan tidak tertampungnya daya berlebih dari pembangkit, dan genset akan sering menyala.

Baterai adalah komponen sistem *photovoltaic* yang berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh modul *photovoltaic* pada siang hari, untuk kemudian dipergunakan pada malam hari dan pada saat cuaca mendung. Baterai yang digunakan pada sistem *photovoltaic* mengalami proses siklus mengisi (*charging*) dan mengosongkan (*discharging*), tergantung pada ada tidaknya sinar matahari.

Sel baterai timbal-asam yang terdiri dari elektroda positif dan negatif dari komposisi yang berbeda tersuspensi dalam larutan asam sulfat yang disebut

elektrolit. Ketika sel-sel mengalami discharge, molekul belerang dari ikatan elektrolit dengan elektroda dan elektron akan lepas. Ketika sel mengalami recharges, kelebihan elektron kembali ke elektrolit. Baterai memperoleh tegangan dari reaksi kimia. Listrik segera mengalir dari baterai setelah ada sirkuit antara terminal positif dan negatif. Hal ini terjadi ketika setiap beban (alat) listrik terhubung ke baterai.



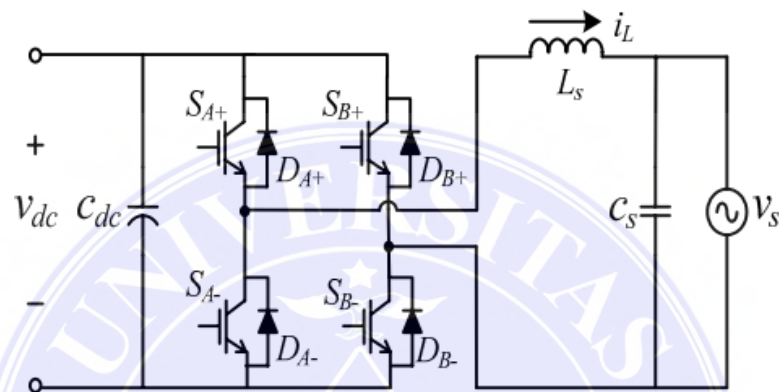
Gambar 2.10. Diagram baterai sesudah dan sebelum discharge

(Sumber: <https://sanfordlegenda.blogspot.com/2013/09/Glossary-of-battery-Istilah-pada-baterai.html>)

2.5. Inverter

Inverter adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC). Inverter digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga surya atau sistem pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi DC lainnya, seperti baterai atau turbin air, untuk menghasilkan listrik AC yang dapat digunakan untuk keperluan rumah tangga atau industri. Panel surya dan baterai menghasilkan arus DC, yang kemudian harus diubah menjadi arus AC agar dapat digunakan untuk keperluan sehari-hari seperti menyalakan lampu, mengoperasikan televisi, dan sebagainya. Inverter

digunakan untuk melakukan konversi arus DC menjadi arus AC, sehingga listrik yang dihasilkan oleh panel surya atau baterai dapat digunakan langsung oleh peralatan listrik AC. Rangkaian skematis untuk bidirectional inverter dengan konfigurasi jembatan penuh (full bridge) dapat ditunjukkan pada Gambar 2.11 berikut.



Gambar 2.11. Konfigurasi rangkaian inverter
(Sumber: Yu, 2011)

Pada Gambar 2.11 dapat dilihat bahwa komponen transistor switch dan diode dipasang paralel namun dengan arah yang berlawanan sehingga dapat beroperasi dalam dua arah. Prinsip kerja bidirectional inverter menggunakan dua mode, yakni mode inverter dan mode rectifier. Pada mode inverter, tegangan DC akan diubah menjadi tegangan AC.

2.6. Genset

Genset adalah singkatan dari generator set, yang merupakan suatu sistem pembangkit listrik mandiri yang menggunakan mesin pembakaran dalam (internal combustion engine) dan generator untuk menghasilkan listrik. Genset sering

digunakan sebagai sumber cadangan listrik ketika terjadi pemadaman listrik atau pada daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik umum.

Genset berfungsi membangkitkan listrik AC. Untuk sistem hibrida, umumnya dilengkapi dengan automatic starter agar nyala-padamnya genset dapat diatur otomatis dari electronic controller. Bahan bakar motor penggerak genset berdaya rendah (di bawah 3 kVA) umumnya menggunakan gasoline premium. Rotor generator diputar oleh prime mover (penggerak mula) sehingga menghasilkan medan magnet berputar pada mesin. Medan magnet putar ini menginduksi tegangan pada kumparan stator generator. Tegangan pada kumparan stator adalah tegangan keluaran dari generator. (Muchsin, 2000:2)

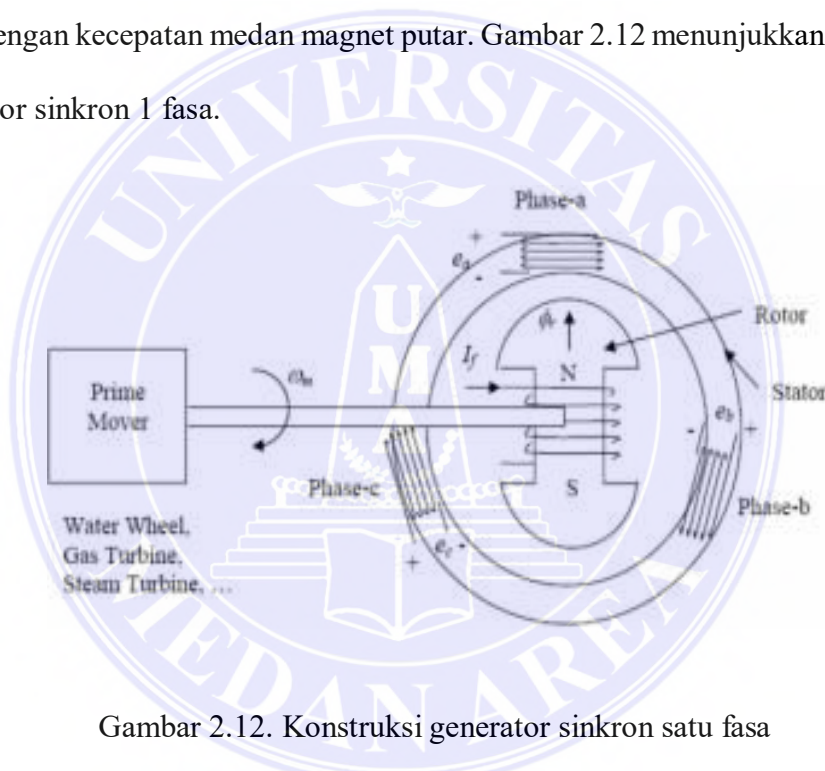
2.6.1. Prinsip Kerja PV-Genset

Peralihan PV atau genset yang dioperasikan secara manual tidak disarankan karena sangat bergantung pada ketelitian operator dalam mengamati perilaku beban Sistem hibrida yang baik dilengkapi dengan *automatic engine starter* pada gensetnya dimana nyala-padamnya genset diatur secara elektrik.

Jika beban dapat disuplai oleh PV dan baterai, maka bidirectional inverter akan mengonversi listrik DC dari PV dan baterai menjadi listrik AC, lalu disalurkan ke beban. Jika PV dan baterai tidak mampu lagi menyuplai beban, maka genset akan dinyalakan untuk membantu menyuplai listrik. Hal ini berarti pada dasarnya, beban dasar (base load) akan disuplai oleh PV dan baterai, sedangkan beban puncak (peak load) akan disuplai oleh genset. Baterai akan diisi (charge) oleh dua sumber, yakni PV pada siang hari, dan genset yang berasal dari daya berlebih (excessive power) pada saat genset menyuplai beban puncak.

2.6.2. Generator Sinkron

Generator sinkron merupakan mesin listrik arus bolak-balik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik arus bolak-balik. Energi mekanik diperoleh dari penggerak mula yang terkopel dengan rotor generator. Sedangkan konversi energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang melibatkan kumparan rotor dan kumparan stator. Mesin listrik arus bolak-balik ini disebut sinkron karena rotor berputar secara sinkron atau berputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan medan magnet putar. Gambar 2.12 menunjukkan konstruksi generator sinkron 1 fasa.



Gambar 2.12. Konstruksi generator sinkron satu fasa

(Sumber: <https://www.carailmu.com/2021/05/cara-kerja-generator-sinkron.html>)

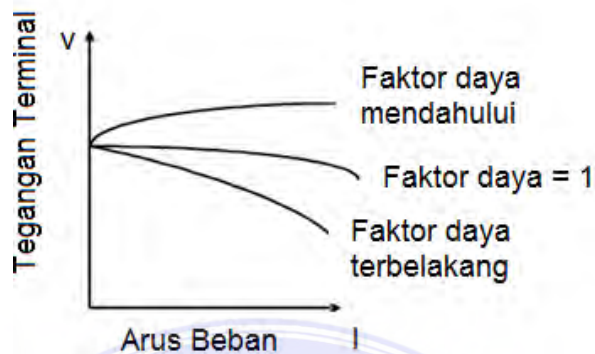
Prinsip kerja dari generator sinkron adalah sebagai berikut: (Fitzgerald, 2003:225)

1. Kumparan medan pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan menyuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.
2. Penggerak mula (*prime mover*) yang sudah terkopel dengan rotor dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya
3. Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut.

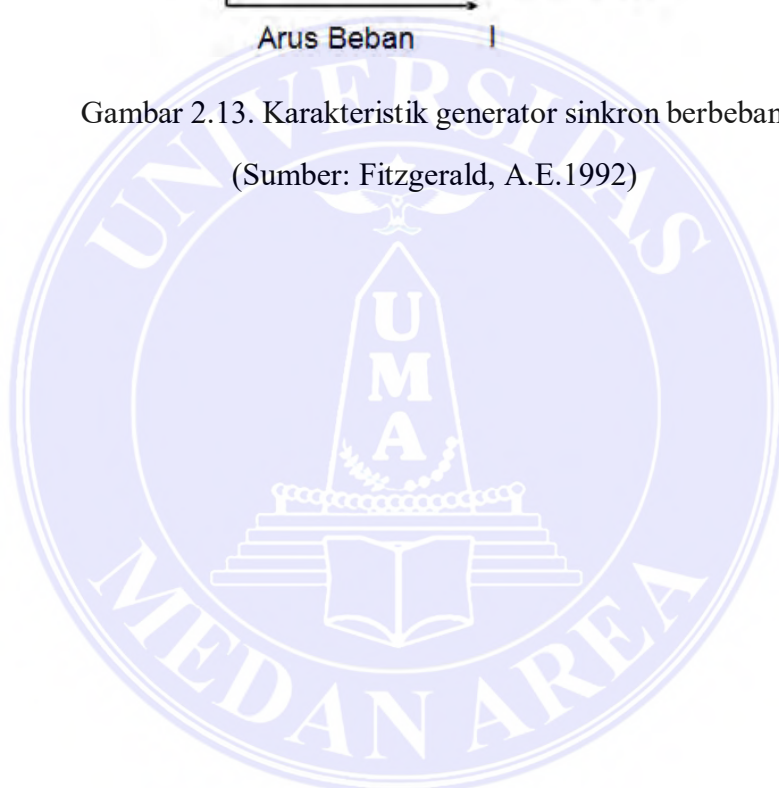
2.6.3. Generator Sinkron Berbeban

Ada tiga jenis karakteristik beban yang terhubung dengan generator, yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Akibat adanya pembebanan ini akan berpengaruh terhadap tegangan beban dan factor dayanya. Gambar 2.13 menunjukkan karakteristik generator sinkron berbeban. Jika beban generator bersifat resistif, maka berakibat penurunan tegangan yang relatif kecil dengan faktor daya sama dengan satu. Jika beban generator bersifat induktif, maka terjadi penurunan tegangan yang cukup besar dengan faktor daya terbelakang (*lagging*).

Sebaliknya, jika beban generator bersifat kapasitif, maka terjadi kenaikan tegangan yang cukup besar dengan faktor daya mendahului (leading).



Gambar 2.13. Karakteristik generator sinkron berbeban
(Sumber: Fitzgerald, A.E.1992)



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan dan Penelitian

3.1.1. Waktu Penelitian

Waktu penelitian yang diperlukan dalam pengerjaan penelitian ini kurang lebih tiga bulan, Hal ini dapat ditunjukkan seperti pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Kegiatan Penelitian	BULAN											
		I				II				III			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	Studi Literatur	■	■										
	Pengumpulan Alat dan Bahan		■	■									
	Perancangan Alat			■	■	■							
	Uji Coba Alat dan Program					■	■	■					
	Pengumpulan Data						■	■					
	Analisa Data							■	■	■	■		
	Penulisan Data							■	■	■	■	■	■

3.1.2. Tempat Penelitian

Perancangan dan pengujian Rancang Bangun Sistem Kontrol Otomatis pada Photovoltaic hybrid untuk Skala Rumah Tangga dilakukan di:

- Nama Tempat : CV. ANGKASA MOBIE TECH
- Alamat : Jalan Sultan Serdang Dusun II, Sena, Batang Kuis,
Deli Serdang, Sumatera Utara

Waktu yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah selama 1-2 bulan.

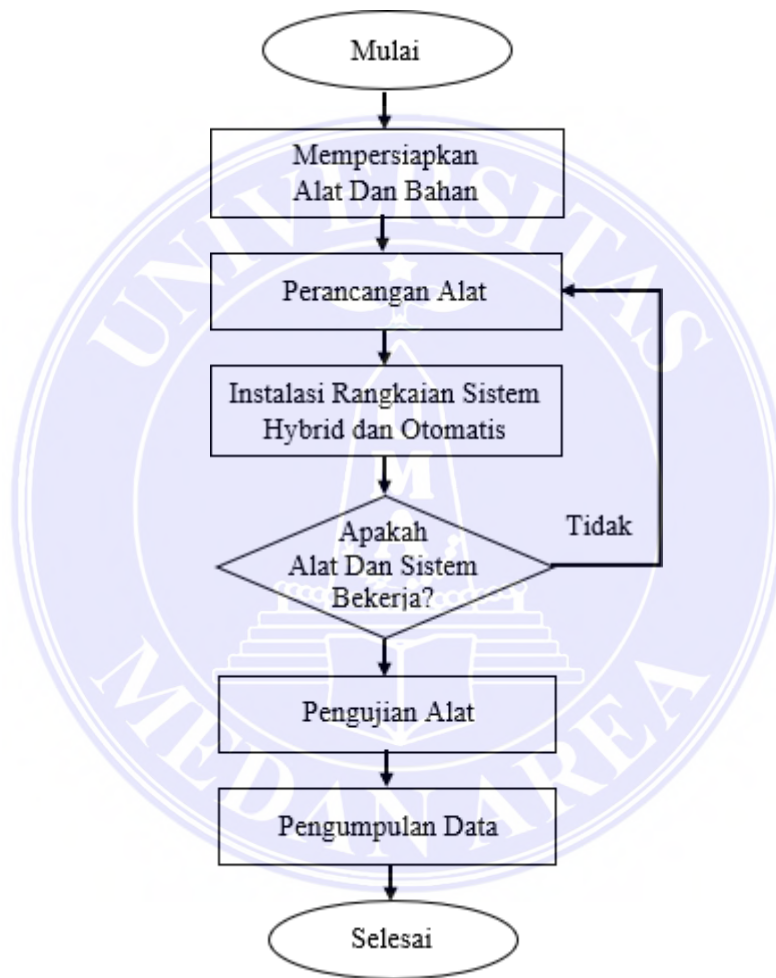
3.2. Metode Penelitian

Berikut adalah beberapa langkah atau prosedur penelitian yang dapat dilakukan dalam penelitian tentang "Rancang Bangun Sistem Kontrol Otomatis pada Photovoltaic hybrid untuk Skala Rumah Tangga":

1. Identifikasi tujuan penelitian: Tujuan penelitian harus jelas dan spesifik, misalnya untuk mengembangkan sistem kontrol otomatis yang efektif dan efisien pada sistem Photovoltaic hybrid untuk skala rumah tangga.
2. Tinjauan literatur: Melakukan tinjauan literatur untuk mempelajari sistem Photovoltaic hybrid, konfigurasi sistem, tipe dan kapasitas panel surya dan baterai yang sesuai, dan faktor-faktor lain yang perlu diperhatikan dalam merancang sistem kontrol otomatis.
3. Perancangan sistem Photovoltaic hybrid : Melakukan perancangan sistem Photovoltaic hybrid berdasarkan tinjauan literatur dan mempertimbangkan lokasi geografis rumah tangga dan kondisi lingkungan sekitarnya.
4. Perancangan sistem kontrol otomatis: Melakukan perancangan sistem kontrol otomatis yang sesuai dengan sistem Photovoltaic hybrid yang telah dirancang.
5. Pembuatan prototipe sistem: Membuat prototipe sistem Photovoltaic hybrid dan sistem kontrol otomatis berdasarkan perancangan yang telah dilakukan.
6. Pengujian prototipe sistem: Melakukan pengujian prototipe sistem untuk mengetahui kinerja sistem dan sistem kontrol otomatis.
7. Analisis data: Menganalisis data yang diperoleh dari pengujian prototipe sistem untuk mengetahui efisiensi sistem dan sistem kontrol otomatis.

8. Kesimpulan: Menarik kesimpulan dari hasil analisis data dan mengevaluasi apakah tujuan penelitian telah tercapai.

Langkah-langkah di atas dapat dijadikan sebagai panduan dalam merancang dan melakukan penelitian tentang "Rancang Bangun Sistem Kontrol Otomatis pada Photovoltaic hybrid untuk Skala Rumah Tangga".



Gambar 3.1. Flowchart

3.3. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada perancangan ataupun desain rangkaian alat pada penelitian ini berupa sebagai berikut:

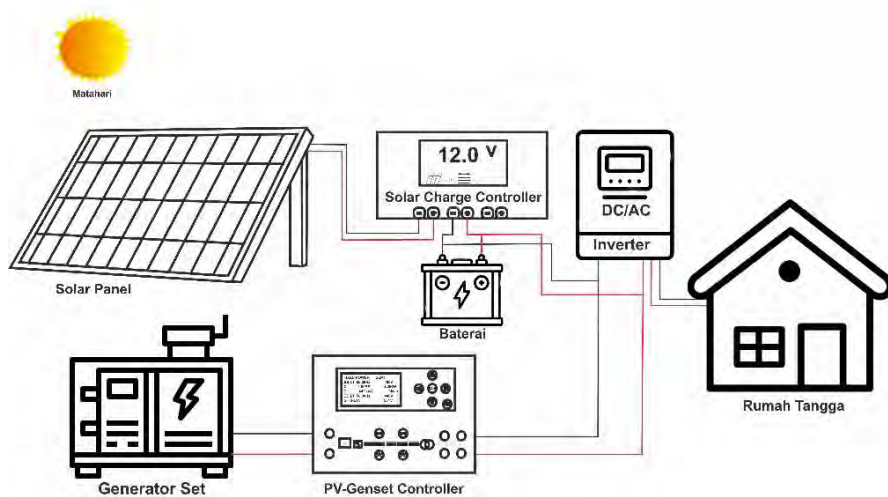
Tabel 3.2. Alat dan Bahan

No	Alat dan Bahan	Unit
1.	Panel Surya	1 Unit
2.	Genset	1 Unit
3.	<i>Solar Charger Controller (SCC)</i>	1 Unit
4.	Baterai	1 Unit
5.	Inverter	1 Unit
6.	Multimeter	1 Unit

3.4. Variabel Penelitian

Sistem ini biasanya terdiri dari beberapa komponen, termasuk panel surya, inverter, baterai, dan kontroler. Panel surya mengubah energi matahari menjadi energi listrik, yang kemudian dikirimkan ke inverter untuk dikonversi menjadi energi yang dapat digunakan oleh rumah tangga. Baterai digunakan untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya dan memasok listrik pada saat malam hari atau saat produksi listrik dari panel surya tidak mencukupi.

Kontroler otomatis pada sistem ini menggunakan Genset atau Generator set yang bertanggung jawab untuk mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan dan memastikan bahwa jumlah energi yang dihasilkan dan dikonsumsi oleh rumah tangga seimbang. Jika panel surya menghasilkan lebih banyak energi dari yang dibutuhkan oleh rumah tangga, maka kontroler akan menyimpan energi tersebut di dalam baterai untuk digunakan di kemudian hari. Sebaliknya, jika energi dari panel surya tidak mencukupi, maka kontroler akan mengambil energi dari baterai atau jaringan listrik utilitas umum.



Gambar 3 2 Wiring Diagram

3.5. Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini meliputi data responding sebuah alat, tingkat respon dari jarak kejauhan. Untuk memperoleh informasi sesuai dengan masalah ulasan ini, penulis menggunakan strategi sebagai berikut

3.5.1. Study Literature

Studi literatur adalah metode penelitian yang melibatkan analisis kritis dan evaluasi terhadap sumber-sumber informasi tertulis yang relevan dengan topik penelitian yang sedang diteliti. Sumber-sumber informasi tersebut dapat berupa buku, jurnal, makalah, artikel, laporan, dan dokumen-dokumen lainnya yang berisi penelitian atau analisis tentang topik yang sama atau terkait dengan topik yang sedang diteliti.

3.5.2. Study Observasi

Studi observasi adalah metode penelitian yang melibatkan pengamatan sistematis dan terstruktur terhadap suatu fenomena yang sedang diamati dalam situasi alami atau dalam pengaturan yang terkendali. Pada metode ini, peneliti mengamati dan merekam perilaku atau kejadian yang terjadi dalam situasi yang diberikan dengan tujuan untuk memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang fenomena yang sedang diamati.

Studi observasi dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti pengamatan terbuka atau tersembunyi, pengamatan langsung atau tidak langsung, pengamatan dengan menggunakan alat bantu seperti kamera atau perekam suara, dan lain sebagainya. Peneliti juga dapat melakukan studi observasi dengan partisipasi atau tanpa partisipasi.

3.5.3. Study Dokumentasi

Studi dokumentasi adalah metode penelitian yang melibatkan analisis dan interpretasi terhadap dokumen atau sumber informasi tertulis yang relevan dengan topik penelitian yang sedang diteliti. Dokumen atau sumber informasi yang dapat digunakan dalam studi dokumentasi dapat berupa arsip, laporan, catatan, surat, memo, dokumen kebijakan, dan sejenisnya

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang dilakukan terhadap sistem photovoltaic hybrid dengan genset, serta pengujian pengisian baterai pada sistem tersebut, dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Pada intensitas cahaya matahari yang tinggi, panel surya dapat menyediakan sebagian besar atau bahkan seluruh daya listrik yang dibutuhkan oleh beban, tanpa perlu mengandalkan genset. Kontribusi panel surya terhadap total daya listrik yang dibutuhkan oleh beban meningkat seiring peningkatan intensitas cahaya matahari.
2. Pada kondisi intensitas cahaya matahari yang rendah, genset berperan penting dalam memenuhi kebutuhan daya beban, Kontribusi genset terhadap total daya listrik yang dibutuhkan oleh beban meningkat pada kondisi intensitas cahaya matahari rendah.
3. Sistem photovoltaic hybrid dengan genset memiliki potensi untuk menyediakan pasokan listrik yang andal dengan memanfaatkan energi dari panel surya dan genset sesuai dengan kebutuhan. Efisiensi sistem dapat ditingkatkan dengan memaksimalkan penggunaan energi dari panel surya pada intensitas cahaya matahari yang mencukupi dan mengoptimalkan penggunaan bahan bakar genset pada kondisi intensitas cahaya matahari rendah.

5.2. Saran

Saran tugas akhir ini agar dapat dikembangkan menjadi lebih sempurna seperti Perencanaan pemakaian genset yang tepat, seperti mengaktifkannya saat energi dari panel surya tidak mencukupi dan mematikannya ketika energi surya tersedia dalam jumlah yang cukup dan Integrasi sistem kontrol otomatis dengan sistem manajemen energi yang terpusat untuk pemantauan dan pengendalian yang efisien.

Dengan mengimplementasikan saran-saran di atas, sistem photovoltaic hybrid untuk skala rumah tangga dapat dioptimalkan dalam hal efisiensi energi, penggunaan sumber daya yang optimal, dan peningkatan kinerja keseluruhan. Hal ini akan mendukung pengembangan energi terbarukan dan pengurangan penggunaan bahan bakar fosil dalam skala rumah tangga.

DAFTAR PUSTAKA

- <http://www.azetsurya.com>. (t.t.). Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Menengah-Besar (Hybrid-Grid Interactive). (PT. Azet Surya Lestari). Diakses 4 Mei 2023.
- Abubakar Lubis, “Energi Terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan”, Jurnal Teknik Lingkungan, Vol.8 No.2, Mei 2007, hlm. 161
- Azhar, M., & Satriawan, D. A. (2018). Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional. *Administrative Law and Governance Journal*, 1(4), 398–412. <https://doi.org/10.14710/alj.v1i4.398-412>
- Fitzgerald, A. E., Charles Kingley, Jr., Stephen, D. & Umans (1992). *Electrical Machinery (5th Edition ed.)*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- Hansen, A. D. dkk. (2000). *Model for a Stand-Alone PV System*. Roskilde: Riso National Laboratory.
- Jatmiko, Hasyim. A, Mahir. P, (2011), “Pemanfaatan Sel Surya dan LED untuk Perumahan” Semantik 2011. UDINUS Semarang
- Nuryanto, L. E. (2021). Perancangan Sistem Kontrol Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Pln Dan Plts) Kapasitas 800 Wp. *Orbith*, 17(3), 196–205.
- Riyadi. A, (2008), “Clearinghouse Energi Terbarukan dan Konservasi Energi”.
- Savira, F., & Suharsono, Y. (2013). **SISTEM KONTROL HYBRID PEMBANGKIT SOLAR CELL DAN PLN BERBASIS ARDUINO**

DUEMILANOVE ATMEGA328P Onki. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 01(01), 1689–1699.

Septina, W. (2011). *Teknologi Surya*. Retrieved 5 Mei, 2023, from <http://www.teknologisurya.wordpress.com>

Suriana, W., & Sugarayasa, W. (2022). *Jurnal Riset Teknologi dan Inovasi Pendidikan Article History | Rancang Bangun Sistem Kontrol Pembangkit Hybrid (PLN-Solar Cell) Berbasis Wemos D1 Mini Esp8266*. 5(2), 93–104. <https://journal.rekarta.co.id/index.php/jartika>

Yu, G.-R., & Wei, J.-S. (2011). *Modeling and Control of a Bi-directional Inverter for DC Microgrids*. *International Conference on System Science and Engineering*, (pp. 425-430). Macau

Zein Muhamad; Riza Muhida, O. S. P. (2022). *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pos Batas Security Pt. Gula Putih Mataram Kabupaten Lampung Tengah*. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Bandar Lampung*, Vol 9 No.2, April 2022, April.