

**TUGAS AKHIR**

**SINKRONISASI PEMBANGKIT LISTRIK *HYBRID*  
(ANGIN DAN SURYA) BERBASIS DC-AC INVERTER**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**MUHAMMAD RAFIQ  
1407220155**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2019**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Rafiq  
NPM : 1407220155  
Program Studi : Teknik elektro  
Judul Skripsi : Sinkronisasi Pembangkit listrik *Hybrid* (Angin dan Surya)  
Berbasis DC-AC Inverter

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

Noorly Evalina, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II / Peguji

Rimbawati, S.T., M.T

Dosen Pembanding I / Penguji

Faisal Irsan P, S.T., S.Pd., M.T

Dosen Pembanding II / Peguji

Partaonan Harahap, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro  
Ketua,

Faisal Irsan P, S.T., S.Pd., M.T



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Rafiq  
Tempat /Tanggal Lahir : Medan, 07 januari 1997  
NPM : 1407220155  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

### **“SINKRONISASI PEMBANGKIT LISTRIK *HYBRID* (ANGIN DAN SURYA) BERBASIS DC-AC INVERTER”**,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 21 Maret 2019



Saya yang menyatakan,

Muhammad Rafiq

## ABSTRAK

Kebutuhan masyarakat akan energi listrik kian meningkat, hal ini dikarenakan penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan pola konsumsi energi itu sendiri. Hal ini diperparah dengan tingginya kebutuhan bahan bakar minyak yang tidak di iringi oleh kenaikan kapasitas produksi. Ketersediaan energi tak terbarukan berupa energi fosil yang semakin berkurang merupakan salah satu penyebab terjadinya krisis energi dunia, penggunaan energi terbarukan dapat menjadi alternatif dalam mengatasi krisis energi fosil yang semakin berkurang. Maksud dari penelitian ini adalah bertujuan merancang prototipe dari energi terbarukan dengan sistem sinkronisasi pembangkit listrik hybrid (angin dan surya) berbasis DC-AC inverter dengan memanfaatkan energi angin dan matahari sebagai alternatif untuk menghasilkan energi listrik dengan cara menggabungkan kedua buah sumber energi tersebut menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan sumber listrik dan mengurangi pemakaian energi fosil sebagai bahan bakar pembangkit listrik konvensional penelitian yang dilakukan dengan menggunakan turbin angin savonius dengan generator permanen magnet DC type GR53X58 dan panel surya 100 WP dengan baterai 12 Ah pada PLTS dan 7.5 Ah pada PLTB sebagai media penyimpanan energi listrik dan inverter 500 watt sebagai pengubah sumber tegangan searah menjadi sumber tegangan bolak-balik mampu untuk melayani pembebanan maksimum sebesar 236 watt dengan beban kecil seperti lampu pijar dan motor kapasitas kecil.

*Kata kunci : Energi Alternatif, Panel Surya, Inverter, PLTB, PLTH*

## **ABSTRAC**

*Community needs for electricity will increase, this will increase population growth, economic growth, and the pattern of energy consumption itself. This is compounded by the high demand for fuel oil which is not accompanied by the increase in production capacity. Increasing renewable energy to diminishing fossil energy is one of the causes of rising world energy, the use of renewable energy is an alternative in overcoming the diminishing energy crisis. The purpose of this study is to discuss the prototype of renewable energy with a system aimed at hybrid power plants (wind and solar) based on DC-AC inverters using wind and solar energy as an alternative to generate electricity by connecting which can be used to meet source requirements electricity and reduce the use of fossil energy as fuel for conventional research power plants carried out using savonius wind turbines with permanent magnet generators DC type GR53X58 and 100 WP solar panels with 12 Ah batteries on PLTS and 7.5 Ah on PLTB as electrical energy storage media and a 500 watt inverter as a unidirectional voltage source converter to a alternating voltage source capable of serving 236 watts of maximum load with small loads such as incandescent bulbs and small capacity motors.*

*Keyword : Alternative Energy, Solar panel, Inverter, Wind Power Plant, Hybrid Power Plant.*

## KATA PENGANTAR



Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Sinkronisasi Pembangkit Listrik *Hybrid* (Angin dan Surya) Berbasisi DC-AC Inverter”** sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

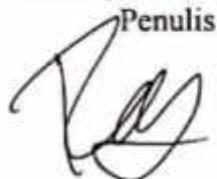
Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Ibu Norrly Evalina S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Rimbawati S.T., M.T, selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Faisal Irsan P, S.T., S.Pd., M.T, selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Elekto, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Partaonan Harahap S.T., M.T, selaku Dosen Pembanding II dan telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
7. Orang tua penulis : Syawal Asri dan Zuraidah, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis : Chandra Saputra, Nino Winanda, Yolanda Danu Putro, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil/Mesin/Elektro.

Medan, 21 Maret 2019

Penulis  


**MUHAMMAD RAFIQ**  
1407220155

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAC</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Pembatasan Masalah .....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan .....	5
2.2 Landasan Teori .....	13
2.2.1 Pengertian Sumber Energi .....	13
2.2.2 Sumber Energi konvensional.....	14
2.2.3 Energi Terbarukan.....	15
2.2.4 Energi Matahari (Energi Surya) .....	16
2.2.5 Energi Angin .....	17
2.2.6 Energi Air .....	19
2.2.7 Biomassa .....	20
2.2.8 Energi Panas Bumi ( <i>Geothermal</i> ) .....	22
2.2.9 Energi Pasang Surut Air Laut.....	24
2.2.10 Tenaga Ombak Laut .....	25
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya .....	25
2.3.1 Panel Surya.....	27
2.3.2 Karakteristik Panel Surya.....	28
2.3.3 Jenis-jenis Panel Surya.....	30

2.4	Pembangkit Listrik Tenaga Angin.....	31
2.5	Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Angin .....	32
2.6	Energi <i>Hybrid</i> .....	33
2.6.1	Sistem <i>Stand Alone</i> .....	34
2.6.2	Sistem <i>Photovoltaic Stand Alone</i> .....	35
2.6.3	Sistem <i>Wind Stand Alone</i> .....	36
2.7	Inverter .....	37
2.8	Buck/Boost Konverter .....	38
2.9	Baterai .....	39
2.10	Solar Charger Controller .....	40
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>42</b>
3.1	Lokasi Penelitian .....	42
3.2	Alat dan Bahan Penelitian .....	42
3.3	Perencanaan Sistem .....	45
3.3.1	Desain PLTS.....	45
3.3.2	Desain PLTB .....	46
3.3.3	Desain Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid .....	48
3.3.4	Rangkaian Penelitian .....	52
3.3.5	Prosedur Penelitian.....	53
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	58
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>59</b>
4.1	Unjuk Kerja Sistem .....	59
4.2	Analisa Daya pembangkit Hybrid .....	60
4.2.1	Beban Lampu Pijar Dengan Menggunakan Buck-Boost Konverter Dan Tanpa Menggunakan Buck-Boost konverter .....	61
4.2.2	Beban Motor Dengan Menggunakan Buck-Boost Konverter Dan Tanpa Menggunakan Buck-Boost konverter.....	64
4.2.3	Beban Kapasitor Dengan Menggunakan Buck-Boost Konverter Dan Tanpa Menggunakan Buck-Boost konverter.....	66
4.2.4	Beban Gabungan Dengan Menggunakan Buck-Boost Konverter Dan Tanpa Menggunakan Buck-Boost konverter.....	69
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>73</b>
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran .....	74

**DAFTAR PUSTAKA**  
**LAMPIRAN**  
**LEMBAR ASISTENSI**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Penggunaan energi konvensional.....	15
Gambar 2.2	Pemanfaatan energi matahari sebagai energi listrik.....	17
Gambar 2.3	Turbin angin.....	18
Gambar 2.4	Turbin air.....	20
Gambar 2.5	Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.....	23
Gambar 2.6	Tenaga ombak laut.....	25
Gambar 2.7	Struktur Panel Surya/Fotovoltaic.....	26
Gambar 2.8	Efek fotovoltaik mengubah energi foton menjadi tegangan di persimpangan P-N.....	28
Gambar 3.1	Karakteristik PLTS dan Sistem Sinkronisasi.....	45
Gambar 3.2	Desain Prototype PLTB Menggunakan 6 Sudu Type Vertikal (SAVIONUS).....	47
Gambar 3.3	Desain Pemasangan Sistem Sinkronisasi Tenaga Hybrid Angin Dan. Surya.....	49
Gambar 3.4	Rangkaian Pemasangan Solar Charger Controller.....	50
Gambar 3.5	Rangkaian Buck-Boost Konverter.....	51
Gambar 3.6	Rangkaian Sinkronisasi Menggunakan Buck Converter.....	52
Gambar 3.7	Rangkaian Penelitian Tanpa Menggunakan Buck Converter.....	53
Gambar 3.8	Pemasangan Panel Surya dan Baterai ke Solar Charger Controller.....	54
Gambar 3.9	Pemasangan generator dan Baterai ke Solar Charger Controller.....	54
Gambar 3.10	Rangkaian Input Buck-boost Konverter.....	55
Gambar 3.11	Rangkaian Pengukuran Output Buck-boost Konverter.....	56
Gambar 3.12	Rangkaian Pemasangan Inverter.....	56

Gambar 3.13	Rangkaian Utama Sinkronisasi Energy Hybrid (Angin dan Surya) .....	57
Gambar 3.14	Diagram Alir Penelitian .....	58
Gambar 4.1	Grafik perbandingan Tegangan dan Arus Inverter terhadap beban lampu menggunakan buck-boost konverter. ....	62
Gambar 4.2	Grafik perbandingan Tegangan dan Arus Inverter Terhadap Beban Lampu Tanpa Menggunakan Buck-Boost Konverter. ....	63
Gambar 4.3	Grafik perbandingan Tegangan dan Arus Inverter terhadap beban motor menggunakan buck-boost konverter. ....	65
Gambar 4.4	Grafik perbandingan Tegangan dan Arus Inverter terhadap beban motor tanpa menggunakan buck-boost konverter.....	66
Gambar 4.5	Grafik perbandingan Tegangan dan Arus Inverter terhadap beban kapasitor dengan menggunakan buck-boost konverter.....	67
Gambar 4.6	Grafik perbandingan Tegangan dan Arus Inverter terhadap beban kapasitor tanpa menggunakan buck-boost konverter.....	68
Gambar 4.7	Grafik perbandingan Tegangan dan Arus Inverter terhadap beban gabungan dengan menggunakan buck-boost konverter. ....	70
Gambar 4.8	Grafik perbandingan Tegangan dan Arus Inverter terhadap beban gabungan tanpa menggunakan buck-boost konverter.....	72

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Bahan-bahan yang dibutuhkan pada PLTS.....	43
Tabel 3.2	Bahan-bahan yang digunakan pada turbin angin type vertikal.....	43
Tabel 3.3	Bahan-bahan yang digunakan pada sistem sinkronisasi. ....	44
Tabel 4.1	Data hasil pengukuran pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) ....	60
Tabel 4.2	Data hasil pengukuran pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB).....	60
Tabel 4.3	Data pengujian pembebanan Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Beban Lampu Dengan Menggunakan Buck-Boost Konverter. ....	61
Tabel 4.4	Data pengujian pembebanan Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Beban Lampu Tanpa Menggunakan Buck-Boost Konverter. ....	63
Tabel 4.5	Data pengujian pembebanan Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Beban Motor Dengan Menggunakan Buck-Boost Konverter. ....	64
Tabel 4.6	Data pengujian pembebanan Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Beban Motor Tanpa Menggunakan Buck-Boost Konverter. ....	65
Tabel 4.7	Data pengujian pembebanan Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Beban Kapasitor Dengan Menggunakan Buck-Boost Konverter. ....	67
Tabel 4.8	Data pengujian pembebanan Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Beban Kapasitor Tanpa Menggunakan Buck-Boost Konverter. ....	68
Tabel 4.9	Data pengujian pembebanan Maksimum Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Beban Gabungan Menggunakan Buck-Boost Konverter. ....	70
Tabel 4.10	Data pengujian Pembebanan Maksimum Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Beban Gabungan Tanpa Menggunakan Buck-Boost Konverter. ....	71

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan masyarakat akan energi listrik kian meningkat, hal ini dikarenakan penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan pola konsumsi energi itu sendiri. Hal ini diperparah dengan tingginya kebutuhan bahan bakar minyak yang tidak diiringi oleh kenaikan kapasitas produksi.

Ketersediaan energi tak terbarukan berupa energi fosil yang semakin berkurang merupakan salah satu penyebab terjadinya krisis energi dunia, fenomena ini juga berdampak pada sektor energi listrik dunia yang menuju ambang kritis dikarenakan pemenuhan energi listrik sebagian besar masih disuplai dari pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi fosil. Menurut *blue print* pengelolaan energi nasional yang dikeluarkan Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM), Cadangan minyak bumi di Indonesia akan habis dalam kurun waktu 18 tahun lagi, sedangkan gas diperkirakan akan habis 60 tahun lagi dan batu bara 147 tahun terhitung dari tahun 2006 [1]. Hal ini sangat ironis, mengingat Indonesia mempunyai banyak sumber daya alam namun tidak dapat mengolah sumber daya alam tersebut menjadi bahan bakar jadi. Dan apabila tidak dilakukan antisipasi lebih lanjut, maka Indonesia akan mengalami krisis energi yang berkepanjangan.

Salah satu cara mengatasi dan mengantisipasi krisis energi yaitu dengan menggunakan energi alternatif. Energi alternatif merupakan energi yang dapat diperbarui dan tidak dapat habis [2]. Energi alternatif sendiri dapat dikonversi

menjadi energi listrik, energi alternatif bergantung pada situasi dan keadaan alam seperti energi matahari, angin, air, panas bumi, gelombang laut, dan energi alternatif lainnya.

Menurut Menurut *blue print* pengelolaan energi nasional 2006-2025 Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM), potensi energi angin dan energi matahari di Indonesia tercatat mampu menghasilkan energi listrik sebesar 9.26 GW untuk energi angin dan 4.80 kWh/m<sup>2</sup>/hari untuk energi matahari [1]. Pembangkit listrik tenaga *hybrid* merupakan gabungan atau integrasi dari beberapa jenis pembangkit listrik berbasis energi terbarukan. Sistem pembangkit yang biasanya digunakan untuk PLTH yaitu pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), dan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) [3]. Kedua jenis pembangkit ini dioperasikan bersamaan pada satu rel/busbar untuk memikul beban.

Penelitian ini akan membahas tentang penggabungan atau sinkronisasi tenaga hibrid dari energi angin dan surya berbasis DC-AC inverter sebagai salah satu solusi yang ditawarkan dalam menyelesaikan masalah kelistrikan yang dipandang mampu meningkatkan rasio elektrifikasi di wilayah-wilayah terpencil sekaligus dapat mengurangi konsumsi energi fosil di Indonesia.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan kajian di atas maka penelitian ini akan membahas tentang sinkronisasi tenaga hibrid (angin dan surya) berbasis DC-AC inverter, adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana unjuk kerja sistem sinkronisasi pembangkit listrik hibrid (angin dan surya) berbasis DC-AC inverter ?

2. Bagaimana tegangan dan arus yang dihasilkan dan daya maksimum yang mampu dibebani dari sistem sinkronisasi pembangkit listrik hibrid (angin dan surya) berbasis DC-AC inverter ?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui unjuk kerja sistem sinkronisasi pembangkit listrik hibrid (angin dan surya) berbasis DC-AC inverter.
2. Mengetahui dan menganalisa tegangan dan arus yang dihasilkan dan daya maksimum yang mampu dibebani dari sistem sinkronisasi pembangkit listrik hybrid (angin dan surya) berbasis DC-AC inverter.

### **1.4 Pembatasan Masalah**

Adapun batasan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisa hanya menghitung tegangan dan arus yang dihasilkan dari sistem pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan daya maksimum saat terbebani yang mampu dilayani dari sistem sinkronisasi pembangkit listrik tenaga hibrid (angin dan surya) berbasis dc-ac inverter.
2. Beban yang digunakan adalah beban lampu, motor kipas angin dan kapasitor.
3. Penelitian hanya sebatas prototype dan tidak diterapkan dalam sistem yang sebenarnya.

## **1.5 Sistematika Penulisan**

Skripsi yang disusun memiliki sistematika sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pendahuluan merupakan bagian pertama yang menjabarkan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dari pengamatan yang dilakukan, dan sistematika penulisan.

### **BAB II TEORI DASAR**

Bab ini membahas tentang teori dasar yang digunakan pada pembuatan tugas akhir.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan tentang gambaran dan penjelasan metode yang digunakan untuk penelitian.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas hasil pengujian alat dan menganalisis hasil percobaan dari alat tersebut.

### **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan penulis tentang hasil perancangan sistem sinkronisasi tenaga hibrid (angin dan surya) berbasis DC-AC inverter.

### **DAFTAR PUSTAKA**

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka Relevan**

Ketersediaan energi tak terbarukan berupa energi fosil yang semakin berkurang merupakan salah satu penyebab terjadinya krisis energi dunia. Fenomena ini juga berdampak pada sektor energi listrik dunia yang menuju ambang kritis dikarenakan pemenuhan energi listrik sebagian besar masih disuplai dari pembangkit listrik yang menggunakan energi fosil [4].

Penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik konvensional dalam jangka panjang akan mengurangi sumber minyak bumi, gas bumi dan batu bara. Maka pengurangan energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan, seperti tenaga angin dan panas matahari harus dioptimalkan [5].

Perekonomian serta perkembangan suatu negara sangat bergantung pada penyimpanan energi dari negara itu sendiri. Sebagian besar energi disediakan oleh bahan bakar fosil, dinegara-negara maju dan berkembang yang menyebabkan dampak buruk terhadap lingkungan, dan juga semakin langkanya bahan bakar fosil membuat masyarakat sakit kepala untuk mencari energi alternatif [6].

Negara-negara maju juga telah bersaing dan berlomba membuat terobosan-terobosan baru untuk mencari dan menggali serta menciptakan teknologi baru yang dapat menggantikan minyak bumi sebagai sumber energi [7].

Oleh karena itu beberapa negara membuat kebijakan dan lebih memperhatikan penelitian dibidang energi terbarukan, sebagai contoh sebelum

tahun 2020 negara-negara Uni Eropa bertujuan untuk menggunakan sumber-sumber energi terbarukan dan setidaknya 30% dari energi potensial [8].

Sumber energi terbarukan memiliki potensi yang besar bila di manfaatkan untuk menghasilkan energi listrik, yang dapat dipakai di daerah-daerah terisolir dengan menggunakan sistem pembangkit hybrid. Sistem pembangkit hybrid didesain untuk memproduksi energi listrik. Sistem ini terdiri dari beberapa unit pembangkit seperti PV (*Photo Voltaic*), turbin angin, mikrohidro, dan generator [9].

Pembangkit listrik tenaga hibrid (PLTH) merupakan gabungan antara dua atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda. Umumnya pembangkit listrik berbasis energi terbarukan dalam pengoperasiannya di hybrid dengan energi pembangkit listrik yang berasal dari fosil. PLTH bisa menjadi solusi untuk mengatasi krisis bahan bakar minyak dengan tujuan untuk mengkombinasikan keunggulan dari setiap pembangkit sekaligus untuk menutupi kelemahan masing-masing [10].

Sistem tenaga hibrid dapat berkisar dari sistem kecil yang mampu untuk menyediakan energi listrik untuk satu rumah tinggal sampai ke sistem besar yang dapat mengalirkan energi listrik untuk sebuah desa atau pulau. Sistem tenaga listrik hibrid memberikan dampak yang besar untuk daerah terpencil terutama negara berkembang dimana jaringan listrik nasional tidak layak secara teknis dan ekonomi [11].

Panel surya didesain untuk mengubah cahaya yang diterimanya menjadi energi listrik, tanpa menggunakan reaksi kimia atau memindahkan bagian-bagiannya. Panel surya *monocrystalline silicon* merupakan panel yang memiliki

tingkat efisiensi antara 12-15%. Sedangkan prinsip kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar dari kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator yang akhirnya akan menghasilkan listrik [12].

Matahari memancarkan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi disebut insolation (incoming solar radiation) yang mengalami penyerapan (absorpsi), pemantulan, hamburan, dan pemancaran kembali atau reradiasi. Radiasi tersebut hanya sekitar 50% yang dapat diserap oleh bumi [13].

Potensi tenaga surya di Indonesia secara umum ada pada tingkat cukup. Suplai energi surya yang diterima oleh permukaan bumi yaitu mencapai  $3 \times 10^2$  joule pertahun, energi ini setara dengan  $2 \times 10^1$  Watt. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Indonesia juga memiliki kapasitas angin yang cukup, karena kecepatan angin di Indonesia rata-rata berkisar antara 3 – 6 m/s. Kecepatan yang lebih tinggi dapat diperoleh di daerah Nusa Tenggara yang berkisar antara 3,5 – 6,5 m/s. Sedangkan pulau-pulau seperti Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi dan Papua hanya memiliki kecepatan angin sebesar 2,7 – 4,5 m/s. Sedangkan turbin pada umumnya merujuk pada desain dari Eropa dan Amerika yang merupakan benua dengan potensi angin terbesar dengan kecepatan sekitar 9 – 12 m/s [14].

Energi listrik searah yang dihasilkan oleh panel surya dan energi yang telah tersimpan dalam baterai, diubah bentuknya menjadi energi listrik bolak-balik. Hal ini disebabkan oleh beban-beban listrik yang membutuhkan arus bolak-balik seperti tv, lampu dan lain-lain, masih banyak yang menggunakan suplai

listrik bolak-balik. Untuk mengubah energi listrik searah menjadi bolak-balik digunakan inverter (konverter dc-ac) [15].

Karakteristik angin di Indonesia sangatlah berbeda dengan zona belahan utara ataupun selatan, hal ini disebabkan posisi geografis Indonesia berada di Khatulistiwa sehingga arah angin selalu berubah-ubah, dimana kondisi ini menyebabkan kesinambungan produksi energi dari turbin angin sumbu horizontal terganggu karena rotor turbin harus selalu berhadapan dengan datangnya arah angin [16].

Salah satu sumber energi listrik terbarukan yang sangat potensial di Negara Indonesia adalah pembangkit listrik tenaga angin. Di benua Eropa, pembangkit listrik tenaga angin merupakan pembangkit listrik energi terbarukan yang paling cepat pertumbuhannya. Telah banyak pembangkit listrik tenaga angin yang dibangun dengan kapasitas terpasang mulai dari beberapa kilowatt hingga mencapai ukuran megawatt yang terhubung dan terinterkoneksi dengan jaringan distribusi daya listrik. Sebagai contoh adalah perusahaan Enercon yang telah membangun turbin angin dengan kapasitas 4,5 MW [17].

Menggabungkan beberapa sumber energi terbarukan dapat menjadi solusi untuk mengatasi kebutuhan energi listrik. Yang tidak hanya memberikan daya yang dapat diandalkan tetapi juga mengarah pada pengurangan kapasitas yang penyimpanan yang dibutuhkan. Meskipun sistem hybrid yang besar dapat memenuhi permintaan beban, tetapi itu bisa menjadi sangat mahal. Sistem hybrid yang berukuran kecil sangat ekonomis, tetapi tidak mencukupi untuk kebutuhan beban. Ukuran optimal dari sistem tenaga energi terbarukan tergantung pada model matematis dari komponen sistem [18].

Untuk mengetahui biaya investasi dan operasi minimum dan juga kendala teknis dan emisi, ukuran optimal peralatan dari sistem hybrid energi terbarukan harus ditentukan. Salah satu alat yang dapat untuk tujuan ini adalah *Hybrid Optimization Model for Electric Renewables* (HOMER), Yang dikembangkan oleh *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) Amerika Serikat. Perangkat lunak ini telah digunakan oleh banyak peneliti di seluruh dunia [19].

Sebelum membuat dan mengoperasikan sistem hybrid energi terbarukan, biasanya akan dilakukan studi kelayakan. Studi analisis kelayakan meliputi kondisi iklim dari lokasi yang diusulkan, ketersediaan energi terbarukan dan penilaian beban dan beban permintaan. Studi kelayakan membantu dalam menemukan lokasi terbaik untuk mengembangkan sistem hybrid energi terbarukan surya dan angin [20].

Ukuran sistem hybrid energi terbarukan umumnya bervariasi, dari beberapa KW hingga ratusan KW tergantung pada beban yang akan di diberikan. System hybrid energy terbarukan dengan kapasitas kurang dari 5 KW bisa digolongkan sebagai sistem kecil, Sistem semacam ini umumnya hanya melayani beban rumah tangga. Kemudian sistem dengan kapasitas lebih dari 5 KW dan kurang dari 100 KW dapat digolongkan sebagai sistem menengah. Biasanya digunakan untuk mengaliri sebuah desa dengan beberapa rumah yang terletak jauh dari jaringan utilitas. Tipe lain dari sistem yang dapat menggerakkan suatu wilayah dengan daya lebih dari 100 KW bisa disebut sebagai sistem besar. Sistem ini umumnya terhubung ke jaringan untuk memungkinkan pertukaran daya antara grid dan sistem jika terjadi kekurangan dan kelebihan daya [21].

Teknologi penyimpanan energi telah menjadi elemen kunci untuk sistem hybrid energi terbarukan yang terletak di daerah terpencil, dimana sambungan ke jaringan listrik sangat terbatas. Karena sifat berubah-ubah dari energi terbarukan, berkaitan dengan suplai dan permintaan energi yang berfluktuasi merupakan tantangan utama dalam mengelola energi hybrid. Pemasangan teknologi penyimpanan energi dapat menjadi solusi efektif dalam mengatasi tantangan ini. Penerapan sistem penyimpanan energi ini memastikan pengaturan beban secara real time dan memungkinkan pemanfaatan energy hybrid yang lebih baik dengan menghindari pelepasan beban disaat kelebihan produksi [22].

Penelitian tentang “Rancang Bangun Unit Pembangkitan Dan Modul Pengukurannya Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Angin dan Matahari)” Menghasilkan tegangan listrik yang dihasilkan pada kondisi cerah oleh PLT-Surya stabil pada tegangan sebesar 24 Volt-dc menggunakan PV berkapasitas 200 Wp sementara PLT-Angin bervariasi dari 0 - 10 Volt-dc berkapasitas 100 W. Dimana variasi ini disebabkan karena bergantung pada kecepatan angin yang dilakukan dilokasi penelitian [23].

Penelitian selanjutnya tentang “Optimasi Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Menggunakan Homer Di Pulau Tunda” menghasilkan hasil pengujian menggunakan *software* HOMER, sistem PLTH skenario 3 diperoleh nilai kontribusi PLTS sebesar 43% atau 198280 kWh / tahun, PLTB sebesar 56 % atau 256106 kWh / tahun dan PLTD sebesar 1 % atau 4165 kWh / tahun [24].

HOMER adalah suatu model sistem pembangkit skala kecil (*micropower*) untuk mempermudah dalam mengevaluasi desain dari jaringan tunggal (*off-grid*) maupun jaringan yang terkoneksi dengan sistem (*grid-connected*). Perangkat

lunak ini melakukan perhitungan keseimbangan energi untuk setiap 8.760 jam dalam setahun. Kemudian menentukan konfigurasi yang layak, apakah dapat memenuhi kebutuhan listrik di bawah kondisi yang ditentukan, perkiraan biaya instalasi dan sistem operasi selama masa proyek [25].

Sistem hibrid photovoltaik adalah salah satu cara meningkatkan efisiensi dari suatu modul photovoltaik. Energi surya dalam modul photovoltaik hanya mampu mencapai efisiensi rata-rata 10%. Oleh karena itu, dianggap perlu memanfaatkan energi panas pada modul photovoltaik untuk peningkatan efisiensi panel surya. Ide dibalik konsep hibrida adalah bahwa sel surya mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik pada kondisi puncak dengan efisiensi dalam kisaran 6 - 15%. Sebagian besar energi matahari yang diterima diubah menjadi energi panas, menyebabkan kenaikan suhu kerja sel surya. Dengan pendinginan modul fotovoltaik dengan aliran fluida seperti udara atau air, energi listrik yang dihasilkan dapat ditingkatkan. Desain hibrida memang memberi keuntungan tambahan, seperti pengurangan tegangan termal (dan karenanya usia pakai modul fotovoltaik akan lebih panjang) dan stabilitas karakteristik tegangan-arus (V-I) sel surya [26].

Penelitian tentang “Desain Kontrol Multi – Input DC – DC Converter Sistem Hibrid Turbin Angin dan Sel Surya Menggunakan Kontrol *Fuzzy Logic*” dilakukan dengan menggunakan input DC/DC yang dikontrol dengan menggunakan fuzzy logic controller yang dapat menghasilkan daya pada kondisi maksimum dari daya maksimum sel surya dan turbin angin sehingga losses pada sel surya dan turbin angin dapat diperkecil [27].

Inverter digunakan untuk mengubah tegangan input DC menjadi tegangan AC. Keluaran inverter dapat berupa tegangan yang dapat diatur dan tegangan yang tetap. Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan battery, cell bahan bakar, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain. Tegangan output yang biasa dihasilkan adalah 120 V 60 Hz, 220 V 50 Hz, 115 V 400 Hz, sedangkan *boost converter* berfungsi untuk mengatur tegangan *wind turbine* ke tegangan beban, sedemikian sehingga daya output selalu berada di titik daya maksimum [28].

*Boost converter* memiliki 2 mode, yaitu mode saklar on dan mode saklar off. Jika saklar pada kondisi tertutup, arus akan mengalir ke *inductor* sehingga menyebabkan energi yang tersimpan di *inductor* naik. Saat saklar terbuka, arus *inductor* akan mengalir menuju beban melewati *diode* sehingga energi yang tersimpan di *inductor* akan turun. Rasio antara tegangan output dan tegangan input *converter* sebanding dengan rasio antara periode penyaklaran dan waktu pembukaan saklar [29].

*Buck Converter* adalah rangkaian yang nilai tegangan keluaran lebih rendah daripada nilai tegangan masukan, rangkaian *buck converter* terdiri dari induktor, kapasitor dan komponen pensaklaran berupa MOSFET. Prinsip kerja dari rangkaian *buck converter* terbagi atas dua kondisi yaitu kondisi saklar *on* dan kondisi saklar *off*. Ketika pada kondisi saklar *on*, arus mengalir dari sumber menuju induktor sehingga terjadi proses penyimpanan arus pada induktor. Pada waktu yang sama kapasitor akan menyimpan energi dalam bentuk tegangan. Kondisi kedua adalah ketika kondisi saklar *off* dan tidak ada sumber tegangan maka arus yang disimpan pada induktor dikeluarkan menuju ke beban. Pada

proses ini, induktor melakukan pengosongan energi yang tersimpan ke seluruh rangkaian. Jika kondisi saklar *on* lagi sebelum induktor habis sepenuhnya, tegangan pada beban akan selalu lebih besar dari nol [30].

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Pengertian Sumber Energi**

Sumber energi adalah segala sesuatu disekitar kita yang mampu menghasilkan energi. Ada banyak sumber-sumber energi utama dan digolongkan menjadi dua kelompok, yakni :

#### **1. Energi Konvensional (Energi tak Terbarukan)**

Energi konvensional adalah energi yang diambil dari sumber yang hanya tersedia dalam jumlah terbatas di bumi dan tidak dapat diregenerasi. Sumber-sumber energi ini akan berakhir cepat atau lambat dan berbahaya bagi lingkungan.

#### **2. Energi Alternatif (Energi Terbarukan)**

Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber alami seperti matahari, angin, dan air dan dapat dihasilkan lagi. Sumber akan selalu tersedia dan tidak merugikan lingkungan.

Sumber-sumber energi Konvensional dan Terbarukan bisa dikonversikan menjadi sumber-sumber energi sekunder, seperti listrik. Listrik berbeda dari sumber-sumber energi lainnya dan dinamakan sumber energi sekunder atau pembawa energi karena dimanfaatkan untuk menyimpan, memindahkan atau mendistribusikan energi dengan nyaman. Sumber energi primer diperlukan untuk menghasilkan energi listrik.

### 2.2.2 Sumber Energi konvensional

Sumber-sumber energi konvensional tidak dapat tergantikan dalam waktu singkat, itulah mengapa disebut dengan tidak terbarukan. Sumber-sumber energi konvensional tidak ramah lingkungan, karena menimbulkan polusi udara, air, dan tanah yang berdampak kepada penurunan tingkat kesehatan dan standar hidup.

Beberapa jenis energi konvensional yang terdapat di alam adalah sebagai berikut :

#### 1. Batu Bara

Batu bara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batu bara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk.

#### 2. Minyak Bumi

Minyak Bumi dijuluki juga sebagai emas hitam, adalah cairan kental, berwarna coklat gelap, atau kehijauan yang mudah terbakar, yang berada di lapisan atas dari beberapa area di kerak bumi. Minyak Bumi terdiri dari campuran kompleks dari berbagai hidrokarbon, sebagian besar seri alkana, tetapi bervariasi dalam penampilan, komposisi, dan kemurniannya. Minyak Bumi diambil dari sumur minyak di pertambangan-pertambangan minyak. Lokasi sumur-sumur minyak ini didapatkan setelah melalui proses studi geologi, analisis sedimen, karakter dan struktur sumber, dan berbagai macam studi lainnya.

### 3. Gas Alam

Gas alam sering juga disebut sebagai gas Bumi atau gas rawa, adalah bahan bakar fosil berbentuk gas yang terutama terdiri dari metana ( $\text{CH}_4$ ). Ia dapat ditemukan di ladang minyak, ladang gas Bumi dan juga tambang batu bara. Ketika gas yang kaya dengan metana diproduksi melalui pembusukan oleh bakteri anaerobik dari bahan-bahan organik selain dari fosil, maka ia disebut biogas. Sumber biogas dapat ditemukan di rawa-rawa, tempat pembuangan akhir sampah, serta penampungan kotoran manusia dan hewan.



Gambar 2.1 Penggunaan energi konvensional.

#### 2.2.3 Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah sumber-sumber energi yang bisa habis secara alamiah. Energi terbarukan berasal dari elemen-elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah besar. Matahari, angin, sungai, panas bumi dan tumbuhan merupakan sumber energi paling bersih yang tersedia di alam.

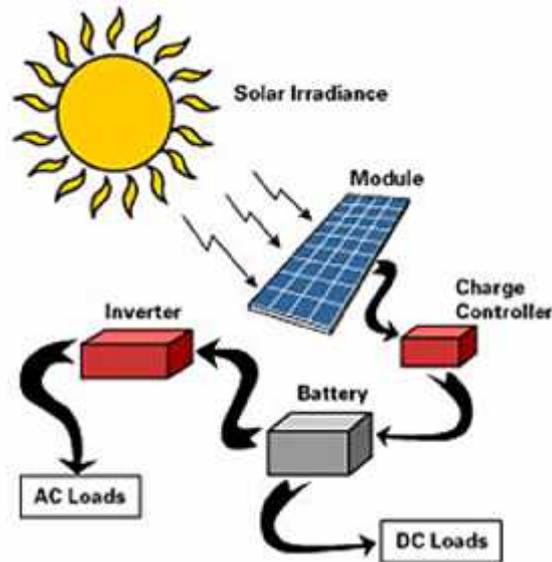
Ada berbagai jenis energi terbarukan, namun tidak semuanya bisa digunakan di daerah-daerah terpencil dan pedesaan. Tenaga surya, angin, air dan biomassa adalah teknologi yang paling sesuai untuk menyediakan energi di daerah-daerah terpencil dan pedesaan. Energi terbarukan lainnya termasuk panas bumi dan energi pasang surut adalah teknologi yang tidak bisa dilakukan di semua tempat.

Indonesia memiliki sumber panas bumi sekitar 40% dari sumber total dunia. Akan tetapi sumber-sumber ini berada ditempat-tempat yang spesifik dan tidak tersebar luas. Teknologi energi terbarukan lainnya adalah tenaga ombak, yang masih dalam tahap pengembangan.

#### **2.2.4 Energi Matahari (Energi Surya)**

Energi surya adalah energi yang berupa sinar panas padan panas dari matahari. Energi ini dapat dimanfaatkan dengan menggunakan serangkaian teknologi seperti pemanas surya, fotovoltaik surya, listrik panas surya, dan fotosintesis buatan.

Teknologi energi surya secara umum dikategorikan menjadi dua kelompok, yakni teknologi pemanfaatan pasif dan teknologi pemanfaatan aktif. Pengelompokan ini tergantung pada proses penyerapan, pengubahan, dan penyaluran energi surya. Contoh pemanfaatan energi surya secara aktif adalah penggunaan panel fotovoltaik dan panel penyerap panas. Contoh pemanfaatan energi surya secara pasif meliputi mengarahkan bangunan ke arah matahari, memilih bangunan dengan massa termal atau kemampuan dispersi cahaya yang baik, dan merancang ruangan dengan sirkulasi udara alam.



Gambar 2.2 Pemanfaatan energi matahari sebagai energi listrik.

( Sumber : <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/10584>)

### 2.2.5 Energi Angin

Energi angin adalah salah satu jenis sumber energi terbarukan yang potensial untuk menghasilkan energi listrik maupun energi mekanik melalui proses konversi konversi ke mekanik dan selanjutnya ke listrik. Energi kinetik yang terdapat pada angin dapat diubah menjadi energi mekanik untuk memutar peralatan seperti pompa, piston, penggilingan, dan lain lain. Sementara itu, pengolahan selanjutnya dari energi mekanik yaitu untuk memutar generator yang dapat menghasilkan listrik. Kedua proses pengubahan ini disebut konversi energi angin, sedangkan sistem atau alat yang melakukannya disebut SKEA (Sistem Konversi Eenergi Angin). Selanjutnya untuk menghasilkan listrik disebut SKEA listrik atau lebih dikenal sebagai turbin angin, dan untuk mekanik disebut SKEA mekanik atau kincir angin. Sekarang ini, pemanfaatn energi angin lebih umum

yakni dalam bentuk energi listrik, sementara bentuk energi mekanik atau yang lebih dikenal sebagai pemanfaatan langsung mulai berkurang.

Dalam pemanfaatannya, diperlukan data atau informasi mengenai potensi energi aktual yang tersedia dilokasi pemasangan dan kebutuhan dilokasi tersebut. Kajian dan evaluasi yang lebih akurat mengenai kedua aspek ekonomis akan menghasilkan pemanfaatan SKEA yang optimal di suatu lokasi.



Gambar 2.3 Turbin angin.

( Sumber : <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/10584>)

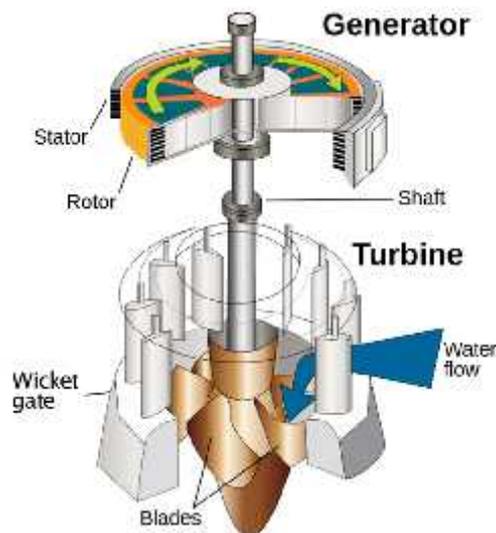
Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan berbagai kebijakan, keputusan, peraruran, strategi dan tindakan nyata secara terencana untuk mendorong pengembangan dan pengimplementasikan penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT) agar mampu menyediakan pasokan energi yang didasarkan pada potensi yang tersedia dan kondisi pemanfaatan setempat. Kontribusi EBT diharapkan semakin meningkat dan secara nasional dapat mencapai 11% dari kebutuhan energi nasional pada tahun 2025. Khusus untuk enegi angin, implementasi yang

direncanakan mencapai 250 MW pada tahun 2025, sementara sampai saat ini pemanfaatan energi angin di Indonesia baru mencapai 1 MW daya terpasang.

### **2.2.6 Energi Air**

Tenaga air atau *Hydropower* adalah energi yang berasal diperoleh dari yang mengalir. Pada dasarnya, air di seluruh permukaan bumi ini bergerak (mengalir). Tenaga air yang memanfaatkan gerakan air biasanya didapat dari sungai yang dibendung. Pada bagian bawah dam tersebut terdapat lubang-lubang saluran air. Pada lubang lubang tersebut terdapat turbin yang berfungsi mengubah energi kinetik dari gerakan air menjadi energi mekanik yang dapat menggerakkan generator listrik. Energi listrik yang berasal dari energi kinetik disebut "*hydroelectric*". *Hydroelectric* ini menyumbang sekitar 715.000 MW atau sekitar 19% kebutuhan listrik dunia. Bahkan di Kanada 61% dari kebutuhan negara berasal adri *Hydroelectric*.

Energi air digunakan karena memiliki massa dan mampu mengalir. Air memiliki massa jenis 800 kali dibandingkan udara. Bahkan gerakan air yang lambat mampu diubah kedalam bentuk lain. Turbin air di desain untuk mendapatkan energi dari berbagai jenis *reservoir*, yang diperhitungkan dari jumlah massa air, ketinggian, hingga kecepatan air.



Gambar 2.4 Turbin air.

( Sumber : <http://eprints.umsida.ac.id/3533/>)

### 2.2.7 Biomassa

Bahan bakar *bio-fuel* adalah bahan bakar yang diperoleh dari biomassa organisme atau produk metabolisme hewan, seperti kotoran dari sapi dan segainya. Ini juga merupakan salah satu sumber energi terbarukan. Biomassa dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar atau untuk memproduksi bahan bakar jenis lain seperti biodisel, bioetanol, atau biogas tergantung subernya. Biomassa berbentuk biodisel, bioetanol, dan biogas dapat dibakar dimesin pembakaran dalam atau pendih secara langsung dengan kondisi tertentu.

Biomassa menjadi sumber energi terbarukan jika laju pengambilan tidak melebihi laju produksinya, karena pada dasarnya biomassa merupakan bahan yang diproduksi oleh alam dalam waktu relatif singkat melalui berbagai proses biologis. Berbagai kasus penggunaan biomassa yang tidak terbarukan sudah terjadi, seperti kasus deforestasi zaman romawi, dan yang sekarang terjadi, deforestasi hutan amazon. Gambut juga sebenarnya biomassa yang

pendefinisiannya sebagai energi terbarukan cukup bias karena laju ekstraksi oleh manusia tidak sebanding dengan laju pertumbuhan lapisan gambut.

Ada tiga bentuk penggunaan biomassa, yaitu secara padat, cair, dan gas. Dan secara umum ada dua metode dalam memproduksi biomassa, yaitu dengan menumbuhkan organisme penghasil biomassa dan menggunakan bahan sisa hasil industri pengolahan makhluk hidup. Adapun beberapa bentuk penggunaan energi biomassa adalah sebagai berikut :

1. Bahan bakar bio cair

Bahan bakar bio cair biasanya berbentuk bioalkohol seperti metanol, etanol dan biodiesel. Biodiesel dapat digunakan pada kendaraan diesel modern dengan sedikit atau tanpa modifikasi dan dapat diperoleh dari limbah sayur dan minyak hewani serta lemak. Tergantung potensi setiap daerah, jagung, gula bit, tebu, dan beberapa jenis rumput dibudidayakan untuk menghasilkan bioetanol. Sedangkan biodiesel dihasilkan dari tanaman atau hasil tanaman yang mengandung minyak (kelapa sawit, kopra, biji jarak, alga) dan telah melalui berbagai proses seperti esterifikasi.

2. Biomassa padat

Penggunaan langsung biasanya dalam bentuk padatan yang mudah terbakar, baik kayu bakar atau tanaman yang mudah terbakar. Tanaman dapat dibudidayakan secara khusus untuk pembakaran atau dapat digunakan untuk keperluan lain, seperti diolah di industri tertentu dan limbah hasil pengolahan yang bisa dibakar dijadikan bahan bakar. Pembuatan briket biomassa juga menggunakan biomassa padat, di mana bahan bakunya bisa berupa potongan

atau serpihan biomassa padat mentah atau yang telah melalui proses tertentu seperti pirolisis untuk meningkatkan persentase karbon dan mengurangi kadar airnya. Biomassa padat juga bisa diolah dengan cara gasifikasi untuk menghasilkan gas.

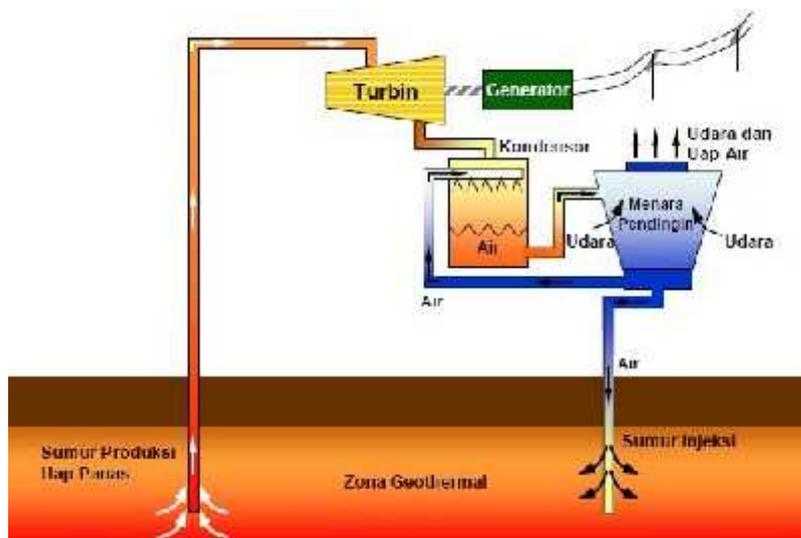
### 3. Biogas

Berbagai bahan organik, secara biologis dengan fermentasi, maupun secara fisiko-kimia dengan gasifikasi, dapat melepaskan gas yang mudah terbakar. Biogas dapat dengan mudah dihasilkan dari berbagai limbah dari industri yang ada saat ini, seperti produksi kertas, produksi gula, kotoran hewan peternakan, dan sebagainya. Berbagai aliran limbah harus diencerkan dengan air dan dibiarkan secara alami berfermentasi, menghasilkan gas metana. Residu dari aktivitas fermentasi ini adalah pupuk yang kaya nitrogen, karbon, dan mineral.

#### 2.2.8 Energi Panas Bumi (*Geothermal*)

Energi panas bumi adalah energi panas yang terdapat dan terbentuk di dalam kerak bumi. Temperatur di bawah kerak bumi bertambah seiring bertambahnya kedalaman. Suhu di pusat bumi diperkirakan mencapai 5400 °C. Energi panas bumi ini berasal dari aktivitas tektonik di dalam bumi yang terjadi sejak planet ini diciptakan. Panas ini juga berasal dari panas matahari yang diserap oleh permukaan bumi. Energi ini telah dipergunakan untuk memanaskan ruangan atau air sejak peradaban Romawi, namun sekarang lebih populer untuk menghasilkan energi listrik. Sekitar 10 Giga Watt pembangkit listrik tenaga panas bumi telah dipasang di seluruh dunia pada tahun 2007, dan menyumbang sekitar 0.3% total energi listrik dunia.

Pembangkit listrik tenaga panas bumi hanya dapat dibangun di sekitar lempeng tektonik di mana temperatur tinggi dari sumber panas bumi tersedia di dekat permukaan. Pengembangan dan penyempurnaan dalam teknologi pengeboran dan ekstraksi telah memperluas jangkauan pembangunan pembangkit listrik tenaga panas bumi dari lempeng tektonik terdekat.



Gambar 2.5 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.

( Sumber :

<https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/view/19614>)

Efisiensi termal dari pembangkit listrik tenaga panas bumi cenderung rendah karena fluida panas bumi berada pada temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan uap atau air mendidih. Berdasarkan hukum termodinamika, rendahnya temperatur membatasi efisiensi dari mesin kalor dalam mengambil energi selama menghasilkan listrik. Sisa panas terbuang, kecuali jika bisa dimanfaatkan secara lokal dan langsung, misalnya untuk pemanas ruangan. Efisiensi sistem tidak memengaruhi biaya operasional seperti pembangkit listrik tenaga bahan bakar fosil.

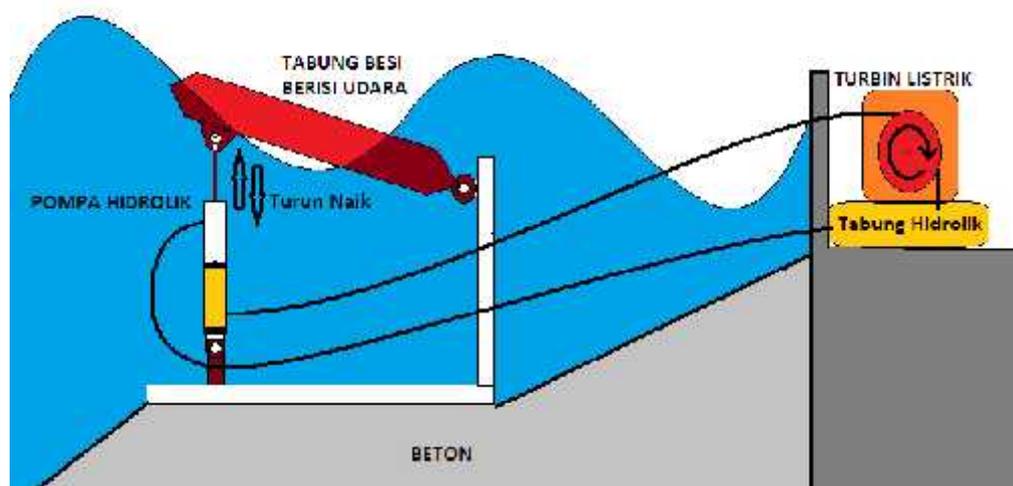
### **2.2.9 Energi Pasang Surut Air Laut**

Energi pasang surut adalah energi yang dihasilkan dari pasang surut air laut dan menjadikannya energi dalam bentuk lain, terutama listrik. Energi pasang surut merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang relatif lebih mudah diprediksi jumlahnya dibandingkan energi angin dan energi surya. Pemanfaatannya saat ini belum luas karena tingginya biaya awal dan terbatasnya lokasi yang memiliki pasang surut yang mencukupi. Penelitian dan pengembangan lebih lanjut terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan batas kritis energi yang dihasilkannya sehingga didapatkan berbagai metode untuk mengekstraksi energi jenis ini.

Dua kali sehari, air pasang naik dan turun menggerakkan volume air yang sangat banyak saat tingkat air laut naik dan turun di sepanjang garis pantai. Energi air pasang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik seperti halnya listrik tenaga air tetapi dalam skala yang lebih besar. Pada saat air pasang, air bisa ditahan di belakang bendungan. Ketika surut, maka tercipta perbedaan ketinggian air antara air pasang yang ditahan di bendungan dan air laut, dan air laut di belakang bendungan bisa mengalir melalui turbin yang berputar, untuk menghasilkan listrik. Memang tidak mudah membangun penahan air pasang ini, karena pantai harus terbentuk secara alami dalam bentuk kuala, dan hanya 20 lokasi di seluruh dunia yang telah diidentifikasi sebagai tempat yang berpotensi untuk dimanfaatkan energi pasang surut.

### 2.2.10 Tenaga Ombak Laut

Ombak laut yang selalu beralun disebabkan oleh angin yang meniup di atas laut. Ombak laut memiliki potensi menjadi sumber energi yang hebat jika bisa dimanfaatkan dengan benar. Ada beberapa metode untuk memanfaatkan energi ombak. Ombak bisa ditangkap dan dinaikkan ke bilik dan udara dikeluarkan paksa dari bilik tersebut. Udara yang bergerak menggerakkan turbin (seperti turbin angin) yang menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Sistem energi ombak yang lain adalah memanfaatkan gerakan naik turun ombak untuk menggerakkan piston yang bisa menggerakkan generator.



Gambar 2.6 Tenaga ombak laut.

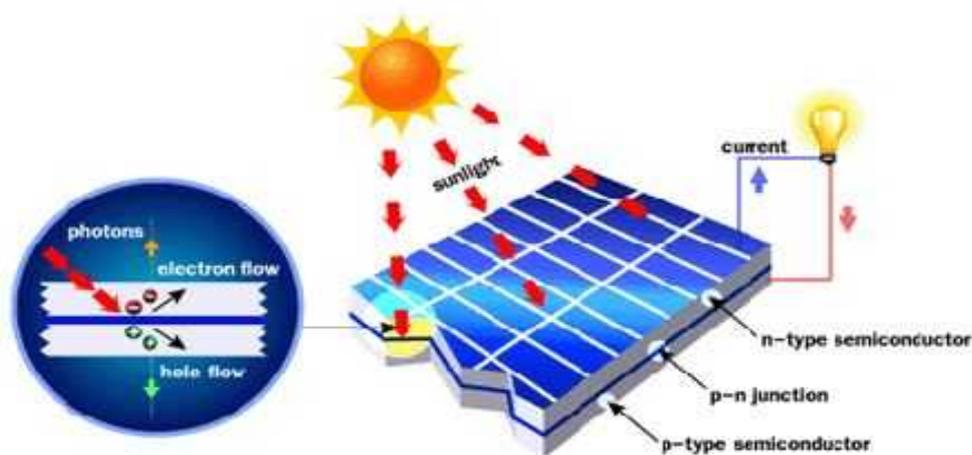
( Sumber : <http://e-journal.akpelni.ac.id/index.php/gemar/article/view/7>)

### 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Pembangkitan listrik bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung menggunakan fotovoltaik dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. Fotovoltaik mengubah secara langsung

energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Pemusatan energi surya menggunakan sistem lensa atau cermin dikombinasikan dengan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari ke satu titik untuk menggerakkan mesin kalor.

Sel surya atau sel fotovoltaik adalah alat yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Dibuat pertama kali pada tahun 1880 oleh Charles Fritts. Pembangkit listrik tenaga surya tipe fotovoltaik adalah pembangkit listrik yang menggunakan perbedaan tegangan akibat efek fotoelektrik untuk menghasilkan listrik. Solar panel terdiri dari 3 lapisan, lapisan panel P di bagian atas, lapisan pembatas di tengah, dan lapisan panel N di bagian bawah. Efek fotoelektrik adalah di mana sinar matahari menyebabkan elektron di lapisan panel P terlepas, sehingga hal ini menyebabkan proton mengalir ke lapisan panel N di bagian bawah dan perpindahan arus proton ini adalah arus listrik.



Gambar 2.7 Struktur panel surya/fotofoltaik.

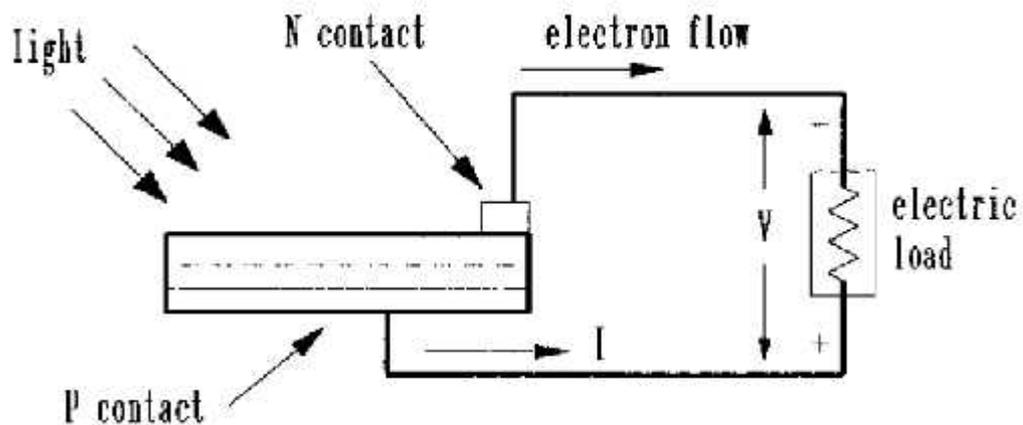
( Sumber : <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/23379>)

### 2.3.1 Panel Surya

Efek fotovoltaiik adalah potensi listrik yang dikembangkan antara dua bahan yang berbeda ketika persimpangan umum mereka diterangi dengan radiasi foton. Sel fotovoltaiik dengan demikian mengubah cahaya langsung menjadi listrik. Efek fotovoltaiik ditemukan pada tahun 1839 oleh fisikawan Perancis Becquerel. Itu tetap di laboratorium sampai 1954, ketika Bell Laboratories menghasilkan sel surya silikon pertama. Segera ditemukan aplikasi dalam program ruang angkasa Amerika Serikat untuk kapasitas daya tinggi per satuan berat. Sejak itu telah menjadi sumber daya penting bagi satelit. Setelah dikembangkan kedewasaan dalam aplikasi bidang teknologi fotovoltaiik, sekarang menyebar ke aplikasi terestrial mulai dari menyalakan situs remote untuk memberi suplai utilitas.

Proses fisika sel fotovoltaiik sangat mirip dengan dioda persimpangan P-N klasik. Ketika cahaya diserap oleh persimpangan, energi foton yang diserap ditransfer ke sistem elektron dari material, menghasilkan penciptaan muatan yang dipisahkan di persimpangan. Operator muatan mungkin pasangan elektron-ion dalam elektrolit cair, atau pasangan elektronhole dalam bahan semikonduktor padat. Operator muatan di daerah persimpangan menciptakan gradien potensial, mendapatkan akselerasi di bawah medan listrik dan beredar sebagai arus melalui sirkuit eksternal. Saat ini kuadrat kali perlawanan dari sirkuit adalah kekuatan diubah menjadi listrik. Kekuatan yang tersisa dari foton mengangkat suhu sel. Asal usul potensi fotovoltaiik adalah perbedaan dalam potensi kimia, yang disebut tingkat Fermi, dari elektron dalam dua bahan terisolasi. Ketika mereka bergabung, persimpangan mendekati kesetimbangan termodinamika baru. Kesetimbangan

seperti itu dapat dicapai hanya ketika tingkat Fermi sama dalam dua bahan. Hal ini terjadi oleh aliran elektron dari satu material ke yang lain sampai perbedaan tegangan dibentuk antara dua material yang memiliki potensi sama dengan perbedaan awal tingkat Fermi.



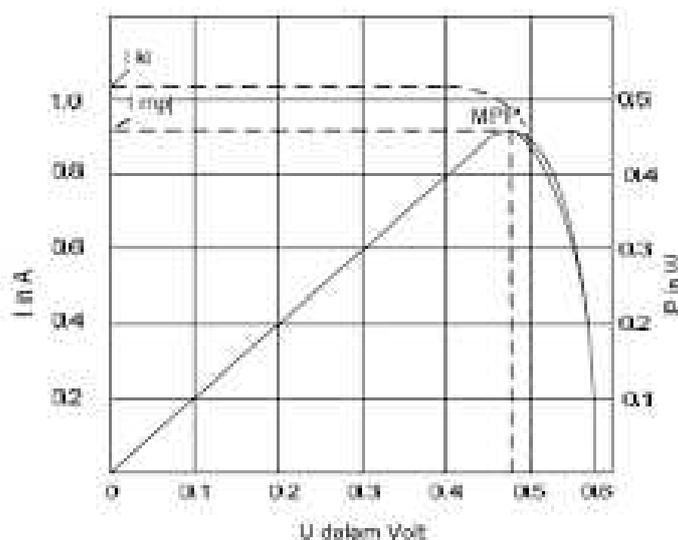
Gambar 2.8 Efek fotovoltaiik mengubah energi foton menjadi tegangan di persimpangan P-N.

### 2.3.2 Karakteristik Panel Surya

Solar cell atau panel surya menghasilkan arus, dan arus ini beragam tergantung pada tegangan solar cell. Karakteristik tegangan-arus biasanya menunjukkan hubungan tersebut. Ketika tegangan solar cell sama dengan nol atau digambarkan sebagai “solar cell hubung pendek”, “arus rangkaian pendek” atau  $I_{sc}$  (*short circuit current*), yang sebanding dengan irradiansi terhadap sel surya dapat diukur. Nilai  $I_{sc}$  naik dengan meningkatnya temperatur, meskipun temperatur standar yang tercatat untuk arus rangkaian pendek adalah 25 °C. Jika arus solar cell sama dengan nol, solar cell tersebut digambarkan sebagai “rangkaiian terbuka”. Tegangan sel surya kemudian menjadi “tegangan rangkaian terbuka”,  $V_{oc}$  (*open circuit voltage*). Ketergantungan  $V_{oc}$  terhadap irradiansi

bersifat logaritmis, dan penurunan yang lebih cepat disertai peningkatan temperatur melebihi kecepatan kenaikan  $I_{sc}$ . Oleh karena itu, daya maksimum solar cell dan efisiensi sel surya menurun dengan peningkatan temperatur. Pada kebanyakan solar cell, peningkatan temperatur dari 25 °C mengakibatkan penurunan daya sekitar 10%.

Sel surya menghasilkan daya maksimumnya pada tegangan tertentu. Gambar di bawah ini menunjukkan tegangan arus dan karakteristik tegangan-daya. Gambar ini juga menunjukkan dengan jelas bahwa kurva daya memiliki titik daya maksimum yang disebut MPP (*Maximum Power Point*).



Gambar 2.9 Grafik arus terhadap tegangan sebagai karakteristik panel surya.

( Sumber : <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/23379>)

Tegangan titik daya maksimum atau  $V_{MPP}$  biasanya kurang dari tegangan rangkaian terbuka dan arusnya,  $I_{MPP}$  lebih rendah dibandingkan dengan arus rangkaian pendek. Pada titik daya maksimum (MPP), arus dan tegangan memiliki

hubungan yang sama dengan iradiansi dan temperatur sebagaimana arus rangkaian pendek dan tegangan rangkaian terbuka.

Efisiensi solar cell (  $\eta$  ) adalah perbandingan antara daya listrik maksimum sel surya dengan daya pancaran (*radiant*) pada bidang solar cell.

$$\eta = \frac{I_{sc} \times V_{oc}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

### 2.3.3 Jenis-jenis Panel Surya

Jenis panel surya dikelompokkan berdasarkan material sel surya yang menyusunnya. Terdapat perbedaan jenis-jenis panel surya yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat dewasa ini, yaitu sebagai berikut :

#### 1. Crystalline Silicon (c-Si)

Panel surya jenis ini memanfaatkan material silikon sebagai bahan utama penyusun sel surya. Tipe crystalline merupakan generasi pertama dari sel surya dan memiliki 3 jenis panel utama. Tipe panel surya ini mendominasi pasar dan banyak digunakan untuk pembangkit listrik surya di dunia saat ini. Tipe panel ini yaitu :

- a. Monocrystalline Sillicon (mono-Si).
- b. Multicrystalline Sillicon (multi-Si).
- c. Ribbon Sillicon (ribbon-Si).

#### 2. Thin-film Solar Cell

Panel surya Thin Film menggunakan banyak lapisan material sebagai bahan material penyusunnya. Panel surya ini merupakan panel generasi kedua. Ketebalan lapisan materialnya mula dari nanometer hingga micrometer. Beberapa

tipe panel surya thin film yang ada dipasaran berdasarkan material penyusunnya, yaitu :

- a. Cadmium Telluride (CdTe).
- b. Copper Indium Gallium Ddiselenide (CIGS).
- c. Amorphous Thin-film Sillicon (a-Si, TF-Si).
- d. Gallium Arsenide (GaAs).

#### **2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Angin**

Pembangkit listrik tenaga angin adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini dapat mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin.

Sistem pembangkitan listrik menggunakan angin sebagai sumber energi merupakan sistem alternatif yang sangat berkembang pesat, mengingat angin merupakan salah satu energi yang tidak terbatas di alam. Sistem pembangkit listrik tenaga angin ini merupakan pembangkit listrik yang menggunakan turbin angin (*wind turbine*) sebagai peralatan utamanya. Turbin angin terbagi dalam dua kelompok yaitu turbin sumbu horisontal, turbin angin sumbu horisontal biasanya baik memiliki dua atau tiga modul. Jenis lain yaitu turbin sumbu vertikal. Turbin ini berbilah tiga dioperasikan melawan angin, dengan modul menghadap ke angin.

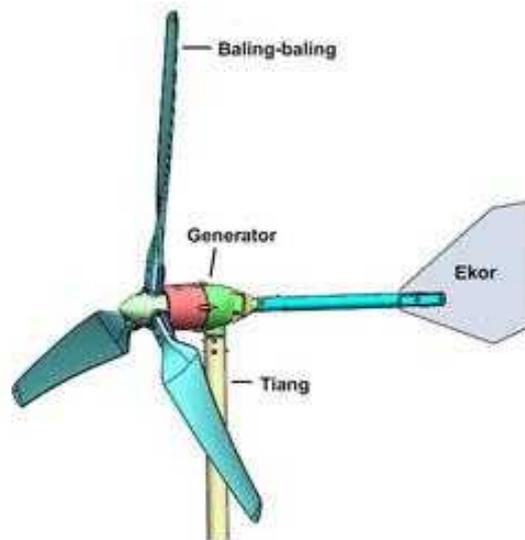
Turbin skala *utility* memiliki berbagai ukuran, dari 100 kilowatt sampai dengan beberapa megawatt. Turbin besar dikelompokkan bersama-sama ke arah angin, yang memberikan kekuatan massal ke jaringan listrik. Turbin kecil tunggal, di bawah 100 kilo watt dan digunakan pada rumah, telekomunikasi, atau

pemompaan air. Turbin kecil kadang-kadang digunakan dalam kaitannya dengan generator diesel, baterai dan sistem fotovoltaik. Sistem ini disebut sistem angin hibrid dan sering digunakan di lokasi terpencil di luar jaringan, di mana tidak tersedia koneksi ke jaringan utilitas.

## 2.5 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Sistem pembangkit listrik tenaga angin memiliki beberapa peralatan utama sebagai berikut :

1. Menara.
2. Turbin angin.
3. Mekanisme yaw seperti baling-baling ekor.
4. Peralatan mekanik.
5. Generator.
6. Sensor kecepatan dan sistem kontrol.



Gambar 2.10 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Angin.

(Sumber : <http://mit.ilearning.me/kincir-angin-pembangkit-listrik/>)

Pada sistem moderen memiliki kompenen tambahan sebagai berikut :

1. Sistem elektronika daya.
2. Kontrol elektronik.
3. Baterai.

Karena momen inersia rotor yang besar, tantangan desain termasuk mulai dari kontrol kecepatan selama operasi produksi daya, dan menghentikan turbin ketika diperlukan. Arus eddy atau jenis rem lainnya digunakan untuk menghentikan turbin ketika diperlukan untuk keadaan darurat atau untuk perawatan rutin. Di pembangkit listrik tenaga angin bertingkat ganda, masing-masing turbin harus memiliki sistem kontrolnya sendiri untuk fungsi operasional dan keselamatan di lokasi terpencil.

## **2.6 Energi Hybrid**

Pengertian *Hybrid* pada umumnya adalah penggunaan dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Tujuan utama dari sistem hibrid pada dasarnya adalah berusaha menggabungkan dua atau lebih sumber energi (sistem pembangkit) sehingga dapat saling menutupi kelemahan masing-masing dan dapat dicapai keandalan *supply* dan efisiensi ekonomis pada beban tertentu.

Sistem Hibrid atau Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) merupakan salah satu alternatif sistem pembangkit yang tepat diaplikasikan pada daerah-daerah yang sukar dijangkau oleh sistem pembangkit besar seperti jaringan PLN. PLTH ini memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumber utama (primer) yang

dapat dikombinasikan dengan diesel generator sebagai sumber energi cadangan (sekunder).

Pada pembangkit listrik hybrid umumnya energi terbarukan yang digunakan dapat berasal dari energi matahari, angin, mikrohidro, dan lain-lain yang dapat dikombinasikan dengan diesel generator sehingga menjadi suatu pembangkit yang lebih efisien, efektif dan handal untuk dapat mensuplai kebutuhan energi listrik baik sebagai penerangan rumah atau kebutuhan peralatan listrik yang lain seperti TV, pompa air, strika listrik serta kebutuhan industri kecil di daerah tersebut. Dengan adanya kombinasi dari sumber-sumber energi tersebut, diharapkan dapat menyediakan catu daya listrik yang kontinu dengan efisiensi yang paling optimal.

### **2.6.1 Sistem *Stand Alone***

Aplikasi utama dari sistem tenaga *stand alone* adalah di daerah-daerah terpencil di mana jalur utilitas tidak ekonomis untuk dipasang karena medan, kesulitan di jalan atau masalah lingkungan. Bahkan tanpa kendala ini, membangun jalur transmisi memerlukan biaya yang mahal. Untuk desa-desa terpencil lebih jauh dari dua mil dari jalur transmisi terdekat, sistem energi angin *stand alone* bisa lebih ekonomis. Jarak impas untuk sistem fotofoltaik, bagaimanapun, lebih panjang karena energi fotofoltaik empat hingga lima kali lebih mahal daripada energi angin saat ini.

Output tenaga surya dan angin dapat berfluktuasi setiap jam atau setiap hari. Oleh karena itu, sistem yang berdiri sendiri harus memiliki beberapa sarana untuk menyimpan energi, yang dapat digunakan kemudian untuk memasok beban

selama periode output daya yang rendah atau tidak ada. Atau, angin atau pv atau keduanya juga dapat digunakan dalam konfigurasi hibrid dengan generator mesin diesel di daerah terpencil atau dengan sel bahan bakar di daerah perkotaan.

Sampai saat ini masih banyak desa-desa terpencil yang belum terhubung dengan jalur utilitas. Desa-desa ini adalah pasar potensial terbesar dari sistem yang berdiri sendiri hibrid menggunakan generator diesel dengan angin atau fotofoltaik untuk memenuhi kebutuhan energi mereka.

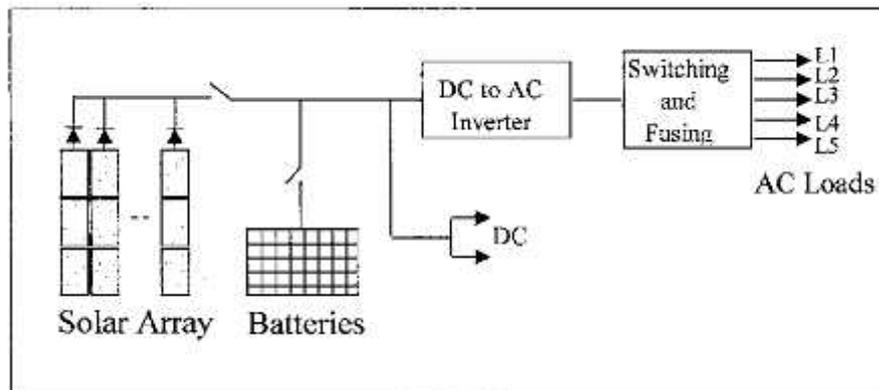
Karena sumber daya yang memiliki karakteristik kinerja yang berbeda harus digunakan secara paralel, sistem hibrid *stand alone* secara teknis lebih menantang dan mahal untuk disain daripada sistem yang terhubung dengan jaringan yang hanya menambah sistem utilitas yang ada.

### **2.6.2 Sistem *Photovoltaic Stand Alone***

Sistem *Photovoltaic Stand Alone* terdiri dari susunan panel surya dan sambungan baterai seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11 Panel surya mensuplai beban dan mengisi baterai selama siang hari. Baterai memberi suplai daya ke beban setelah hari gelap, inverter mengubah daya DC dari panel surya dan baterai menjadi daya AC dan inverter juga tersedia dalam berbagai peringkat daya dengan efisiensi mulai dari 85 hingga 95 persen.

Susunan fotofoltaik disegmentasi dengan dioda isolasi untuk meningkatkan keandalan, dalam desain seperti itu, jika salah satu saluran dari susunan sel surya gagal, tidak terhubung ke beban atau terjadi hubung singkat dari susunan yang tersisa. Beberapa inverter, seperti tiga inverter masing-masing dengan rating 35 persen daripada satu dengan rating 105 persen, lebih disukai.

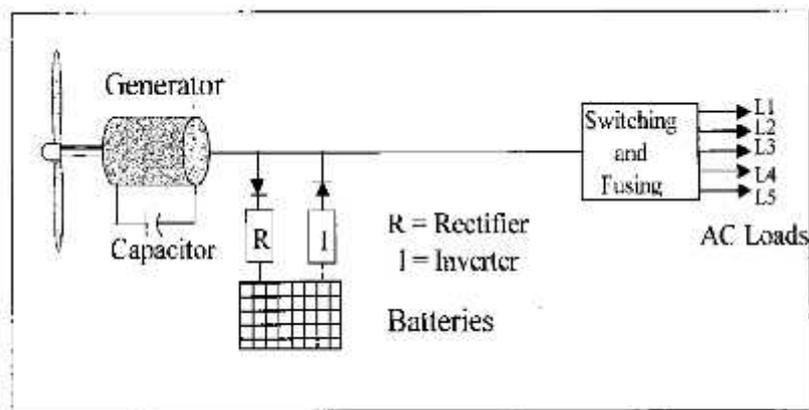
Jika salah satu inverter gagal, dua yang tersisa dapat terus memasok beban penting sampai yang gagal diperbaiki atau diganti. Pendekatan desain yang sama juga mencakup penggunaan beberapa baterai. Sebagian besar sistem *photovoltaic stand alone* di negara berkembang menyediakan kebutuhan dasar, seperti penerangan dan memompa air.



Gambar 2.11 Sistem *Photovoltaic Stand Alone* dengan baetrai.

### 2.6.3 Sistem *Wind Stand Alone*

Sistem *Wind Stand Alone* menggunakan penghasil kecepatan konstan ditunjukkan pada Gambar 2.12 Sistem ini memiliki banyak fitur yang mirip dengan sistem fotofoltaic yang berdiri sendiri. Untuk sistem angin kecil yang memasok beban lokal, generator magnet DC permanen membuat sistem angin sederhana dan lebih mudah dioperasikan. Disisi lain generator induksi, memberikan daya AC. Generator induksi dibantu oleh kapasitor shunt yang terhubung ke terminal output. Frekuensi diatur dengan mengendalikan kecepatan turbin. Baterai diisi oleh penyearah AC ke DC dan dilepaskan melalui DC ke AC inverter.



Gambar 2.12 Sistem *Wind Stand Alone* dengan generator induksi.

## 2.7 Inverter

Inverter merupakan suatu rangkaian yang digunakan untuk mengubah sumber tegangan DC tetap menjadi sumber tegangan AC dengan frekuensi tertentu. Komponen semikonduktor daya yang digunakan dapat berupa SCR, transistor, dan MOSFET yang beroperasi sebagai sakelar dan pengubah. Inverter dapat diklasifikasikan dalam dua jenis, yaitu inverter satu fasa dan inverter tiga fasa. Setiap jenis inverter tersebut dapat dikelompokkan dalam empat kategori ditinjau dari jenis rangkaian komutasi pada SCR, yaitu modulasi lebar pulsa, inverter resonansi, inverter komutasi bantu, dan inverter komutasi komplemen.

Inverter disebut sebagai inverter catu-tegangan atau *Voltage-Fed Inverter* (VED) apabila tegangan masukan selalu dijaga konstan, disebut inverter catu-arus *Current-Fed Inverter* (CFI) apabila arus masukan selalu dipelihara konstan, dan disebut inverter variabel *Variable Dc Linked Inverter* apabila tegangan masukan dapat diatur. Selanjutnya, jika ditinjau dari proses konversi, inverter dapat dibedakan dalam tiga jenis, yaitu inverter seri, paralel, dan jembatan. Inverter jembatan dapat dibedakan menjadi inverter setengah-jembatan (*half-bridge*) dan jembatan (*bridge*).



Gambar 2.13 *Power Inverter* pengubah arus tegangan DC menjadi arus tegangan AC.

( Sumber : <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8010879/>)

## 2.8 Buck/Boost Konverter

Konverter buck-boost adalah jenis konverter DC ke DC yang memiliki besaran tegangan keluaran yang lebih besar dari atau kurang dari besarnya tegangan input. Ini setara dengan *converter flyback* yang menggunakan induktor tunggal, bukan trafo.

Tegangan output adalah polaritas yang berlawanan dari input. Ini adalah power supply mode switched dengan topologi sirkuit yang sama ke konverter boost dan konverter buck. Tegangan output disesuaikan berdasarkan siklus tugas dari transistor switching. Satu kelemahan yang mungkin dari konverter ini adalah saklar tidak memiliki terminal di tanahkan, ini menyulitkan sirkuit driver. Namun, kelemahan ini tidak ada konsekuensinya jika catu daya diisolasi dari rangkaian beban (jika, misalnya, pasokan adalah baterai) karena pasokan dan polaritas dioda dapat dibalik. Ketika mereka dapat dibalik, saklar dapat berada di sisi tanah atau sisi suplai.

## 2.9 Baterai

Baterai menyimpan energi dalam bentuk elektrokimia, dan merupakan perangkat yang paling banyak digunakan untuk penyimpanan energi dalam berbagai aplikasi. Energi elektrokimia adalah bentuk semi teratur energi, yang berada di antara bentuk listrik dan termal. Ini memiliki efisiensi konversi satu arah 85 hingga 90 persen.

Penyimpanan energi elektrokimia pada potensial listrik rendah, biasanya beberapa volt. Kapasitas sel, dilambangkan dengan “C”, diukur dalam Ampere-hour (Ah), yang berarti dapat memberikan “C” ampere selama satu jam atau C/n ampere selama “n” jam.

Baterai terbuat dari banyak sel elektrokimia yang dihubungkan dalam serangkaian kombinasi paralel untuk mendapatkan tegangan dan arus operasi yang diinginkan. Semakin tinggi tegangan baterai, semakin tinggi jumlah sel yang diperlukan dalam seri. Satuan daya baterai dinyatakan dalam bentuk tegangan rata-rata dalam satuan waktu dan kapasitas Ah dapat dikirimkan sebelum tegangan turun di bawah batas yang ditentukan. Hasil tegangan dan Ah membentuk rating energi Wh yang dapat dikirimkan ke beban dari kondisi terisi penuh. Pengisian baterai dan tingkat waktu dinyatakan dalam unit kapasitasnya di Ah. Misalnya, pengisian baterai 100 Ah pada tingkat C/10 berarti mengisi daya pada nilai 10 A. Mengosongkan baterai itu pada tingkat C/2 berarti menghabiskan 50 A, di mana tingkat baterai akan sepenuhnya habis dalam 2 jam. Status Pengisian Baterai bisa didefinisikan sebagai berikut :

$$\text{Status pengisian} = \frac{K}{K} \frac{y}{t} \frac{p}{b} \dots\dots\dots(2.2)$$

## 2.10 Solar Charger Controller

*Solar Charge controller* biasanya terdiri dari satu input (dua terminal) yang terhubung dengan output panel sel surya, satu output (dua terminal) yang terhubung dengan baterai/aki dan satu output (dua terminal) yang terhubung dengan beban. Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel surya karena biasanya ada dioda proteksi yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya ke baterai, bukan sebaliknya. Adapun dua jenis teknologi *charge controller* yang digunakan, yaitu PWM (*Pulse Wide Modulation*), seperti namanya menggunakan lebar *pulse* dari *on* dan *off electrical*, sehingga menciptakan seakan-akan *sine wave electrical form*.



Gambar 2.14 Solar Charger Controller.

( Sumber : <http://journal.iba-suk.edu.pk:8089/SIBAJournals/index.php/sjet/article/view/233>)

MPPT (*Maximun Power Point Trac-ker*), yang lebih efisien konversi DC to DC (*Direct Current*). MPPT dapat mengambil daya maksimum dari panel surya. MPPT *charge controller* dapat menyimpan kelebihan daya yang tidak digunakan oleh beban ke dalam baterai, dan apabila daya yang dibutuhkan beban

lebih besar dari daya yang dihasilkan oleh panel surya, maka daya dapat diambil dari baterai.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Lokasi Penelitian**

Adapun lokasi penelitian ini dilakukan di laboratorium teknik elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, jalan Kapten Muktar Basri no.3 Medan Sumatera utara.

#### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

Adapun peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian Sinkronisasi pembangkit listrik tenaga hybrid (angin dan surya) berbasis DC-AC inverter adalah sebagai berikut :

1. Mesin trafo las inverter 900Watt, untuk mengelas konstruksi Bangun PLTH (surya dan angin).
2. Mesin gerinda 4", untuk memotong besi bahan yang digunakan.
3. Mesin bor listrik, untuk melubangi bagian dari PLTH (surya dan angin).
4. Anemometer digital, Berfungsi untuk mengukur kecepatan angin dan suhu lingkungan.
5. Meteran, untuk mengukur panjang bahan yang akan digunakan.
6. Multi tester, untuk mengukur dan mengetahui tegangan yang dihasilkan dari PLTH (surya angin).

7. Tang kombinasi, sebagai media jepit.
8. Tang potong, untuk memotong kabel.
9. Obeng plus (+) minus (-), untuk mengunci skrup.
10. Kunci ring dan pas, untuk mengunci baut.

Dan adapun bahan-bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan prototype pemangkit listrik tenaga hybrid (angin dan surya) dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 3.1 Bahan-bahan yang dibutuhkan pada PLTS.

NO.	Nama Bahan	Fungsinya
1.	Sel surya 100 WP	Sebagai alat pengubah energi matahari menjadi energi listrik.
2.	Solar charger controller	Pengatur tegangan dan arus listrik keluaran dari sel surya menuju baterai.
3.	Baterai 12 volt	Media penyimpanan arus listrik.
4.	Kabel	Media penhubung komponen ke komponen lain.
5.	Besi siku 25mm	Sebagai rangka dudukan sel surya.
6.	Baut + mur 6mm	Pengikat sel surya dengan rangka.
7.	Baut + mur 8mm	Pengikat rangka sel surya dengan tower turbin angin.
8.	Baut + mur 4mm	Pengikat komponen elektrikal pada papan alat penelitian.
9.	Cat minyak warna biru	Untuk mengecat rangka sel surya.

Tabel 3.2 Bahan-bahan yang digunakan pada turbin angin type vertikal.

NO.	Nama Bahan	Fungsinya
1.	Motor DC type GR53X58	Sebagai generator yang mengubah energi gerak menjadi energi listrik.
2.	Besi siku 40mm	Sebagai tower turbin angin.
3.	Pipa galvanis 1/2inchi	Sebagai as atau rotor turbin.

4.	Plat strip 7mm (7cm x 6cm)	Sebagai alas kaki pada tower turbin angin dan sel surya.
5.	Plat bearing Ø 20mm	Sebagai bantalan as rotor turbin angin.
6.	2 buah besi plat 4mm (30cm x 23cm)	Sebagai dudukan plat bearig.
7.	Besi plat lingkaran tebal 1mm Ø 13cm	Sebagai tempat dudukan plat strip tulangan turbin.
8.	Baut + mur 12	Untuk pengikat tiang penyangga dibody turbin angin.
9.	Baut + mur 10	Untuk mengikat sudu turbin pada plat strip tulangan turbin.
10.	Talang air 8 inchi	Sebagai sudu turbin angin.
11.	Tutup dop talang air 8 inchi	Sebagai stoper bagian atas dan bawah pada sudu turbin angin.
12.	Sekrup gypsum	Untuk mengunci tutup dop dengan talang air
13.	Belting	Sebagai alat penghubung pulley untuk memutar generator.
14.	Lingkar sepeda Ø 23 cm	Sebagai pulley untuk memutar generator.
15.	Kabel listrik	Untuk menghubungkan rangkain turbin angin.
16.	Kawat las 2,6mm	Untuk mengelas bangun turbin angin.
17.	Cat minyak warna biru	Untuk mengecat tower turbin angin.
18.	Cat minyak warna orange	Untuk mengecat sudu turbin.

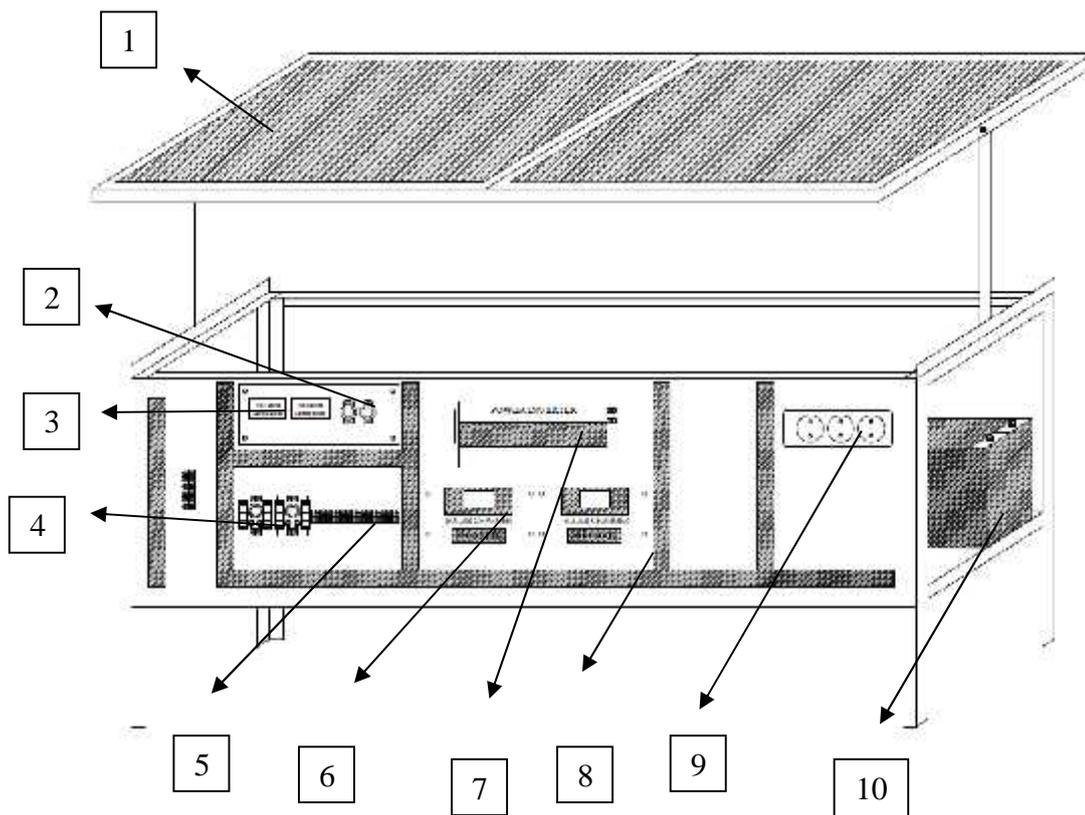
Tabel 3.3 Bahan-bahan yang digunakan pada sistem sinkronisasi.

No.	Nama Bahan	Fungsinya
1.	Buck converter	Sebagai pengatur tegangan DC.
2.	Power inverter	Sebagai pengubah tegangan searah (DC), menjadi te gangan bolak-balik (AC).
3.	Volt meter dan Ampere meter DC	Untuk magukur tegangan dan arus pada buck converter.
4.	Kabel penghubung	Media penhubung kompen ke komponen lain.
5.	Saklar	Sebagai media pemutus dan penghubung rangkaian sinkronisasi.
6.	Terminal blok	Untuk sebagai Media penhubung kompen ke komponen lain.

### 3.3 Perencanaan Sistem

#### 3.3.1 Desain PLTS

Adapun desain dari sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terlihat pada gambar diawah ini.



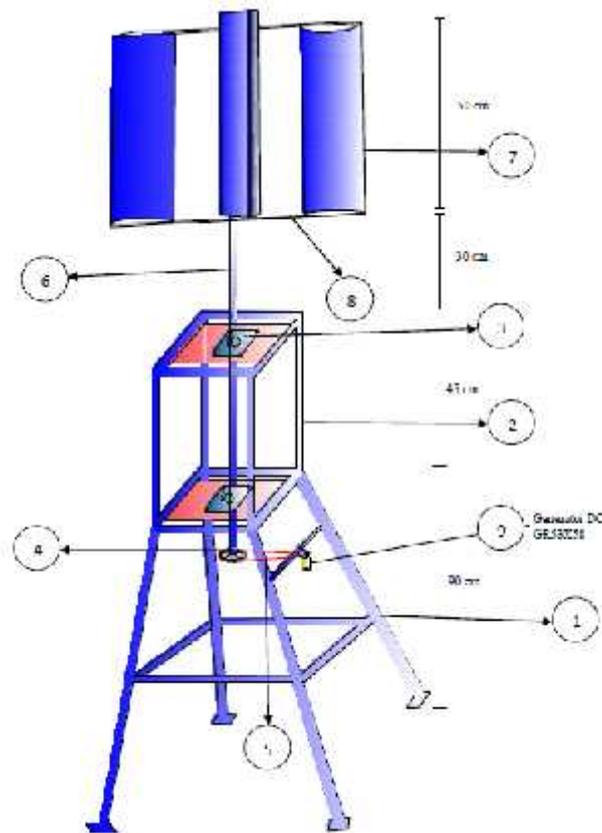
Gambar 3.1 Karakteristik PLTS dan Sistem Sinkronisasi.

Adapun kerangka prototipe PLTS diatas dibuat dengan menggunakan besi siku ukuran 25mm, dan prototipe PLTS diatas memiliki dimesi dengan panjang 117 cm, lebar 30 cm dan tinggi 82 cm, dan adapun juga ukuran dari alas panel surya memiliki panjang sebesar 110.5 cm dan lebar 68 cm. Adapun komponen yang terpasang pada prototipe PLTS diatas adalah sebagai berikut :

1. Panel surya/fotovoltaik, sebagai media pengubah energi matahari menjadi energi listrik.
2. Saklar, sebagai pemutus dan penghubung rangkaian sistem.
3. Volt meter dan ampere meter, sebagai alat pengukur tegangan dan arus pada penelitian.
4. Buck converter, sebagai pengatur tegangan.
5. Terminal blok, sebagai media penghubung komponen-komponen penelitian.
6. Solar charger controller, sebagai Pengatur tegangan dan arus listrik keluaran dari sel surya menuju baterai.
7. Power inverter, sebagai pengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC).
8. *Cable Duct* atau jalur kabel, sebagai jalur kabel penghubung tiap komponen.
9. Stop kontak, sebagai media penghubung ke beban percobaan.
10. Baterai, sebagai media penyimpanan energi listrik.

### **3.3.2 Desain PLTB**

Desain prototipe PLTB dibuat dengan menggunakan besi siku ukuran 40 mm sebagai menara/tower penyangga turbin, dengan tinggi menara 215 cm. Pipa galvanis ½ inchi sebagai as rotor penggerak pada turbin. Sudu atau kincir turbin terbuat dari talang air dengan ukuran 8 inchi, plat bearing digunakan sebagai bantalan as rotor turbin Dan sebagai pembangkit energi listrik DC digunakan Permanen Magnet DC type GR53X58 pulley dan belting digunakan sebagai alat penghubung atau kopel dari turbin ke generator. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Desain Prototype PLTB Menggunakan 6 Sudu Type Vertikal (SAVIONUS).

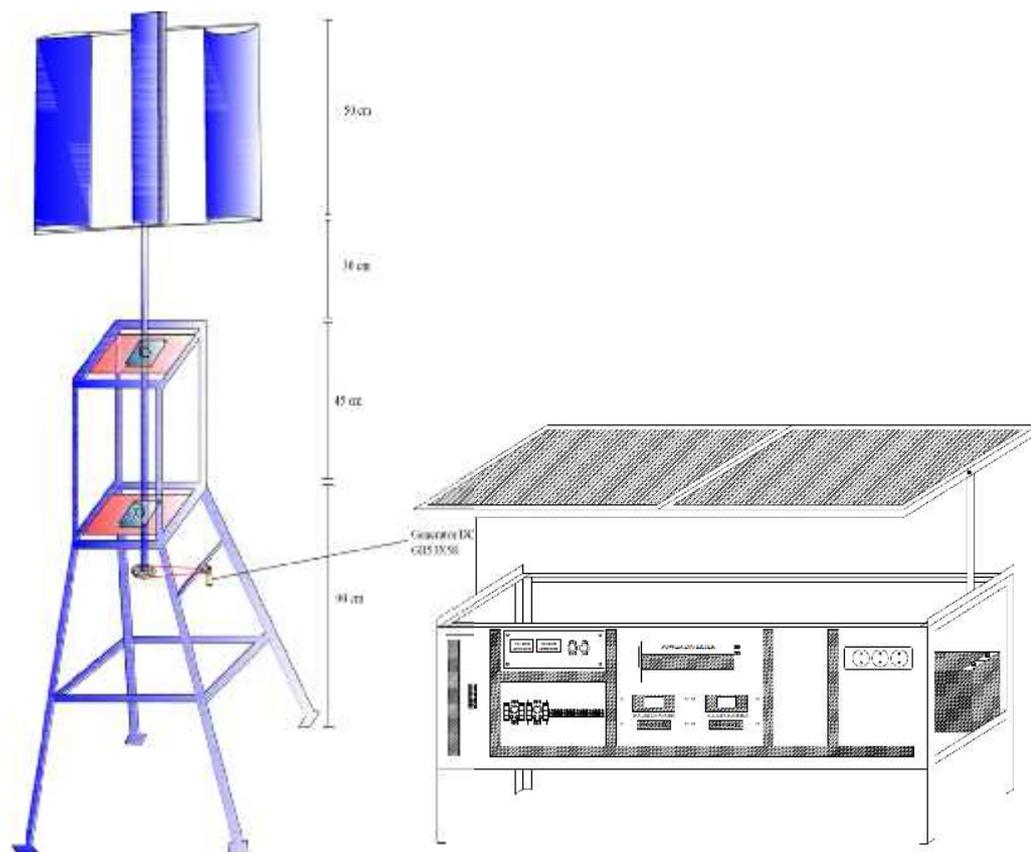
Ketrerangan gambar :

1. Kaki Penyangga, sebagai penyangga turbin yang terbuat dari besi siku 30.
2. Bodi Turbin, sebagai tempat dudukan plat bearing dan juga as rotor turbin, yang juga terbuat dari besi siku 30 dan 2 buah besi plat tebal 4mm (30x23cm), sebagai dudukan bantalan palat bearing bagian atas dan bawah.
3. Plat Bearing, sebagai bantalan as rotor turbin.
4. Pulley, sebagai alat kopel as turbin ke generator.
5. Belting, sebagai penghubung dari pulley ke generator.
6. As Rotor Turbin, terbuat dari pipa galvanis ½ inchi dengan panjang 135 cm.

7. Sudu atau Kincir, terdiri dari dua jenis sudu yang pertama terbuat dari talang air 8 inchi dan yang kedua dari pipa pvc 4 inchi.
8. Dudukan Turbin, terbuat dari plat strip 4 x 19 sebanyak 12 potong.
9. Permanen Magnet DC type GR53X58, sebagai pembangkit energi listrik DC dengan spesifikasi sebagai berikut :
  - Voltage DC 12 – 40 VDC
  - Current : In : 1,9A . Ifm : 20A
  - Torque : 17 Ncm
  - Maximum Output : 120 W
  - Torque constant : 6,2 Ncm/A (6,2KgCm)
  - Starting current : 0,2A
  - Type Motor brushed
  - No load current : 0,2A
  - Demagnetisation current : 31A
  - Rotational speed: 3000 rpm (18849.56 -1) max 3300 rpm (20734.51 -1)Panjang Motor 12.5cm + Poros 2cm, Total 14.5cm
  - Diameter 5.2 cm

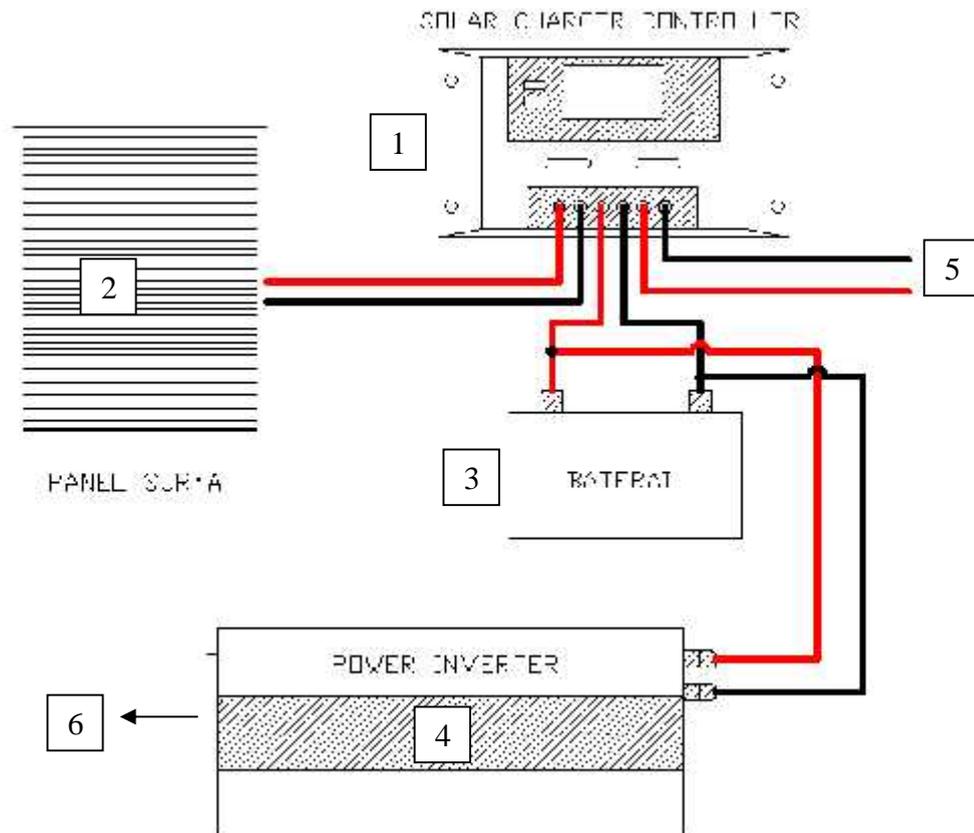
### **3.3.3 Desain Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid**

Adapun desain sinkronisasi pembangkit listrik hybrid dengan menggabungkan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dengan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.3 Desain Pemasangan Sistem Sinkronisasi Tenaga Hybrid Angin Dan Surya.

Pada sistem sinkronisasi tenaga hybrid angin dan surya, output dari PLTB dihubungkan ke terminal input yang terdapat pada PLTS. Hal itu dilakukan karena semua komponen sistem sinkronisasi terdapat pada sistem PLTS. Masing-masing output dari sistem dari PLTB maupun PLTS dialirkan ke solar charger controller sebagai pengatur tegangan yang akan dialirkan dan disimpan energinya ke baterai.



Gambar 3.4 Rangkaian Pemasangan Solar Charge Controller.

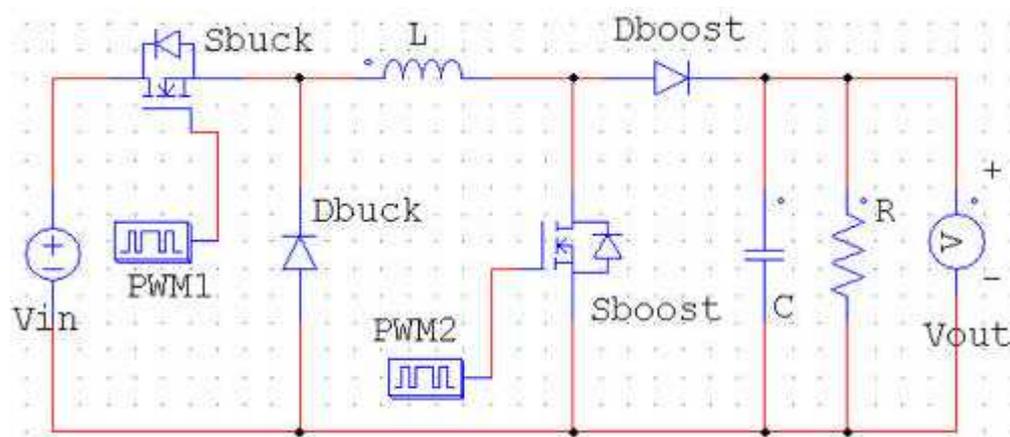
Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. Solar charge controller mengatur overcharging (kelebihan pengisian karena baterai sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari panel surya / solar cell. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai. Solar charge controller menerapkan teknologi Pulse width modulation (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban.

Keterangan gambar :

1. Solar Charger Controller.
2. Solar panel.

3. Baterai.
4. Power inverter.
5. Output DC.
6. Output AC.

Sebelum energi listrik yang dihasilkan dari kedua pembangkit dialirkan ke inverter digunakan buck-boost konverter sebagai pengatur tegangan yang akan mengatur tegangan dari kedua baterai menjadi stabil.

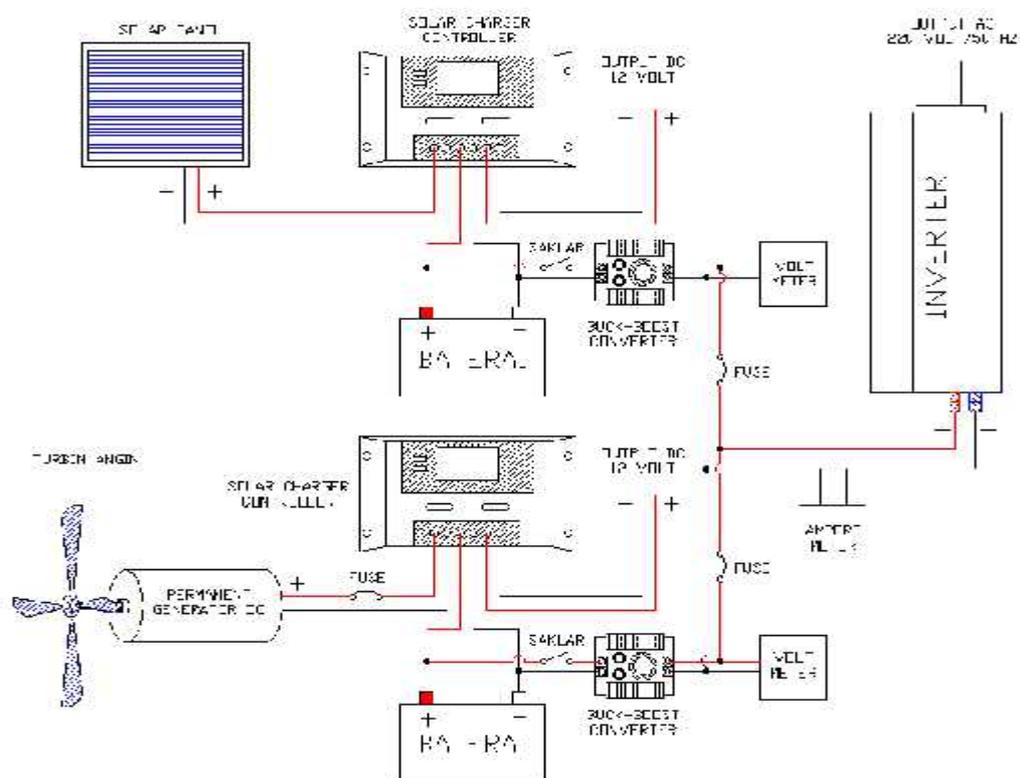


Gambar 3.5 Rangkaian Buck-Boost Konverter.

Metode buck boost adalah kombinasi antara Buck dan Boost, tegangan output dapat diatur menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan input. Pada buck-boost konverter tegangan keluaran memiliki tanda berlawanan dengan tegangan masukan, oleh karena itu metode ini pun ditemui pada aplikasi yang memerlukan pembalikan tegangan (voltage inversion) tanpa transformer. Walaupun memiliki rangkaian sederhana, metoda Buck-Boost memiliki kekurangan seperti tidak adanya isolasi antara sisi masukan dan keluaran, dan juga tingkat ripple yang tinggi pada tegangan keluaran maupun arus keluaran.

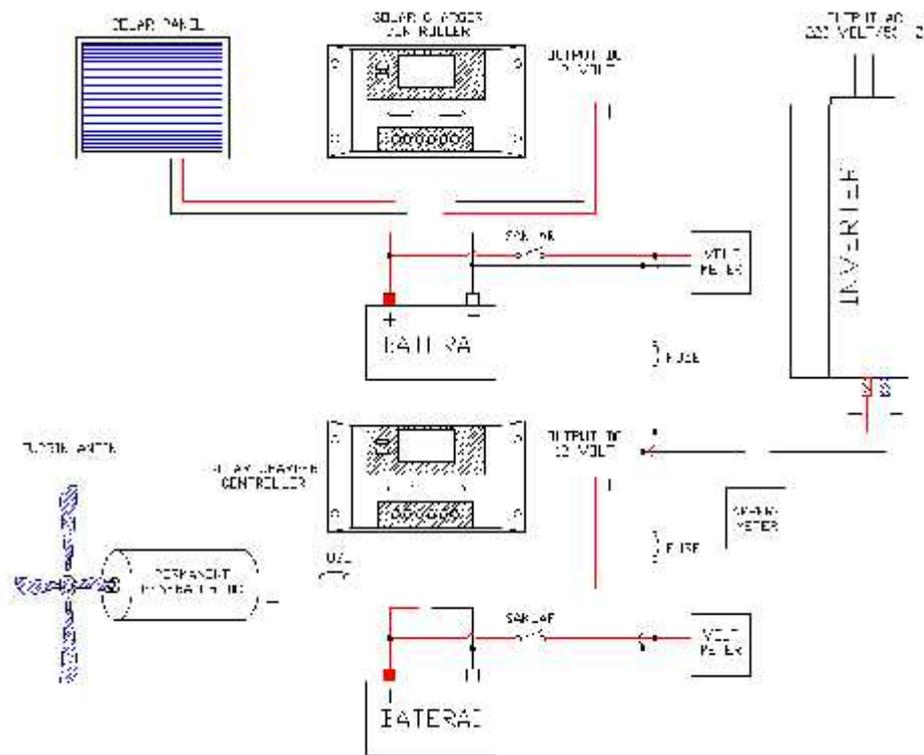
### 3.3.4 Rangkaian Penelitian

Adapun pada penelitian ini digunakan dua buah rangkaian penelitian, yaitu dengan menggunakan buck-boost konverter dan tanpa menggunakan buck boost konverter.



Gambar 3.6 Rangkaian Sinkronisasi Menggunakan Buck Converter.

Pada rangkaian yang menggunakan buck-boost konverter, baterai dihubungkan pada input buck boost konverter dimana tegangannya akan diatur agar lebih stabil.



Gambar 3.7 Rangkaian Penelitian Tanpa Menggunakan Buck Converter.

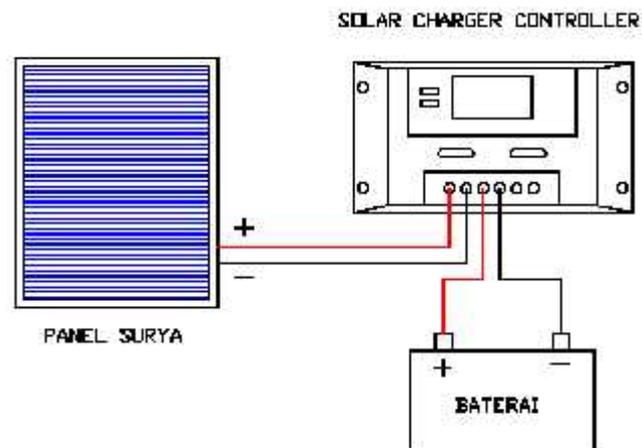
Sedangkan pada rangkaian yang tidak menggunakan buck-boost konverter, kedua baterai dihubungkan secara paralel dan juga dihubungkan langsung ke input inverter.

### 3.3.5 Prosedur Penelitian

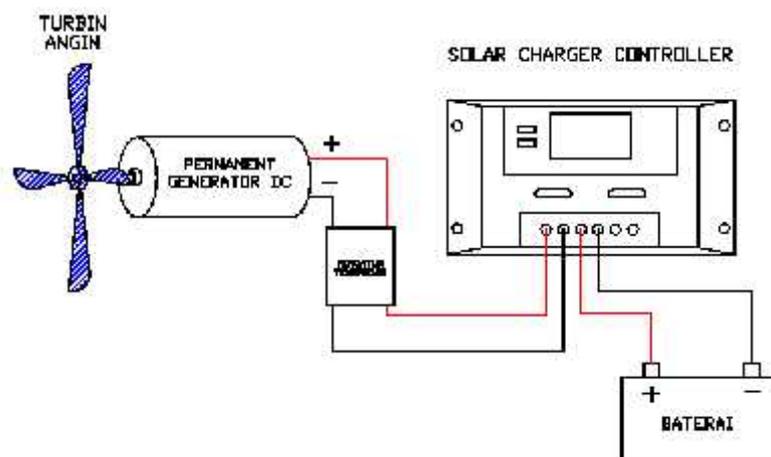
Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan prototype turbin angin model savonius dengan menggunakan 6 sudu, beserta pengatur tegangan output yang berfungsi sebagai penaik tegangan yang akan digunakan untuk mengisi baterai.
2. Menyiapkan prototype PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga surya) beserta komponen sistem sinkronisasi yang terpasang pada prototype PLTS.

3. Menghubungkan output dari panel surya ke solar charger controller, dalam hal ini kabel yang digunakan adalah kabel jenis NYAF 2.5mm cara pemasangannya yaitu dengan menghubungkan kutub positif dan negatif ke terminal input yang terdapat pada solar charger controller, dan juga menghubungkan output solar charger controller ke terminal baterai dengan menghubungkan kutub positif dan negatif dari solar charger ke terminal positif dan negatif baterai, langkah yang sama juga dilakukan pada output keluaran dari generator. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

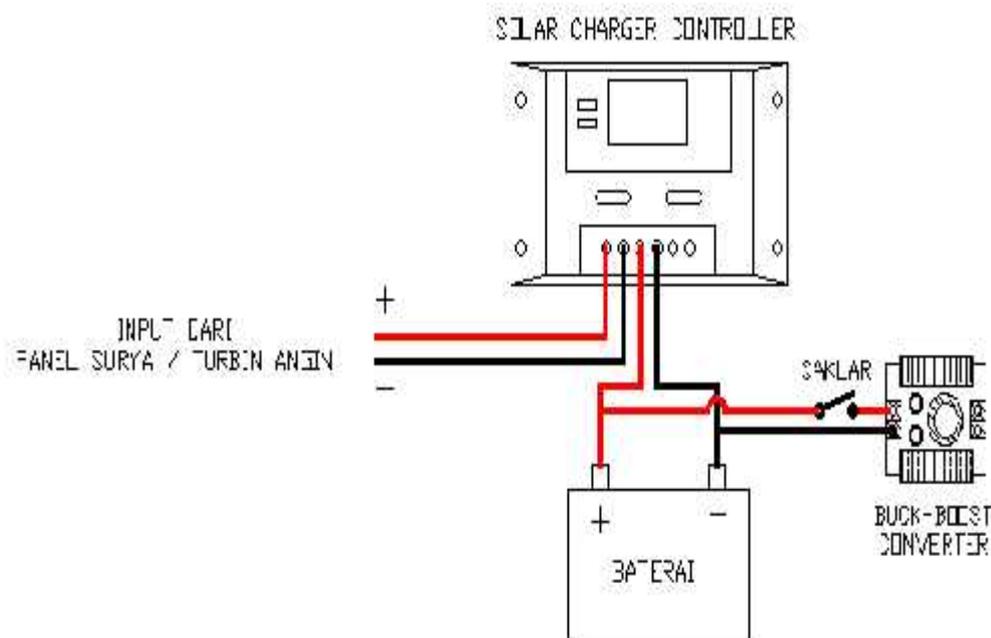


Gambar 3.8 Pemasangan Panel Surya dan Baterai ke Solar Charger Controller.



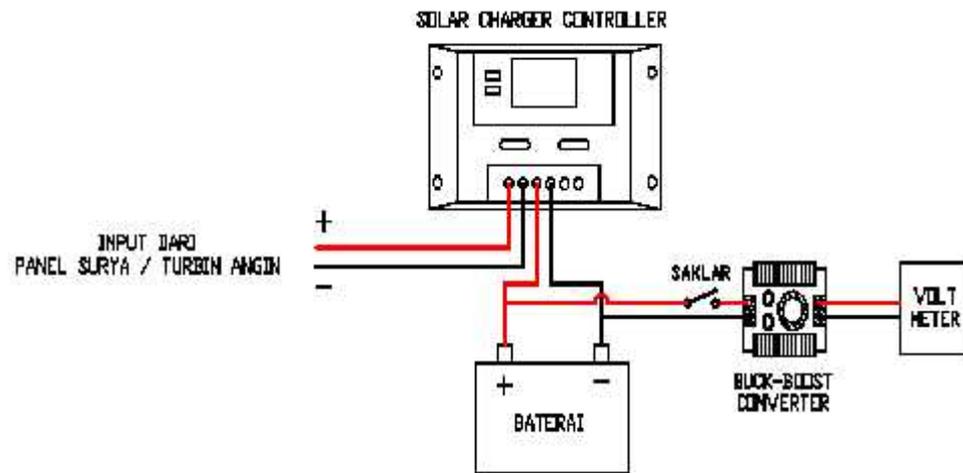
Gambar 3.9 Pemasangan generator dan Baterai ke Solar Charger Controller.

4. Menghubungkan baterai ke terminal input buck-boost converter, agar baterai tidak terhubung langsung ke buck-boost konverter digunakan saklar sebagai pemutus dan penghubung rangkaian. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



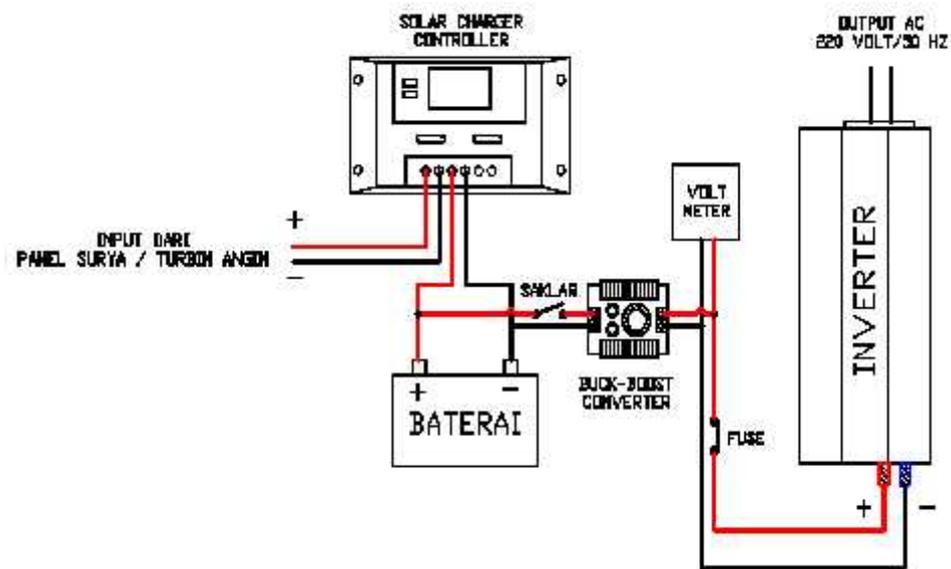
Gambar 3.10 Rangkaian Input Buck-boost Konverter.

5. Langkah selanjutnya mengatur tegangan output dari buck-boost konverter dengan cara memutar potensio pengatur tegangan yang terdapat pada buck-boost konverter dan mengatur tegangan outputnya menjadi 12 volt kemudian ukur tegangan outputnya dengan menggunakan volt meter. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.11 Rangkaian Pengukuran Output Buck-boost Konverter.

6. Menghubungkan output dari buck-boost konverter ke terminal input inverter, menggunakan sekering sebagai pengaman rangkaian dari buck-boost konverter

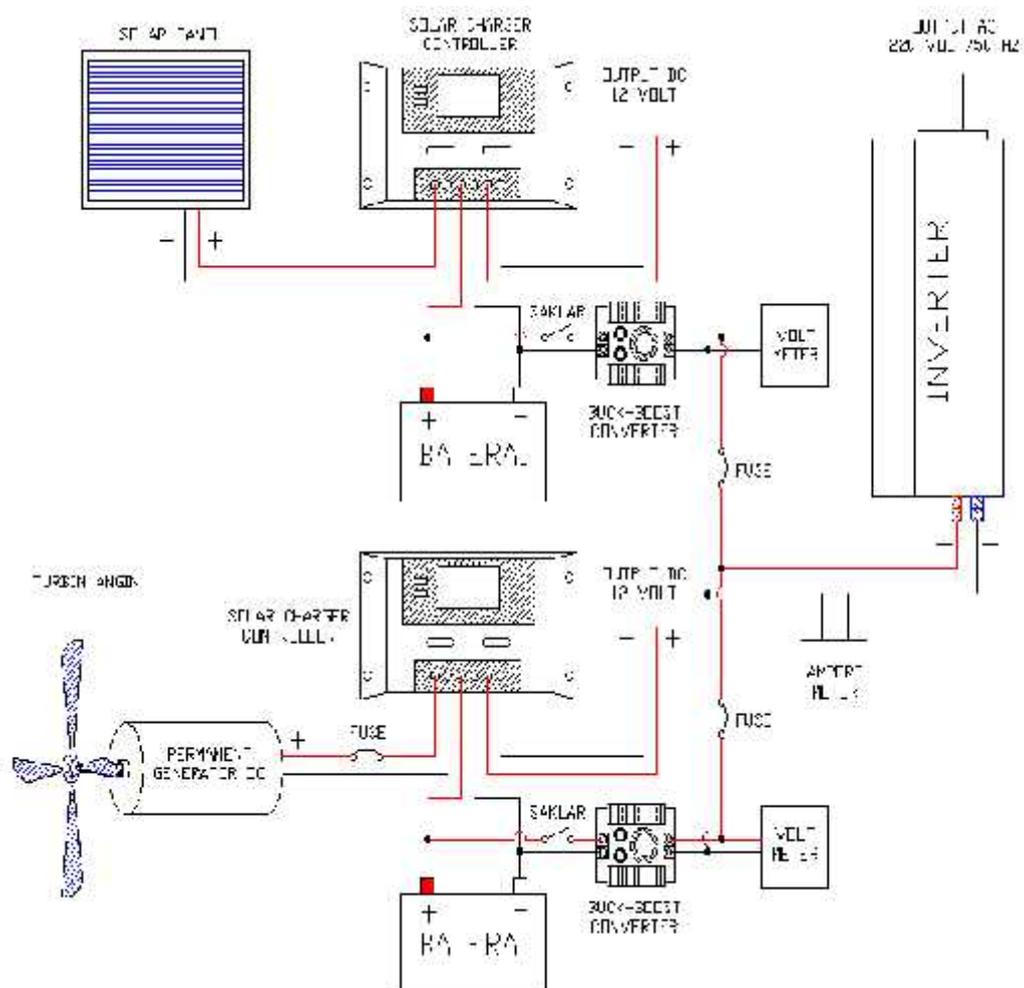


Gambar 3.12 Rangkaian Pemasangan Inverter.

7. Menghubungkan kedua output buck-boost konverter secara paralel, kutub positif langsung dihubungkan ke input dc pada inverter, sedangkan pada kutub

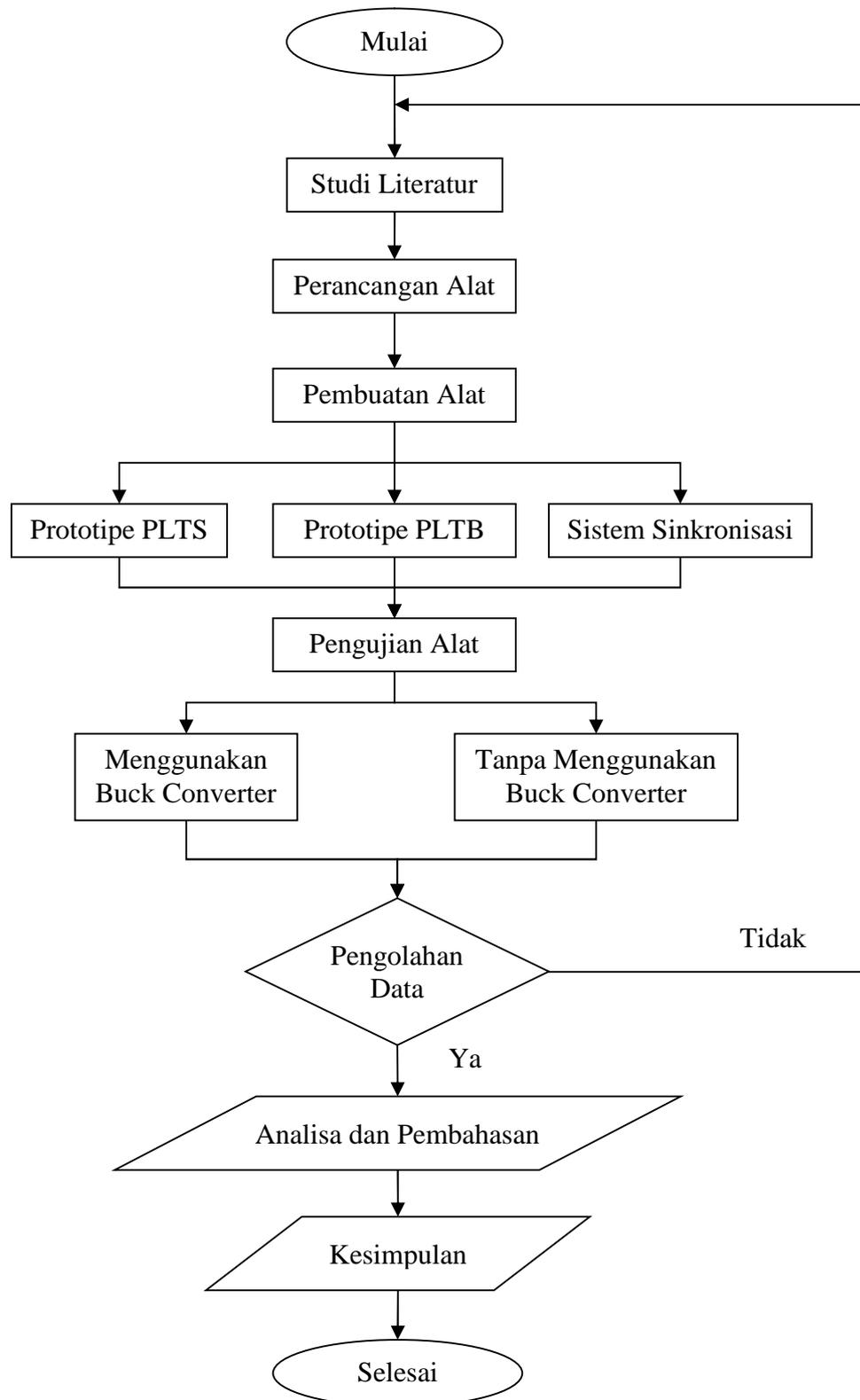
negatif terlebih dahulu dihubungkan pada ampere meter. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini .

8. Menghubungkan output dari inverter ke beban AC sebagai beban percobaan. Beban percobaan hanya menggunakan 3 buah lampu pijar 1 buah motor kipas angin dan 3 buah kapasitor.
9. Pengujian dilakukan dengan menggunakan buck boost konverter dan tanpa menggunakan buck boost konverter.



Gambar 3.13 Rangkaian Utama Sinkronisasi Energy Hybrid (Angin dan Surya).

### 3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.14 Diagram Alir Penelitian.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHSAN**

#### **4.1 Unjuk Kerja Sistem**

Adapun unjuk kerja sistem sinkronisasi pembangkit listrik hybrid (angin dan surya) berbasis dc-ac inverter adalah sebagai berikut :

1. Energi yang dihasilkan dari panel surya dialirkan menuju solar charger controler. Pada solar charger controller karena tegangan yang dihasilkan dari panel surya berubah ubah, tegangan akan diatur sehingga bisa dialirkan dan disimpan pada baterai.
2. Pada turbin angin hal yang sama juga dilakukan seperti pada panel surya, energi yang dihasilkan dari generator juga dialirkan ke solar charger controller, penggunaan solar charger controller pada turbin angin dilakukan karena pada turbin angin memiliki output keluaran dc yang bisa dihubungkan ke solar charger controller. Sama juga seperti pada sistem energi matahari energi dari generator akan diatur tegangannya dan akan dialirkan dan di simpan ke dalam baterai,
3. Pada sistem energi matahari dan energi angin memiliki sistem masing-masing, baterai pada kedua sistem dihubungkan ke buck-boost konverter untuk diatur tegangan nya agar tidak berubah-ubah dan tidak mengganngu sistem pengisian energi pada baterai.
4. Output pada kedua buck-boost konverter diatur tegangannya menjadi 12 volt, dan dilairkan ke input pada inverter.

5. Pada inverter energi listrik searah (dc) yang diperoleh dari kedua sistem (angin dan surya) diubah menjadi energi listrik bolak balik (ac) sehingga dapat digunakan pada beban yang membutuhkan sumber energi listrik ac.

#### 4.2 Analisa Daya pembangkit Hybrid

Hasil pengukuran yang dilakukan pada sistem pembangkit listrik tenaga surya dan sistem pembangkit listrik tenaga bayu.

Tabel 4.1 Data hasil pengukuran pembangkit listrik tenaga surya (PLTS)

Jam	Suhu udara ( °c )	Tegangan panel surya (Volt)	Arus panel surya (Ampere)	Tegangan baterai (Volt)	Arus baterai (Ampere)	Daya (Watt)
09.00	29,8°	19 Volt	0,9 A	14,5 Volt	1,1 A	17,1
10.00	30,3°	19 Volt	1,8 A	14,6 Volt	2,2 A	34,2
11.00	32,3°	19 Volt	1,4 A	14,4 Volt	1,8 A	26,6
12.00	33,6°	19 Volt	1,3 A	14,3 Volt	1,8 A	24,7
13.00	33,9°	19 Volt	1,7 A	14,6 Volt	2,0 A	32,7
14.00	34,3°	19 Volt	1,6 A	14,5 Volt	1,9 A	30,4
15.00	33,4°	19 Volt	1,8 A	14,3 Volt	2,3 A	34,2
14.00	33,5°	19 Volt	1,5 A	14,4 Volt	1,7 A	28,5

Dari hasil pengujian daya rata-rata per hari yang mampu dihasilkan oleh sistem pembangkit listrik tenaga surya sebesar 228,4 watt. Daya dapat berubah dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima panel surya.

Tabel 4.2 Data hasil pengukuran pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB)

Jam	Kecepatan Angin (m/s)	Suhu udara ( °c )	Tegangan generator (Volt)	Arus generator (Ampere)	Tegangan baterai (Volt)	Arus baterai (Ampere)	Daya (Watt)
09.00	2.0 m/s	28,1°	12,8 Volt	0,10 A	12,5 Volt	0,06 A	1,28
10.00	1,8 m/s	30,2°	12,8 Volt	0,09 A	12,4 Volt	0,04 A	1,15
11.00	1,8 m/s	33,6°	12,6 Volt	0,09 A	12,4 Volt	0,04 A	1,13
12.00	1,7 m/s	34,5°	12,5 Volt	0,09 A	12,4 Volt	0,03 A	1,12
13.00	1,8 m/s	34,3°	12,5 Volt	0,08 A	12,4 Volt	0,04 A	1
14.00	1,7 m/s	34,8°	12,5 Volt	0,07 A	12,5 Volt	0,05 A	0,8
15.00	1,6 m/s	34,4°	12,5 Volt	0,07 A	12,4 Volt	0,04 A	0,8
16.00	1,7 m/s	33,3°	12,6 Volt	0,08 A	12,5 Volt	0,04 A	1

Sedangkan pada sistem pembangkit listrik tenaga angin daya rata-rata per hari yang mampu dihasilkan oleh generator sebesar 8,28 watt. Daya dapat berubah dipengaruhi oleh kecepatan angin yang menghantam turbin angin.

Pada pengujian ini pembebanan yang digunakan adalah beban lampu, motor kipas angin dan kapasitor. Dan melakukan perbandingan pengujian dengan menggunakan buck-boost konverter dan tanpa menggunakan buck-boost konverter.

#### **4.2.1 Beban Lampu Pijar Dengan Menggunakan Buck-Boost Konverter Dan Tanpa Menggunakan Buck-Boost konverter.**

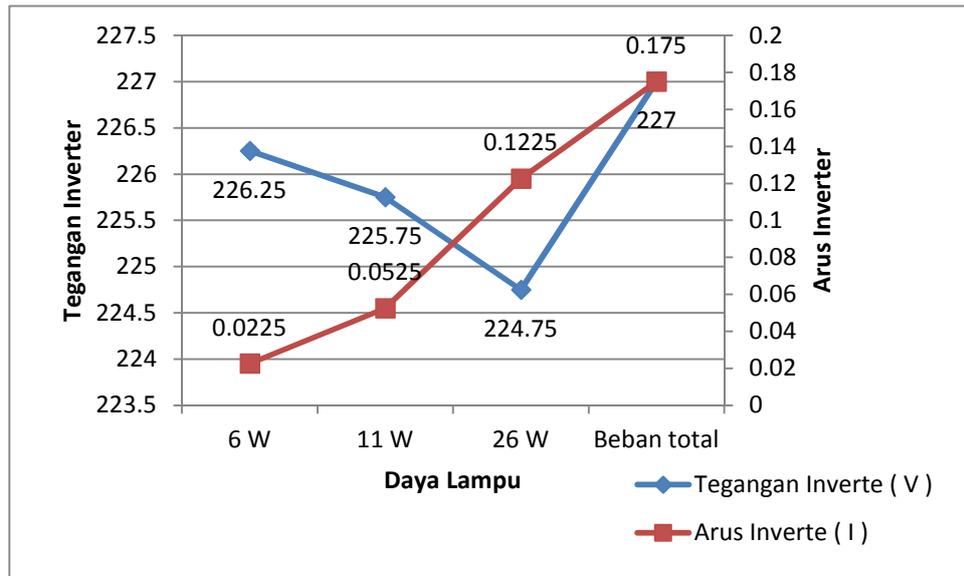
Adapun beban pengujian menggunakan 3 buah lampu dengan besaran beban masing-masing 6 watt, 11 watt, dan 26 watt. Pada pengujian pertama menggunakan buck-boost konverter data pengujian dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.3 Data pengujian pembebanan Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Beban Lampu Dengan Menggunakan Buck-Boost Konverter.**

Daya Lampu	Tegangan Inverter ( V )	Arus Inverter ( I )	Tegangan Buck-Boost konverter 1	Tegangan Buck-Boost konverter 2	Tegangan Baterai 1	Tegangan Baterai 2	Arus B1+B2
6 W	226,25	0,0225	12,625	12,65	13,675	13,625	3,65
11 W	225,75	0,0525	12,65	12,675	13,675	13,6	4,725
26 W	224,75	0,1225	12,6	12,6	13,7	13,575	7,55
Beban total	227	0,175	12,575	12,575	13,625	13,725	10,7

Pada pengujian menggunakan buck-boost konverter dengan menggunakan besaran beban yang berbeda-beda terlihat tegangan ouput pada kedua buck-boost konverter stabil pada tegangan 12.6 volt. Sedangkan pada masing-masing baterai perbandingan tegangan tiap bebannya tidak terlalu jauh. Pada beban lampu pijar 6

watt tegangan yang terukur sebesar 226.25 volt dengan arus 0.0225 ampere dibandingkan dengan saat menggunakan beban lampu pijar 26 watt tegangan yang terukur adalah sebesar 224.75 volt dengan arus 0.1225 lebih besar 0.1 ampere dari pada saat menggunakan beban lampu pijar 6 watt.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan Tegangan dan Arus Inverter terhadap beban lampu menggunakan buck-boost konverter.

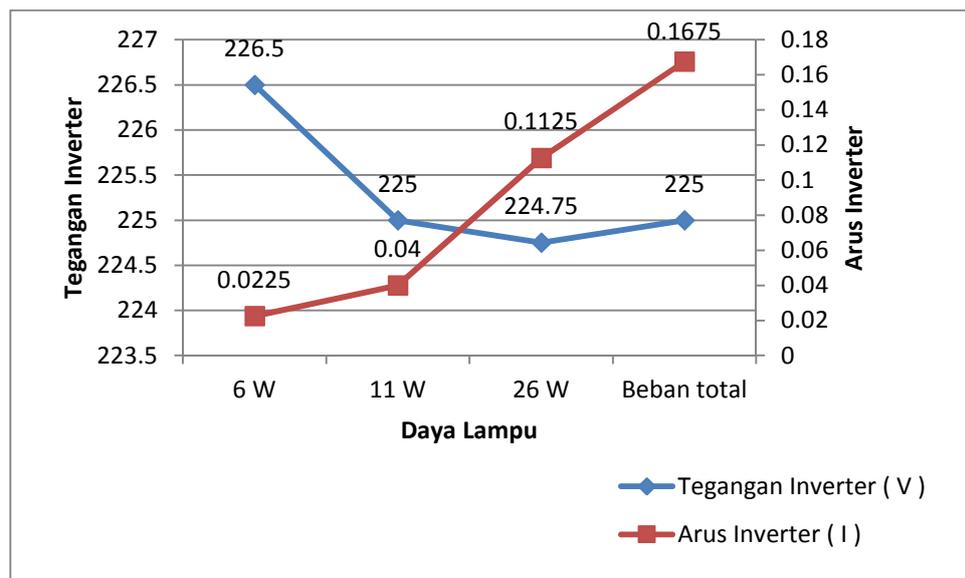
Terlihat pada gambar 4.1 dengan besaran daya pembebanan mempengaruhi tegangan yang di hasilkan inverter, pada pembebanan menggunakan lampu 6 watt tegangan terukur sebesar 225.25 volt. Sedangkan pada pembebanan lampu 26 watt teganga terukur sebesar 224.75 volt, besaran daya pembebanan mempengaruhi tegangan yang dihasilkan inverter.

Dan pada pengujiann yang tidak menggunakan buck-boost konverter daya yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.4 Data pengujian pembebanan Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Beban Lampu Tanpa Menggunakan Buck-Boost Konverter.

Daya Lampu	Tegangan Inverter (V)	Arus Inverter (I)	Tegangan Baterai 1	Tegangan Baterai 2	Arus B1+B2
6 W	226,5	0,0225	13,275	13,75	3,75
11 W	225	0,04	13,475	13,55	3,5
26 W	224,75	0,1125	13,55	13,675	7,575
Beban total	225	0,1675	13,5	13,575	9,4

Pada pengujian tanpa menggunakan buck-boost konverter terlihat hasil yang di dapatkan tidak terlalu berbeda jauh dari hasil pengujian menggunakan buck-boost konverter, perbedaannya hanya pada arus sinkronisasi yang lebih kecil dari pada saat menggunakan buck boost konverter.



Gambar 4.2 Grafik perbandingan Tegangan dan Arus Inverter Terhadap Beban Lampu Tanpa Menggunakan Buck-Boost Konverter.

Pada gambar 4.2 pembebanan tanpa menggunakan buck boost konverter dengan beban lampu pijar, terlihat pada lampu 6 watt memiliki tegangan 226,5 volt dengan arus 0,0225 ampere, sedangkan pada lampu 11 watt memiliki tegangan 225 volt dengan arus 0,04 ampere, dan pada lampu 26 watt memiliki

tegangan terendah sebesar 224,75 volt dengan arus 0,1125, pada beban total semua lampu memiliki tegangan sebesar 225 volt dengan arus 0,1675 ampere.

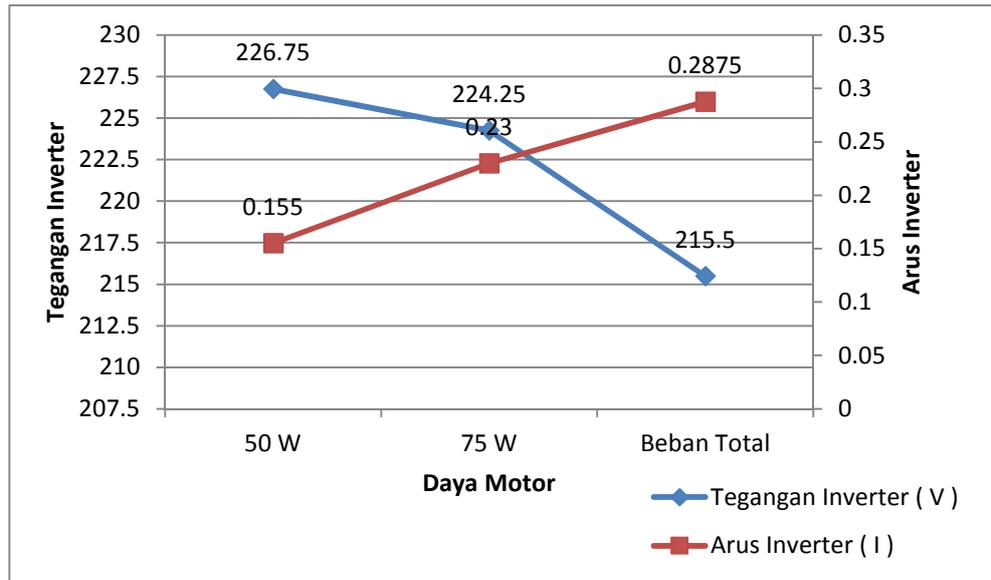
#### 4.2.2 Beban Motor Dengan Menggunakan Buck-Boost Konverter Dan Tanpa Menggunakan Buck-Boost konverter.

Adapun beban pengujian menggunakan 2 buah motor dengan beasaran beban masing-masing 50 watt dan 75 watt. Pada pengujian pertama menggunakan buck-boost konverter data pengujian dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.5 Data pengujian pembebanan Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Beban Motor Dengan Menggunakan Buck-Boost Konverter.

Daya Motor	Tegangan Inverter ( V )	Arus Inverter ( I )	Tegangan Buck-Boost konverter 1	Tegangan Buck-Boost konverter 2	Tegangan Baterai 1	Tegangan Baterai 2	Arus B1+B2
50 W	226,75	0,155	12,575	12,525	13,675	13,65	9,775
75 W	224,25	0,23	12,45	12,525	13,7	13,625	12,325
Beban Total	215,5	0,2875	12,5	12,55	13,525	13,5	14,425

Pada pengujian beban motor dengan menggunakan buck boost konverter, terlihat pada pembebanan motor 50 watt tegangan yang terukur sebesar 226.75 volt dengan arus 0,155 ampere dan pada pembebanan menggunakan motor 75 watt tegangan yang terukur sebesar 224,25 dengan arus 0,23 ampere sedikit lebih besar dari pembebanan motor 50 watt.



Gambar 4.3 Grafik perbandingan Tegangan dan Arus Inverter terhadap beban motor menggunakan buck-boost konverter.

Terlihat pada gambar 4.3 pada pengujian beban motor dengan menggunakan buck boost konverter, pada motor 50 watt memiliki tegangan 226,75 volt dengan arus 0,155 ampere dan pada motor 75 watt memiliki tegangan sebesar 224,525 volt dengan arus 0,23 ampere. Sedangkan pada beban total memiliki tegangan terendah sebesar 215 volt dengan arus 0,2875 ampere.

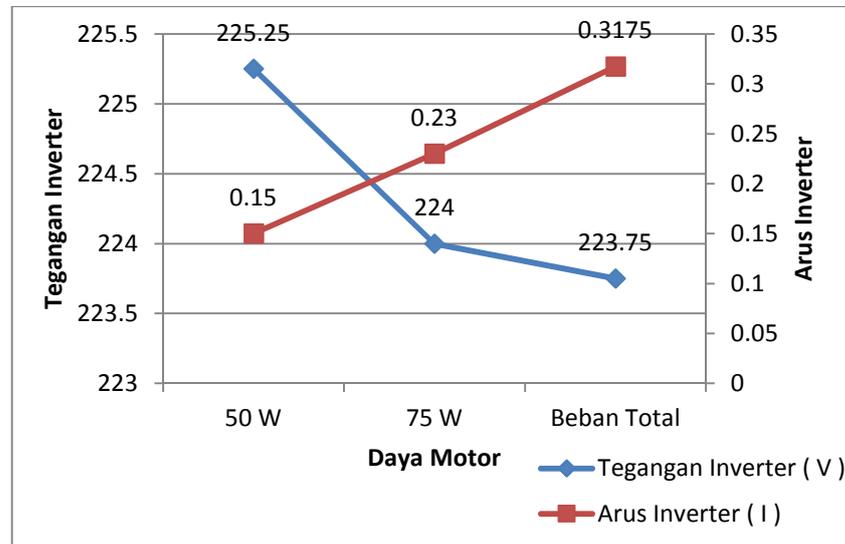
Dan pada pengujian yang tidak menggunakan buck-boost konverter daya yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 4.6 Data pengujian pembebanan Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Beban Motor Tanpa Menggunakan Buck-Boost Konverter.

Daya Motor	Tegangan Inverter (V)	Arus Inverter (I)	Tegangan Baterai 1	Tegangan Baterai 2	Arus B1+B2
50 W	225,25	0,15	13,425	13,575	8,5
75 W	224	0,23	13,5	13,475	11,8
Beban Total	223,75	0,3175	13,15	13,125	13,3

Hasil pengujian menggunakan beban motor juga tidak terlalu berbeda jauh antara menggunakan buck-boost konverter dan tanpa menggunakan buck-boost

konverter. Keduanya masih sanggup untuk melayani 2 buah motor dengan daya 50 watt dan 75 watt.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan Tegangan dan Arus Inverter terhadap beban motor tanpa menggunakan buck-boost konverter.

Terlihat pada gambar 4.4 pada pengujian beban motor tanpa menggunakan buck-boost konverter, pada motor 50 watt memiliki tegangan sebesar 225,25 volt dengan arus 0,15 ampere, dan pada motor 75 watt memiliki tegangan sebesar 224 volt dengan arus 0,23 ampere, sedangkan pada beban total tegangan terendah sebesar 223,75 volt dengan arus 0,3175 ampere.

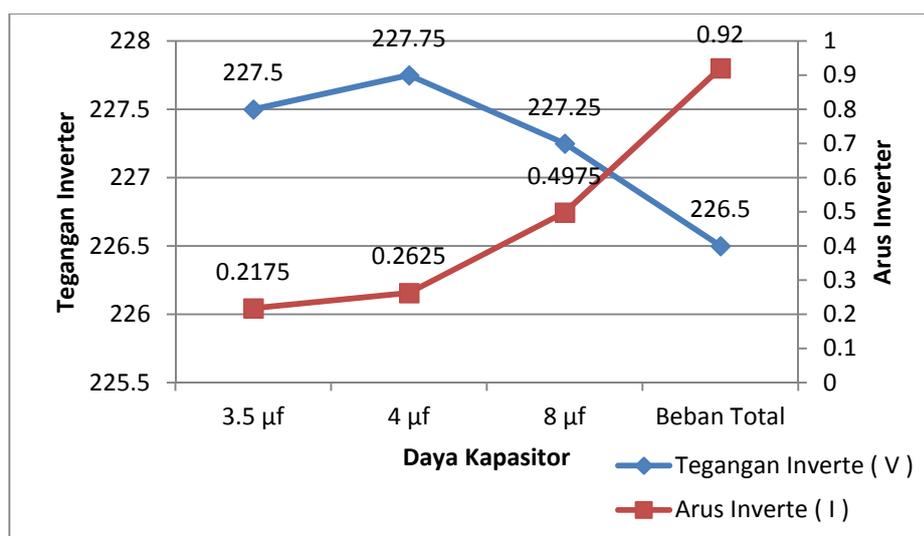
#### 4.2.3 Beban Kapasitor Dengan Menggunakan Buck-Boost Konverter Dan Tanpa Menggunakan Buck-Boost konverter.

Adapun beban pengujian menggunakan 3 buah kapasitor dengan besaran beban masing-masing 3  $\mu$ f, 4  $\mu$ f, dan 8  $\mu$ f. Pada pengujian pertama menggunakan buck-boost konverter data pengujian dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.7 Data pengujian pembebanan Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Beban Kapasitor Dengan Menggunakan Buck-Boost Konverter.

Daya Kapasitor	Tegangan Inverter ( V )	Arus Inverter ( I )	Tegangan Buck-Boost konverter 1	Tegangan Buck-Boost konverter 2	Tegangan Baterai 1	Tegangan Baterai 2	Arus B1+B2
3.5 $\mu$ f	227,5	0,2175	12,6	12,575	13,725	13,775	3,475
4 $\mu$ f	227,75	0,2625	12,55	12,6	13,675	13,55	3,9
8 $\mu$ f	227,25	0,4975	12,55	12,525	13,625	13,575	4,7
Beban Total	226,5	0,92	12,675	12,65	13,55	13,775	7,25

Pada pengujian menggunakan beban kapasitor perubahan paling besar terlihat pada arus inverter. Pada kapasitor 3.5  $\mu$ f arus terukur sebesar 0,2175 ampere. Dan pada kapasitor 8  $\mu$ f arus terukur sebesar 0,4975 ampere.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan Tegangan dan Arus Inverter terhadap beban kapasitor dengan menggunakan buck-boost konverter.

Terlihat pada gambar 4.5 pengujian dengan beban kapasitor pada kapasitor 3,5  $\mu$ f memiliki tegangan sebesar 227,5 volt dengan arus 0,2775 ampere, dan pada apasitor 4  $\mu$ f memiliki tegangan sebesar 227,75 volt dengan arus 0,26 25 ampere, sedangkap pada kapasitor 8  $\mu$ f memiliki tegangan sebesar 227,25 volt

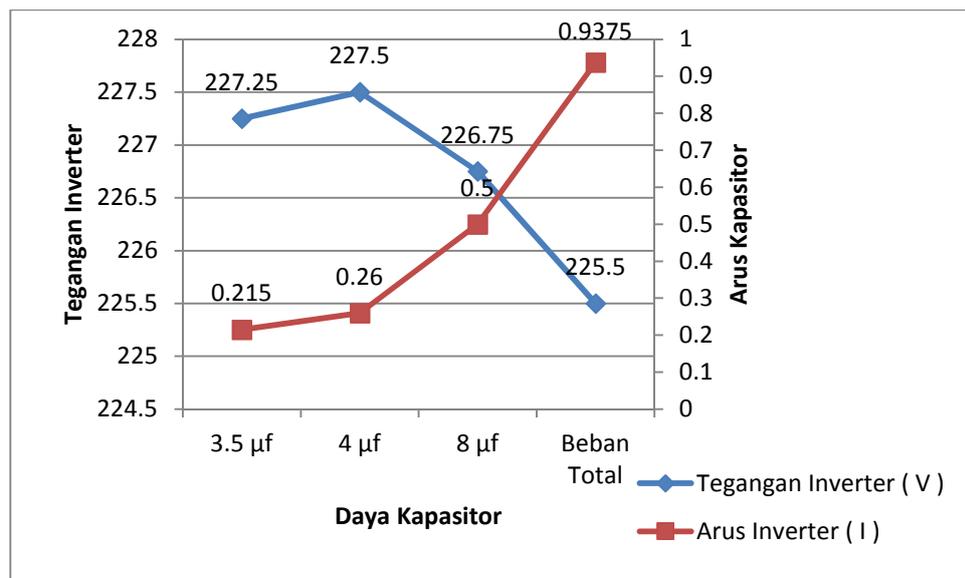
dengan arus 0,4975 ampere, dan pada beban total memiliki tegangan sebesar 226,5 dengan arus 0,92 ampere.

Dan pada pengujian yang tidak menggunakan buck-boost konverter daya yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 4.8 Data pengujian pembebanan Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Beban Kapasitor Tanpa Menggunakan Buck-Boost Konverter.

Daya Kapasitor	Tegangan Inverter ( V )	Arus Inverter ( I )	Tegangan Baterai 1	Tegangan Baterai 2	Arus B1+B2
3.5 $\mu$ f	227,25	0,215	13,45	13,55	3,5
4 $\mu$ f	227,5	0,26	13,525	13,55	3,625
8 $\mu$ f	226,75	0,5	13,575	13,5	4,625
Beban Total	225,5	0,9375	13,6	13,5	4,625

Sama halnya pada pengujian menggunakan beban lampu dan beban motor, pada pengujian menggunakan beban kapasitor juga terlihat perbebanan yang tidak terlalu jauh dari hasil percobaan dengan menggunakan buck-boost konverter dan yang tidak menggunakan buck-boost konverter.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan Tegangan dan Arus Inverter terhadap beban kapasitor tanpa menggunakan buck-boost konverter.

Dan pada pengujian beban kapasitor tanpa menggunakan buck boost konverter terlihat pada gambar 4.6 pada kapasitor 3  $\mu\text{f}$  memiliki tegangan sebesar 227,25 dengan arus 0,2115 ampere dan pada kapasitor 4  $\mu\text{f}$  memiliki tegangan sebesar 227,5 volt dengan arus 0,26 ampere, sedangkan pada kapasitor 8  $\mu\text{f}$  memiliki tegangan sebesar 226,75 volt dengan arus 0,5 ampere. Pada beban total memiliki tegangan sebesar 225,5 volt dengan arus 0,9375 ampere.

Dari pengujian menggunakan 3 buah jenis beban yang berbeda, terlihat perbedaan pengujian dengan menggunakan buck-boost konverter dan yang tidak menggunakan buck-boost konverter tidak terlalu berbeda jauh, pada pengujian menggunakan buck- boost konverter tegangan output dari buck-boost konverter pada sistem panel surya dan apada sistem turbin angin tetap stabil 12 volt, sedangkan tegangan pada masing-masing baterai tegangannya berubah-ubah dikarenakan pengaruh dari tegangan charging dari solar charger kontroller.

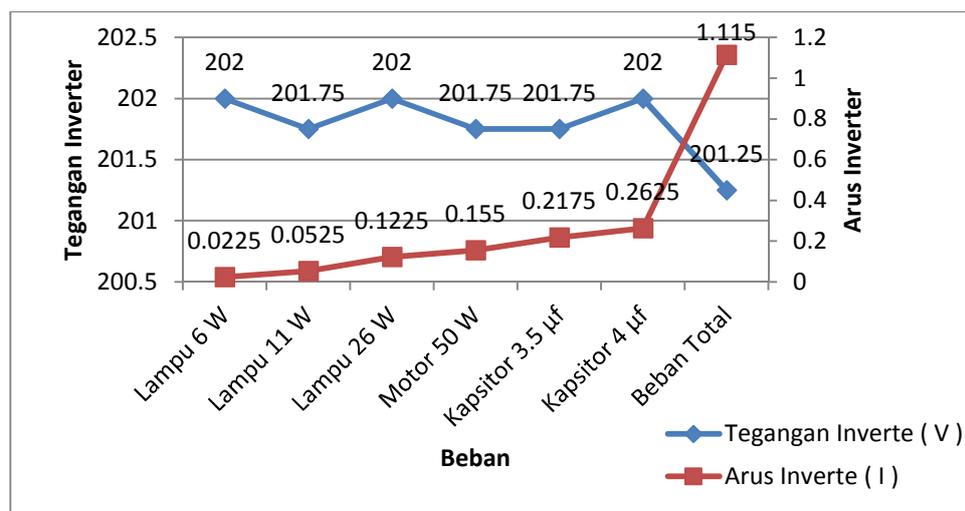
#### **4.2.4 Beban Gabungan Dengan Menggunakan Buck-Boost Konverter Dan Tanpa Menggunakan Buck-Boost konverter.**

Adapun pada pengujian ke-4 ini akan menguji pembebanan maksimum dengan menggunakan buck-boost konverter dan tidak menggunakan buck-boost konverter dengan menggunakan beban gabungan dari lampu, motor, dan kapasitor. Pada pengujian pertama menggunakan buck-boost konverter data pengujian dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.9 Data pengujian pembebanan Maksimum Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Beban Gabungan Menggunakan Buck-Boost Konverter.

Jenis beban	Tegangan Inverter (V)	Arus Inverter (I)	Tegangan Buck-Boost konverter 1	Tegangan Buck-Boost konverter 2	Tegangan Baterai 1	Tegangan Baterai 2	Arus B1+B2
Lampu 6 W	202	0,0225	11,925	12,1	12,625	12,65	16,6
Lampu 11 W	201,75	0,0525	11,925	12,1	12,625	12,65	16,6
Lampu 26 W	202	0,1225	11,925	12,1	12,625	12,65	16,6
Motor 50 W	201,75	0,155	11,925	12,1	12,625	12,65	16,6
Kapsitor 3.5 $\mu$ f	201,75	0,2175	11,925	12,1	12,625	12,65	16,6
Kapsitor 4 $\mu$ f	202	0,2625	11,925	12,1	12,625	12,65	16,6
Beban Total	201,25	1,115	11,925	12,1	12,625	12,65	16,6

Pada pengujian menggunakan beban gabungan daya maksimum yang mampu di layani dengan menggunakan buck-boost konverter adalah sebesar 223 watt dengan tegangan inverter 201,25 volt dan arus 1.11 ampere mampu melayani 3 buah lampu, 2 buah motor dan 2 buah kapasitor. Terlihat tegangan output dari kedua buck-boost konverter turun menjadi 11 volt dan arus pada B1+B2 sebesar 16 ampere, dimana sudah mencapai batas arus maksimum dari ke dua buck-boost konverter yang mana masing mempunyai arus maksimum sebesar 8 ampere.



Gambar 4.7 Grafik perbandingan Tegangan dan Arus Inverter terhadap beban gabungan dengan menggunakan buck-boost konverter.

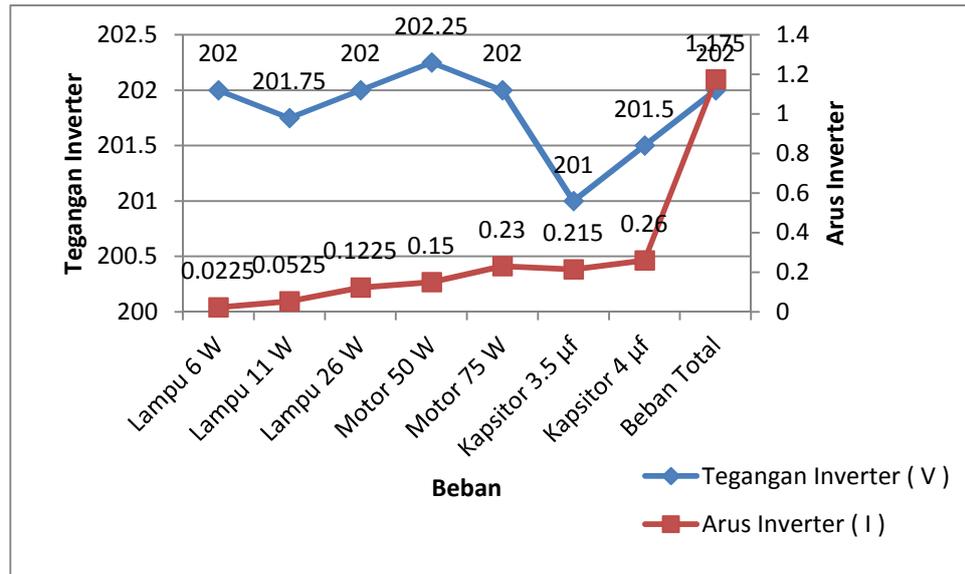
Pada gambar 4.7 pembebanan gabungan dengan menggunakan buck-boost konverter, masing-masing beban memiliki daya yang berbeda beda, tegangan terendah pada beban total adalah sebesar 201,25 volt dengan arus 1,115 ampere yang mana merupakan pembebanan maksimum dari pengujian menggunakan buck-boost konverter.

Dan pada pengujian yang tidak menggunakan buck-boost konverter daya yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 4.10 Data pengujian Pembebanan Maksimum Sinkronisasi Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Beban Gabungan Tanpa Menggunakan Buck-Boost Konverter.

Jenis beban	Tegangan Inverter ( V )	Arus Inverter ( I )	Tegangan Baterai 1	Tegangan Baterai 2	Arus B1+B2
Lampu 6 W	202	0,0225	12,225	12,425	17,2
Lampu 11 W	201,75	0,0525	12,225	12,425	17,2
Lampu 26 W	202	0,1225	12,225	12,425	17,2
Motor 50 W	202,25	0,15	12,225	12,425	17,2
Motor 75 W	202	0,23	12,225	12,425	17,2
Kapsitor 3.5 $\mu$ f	201	0,215	12,225	12,425	17,2
Kapsitor 4 $\mu$ f	201,5	0,26	12,225	12,425	17,2
Beban Total	202	1,175	12,225	12,425	17,2

Pada pengujian menggunakan beban gabungan dengan tidak menggunakan buck-boost konverter daya maksimum yang mampu di layani adalah sebesar 236 watt dengan tegangan ouput inverter sebesar 202 volt dan arus 1.17 ampere, seikit lebih besar 14 watt dari pada dengan yang menggunakan buck-boost konverter dan masih mampu untuk melayani 2 buah motor dengan daya 50 watt dan 75 watt, itu karena pada inverter daya yang di ambil langsung dari baterai tanpa melewati rangkaian apapun.



Gambar 4.8 Grafik perbandingan Tegangan dan Arus Inverter terhadap beban gabungan tanpa menggunakan buck-boost konverter.

Sedangkan pada gambar 4.8 pada pengujian pembebanan beban gabungan tanpa menggunakan buck-boost konverter adalah sebesar 202 volt dengan arus 1,175 ampere yang juga merupakan pembebanan maksimum dari pengujian pembebanan tanpa menggunakan buck-boost konverter.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Rangkaian sinkronisasi pembangkit listrik hybrid dapat dilakukan dengan menyamakan tegangan dari kedua buah pembangkit menjadi satu, solar charger controller mengalirkan energi yang dihasilkan dari kedua pembangkit dan di simpan ke baterai. tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya dan generator turbin angin sangat berpengaruh terhadap perubahan cuaca seperti kecepatan angin dan intensitas cahaya matahari. alat ini mampu melayani beban listrik AC (bolak-balik) sampai 236 watt. Buck-boost konverter berkerja dengan baik mengatur tegangan dari solar charger controller menjadi lebih konstan dan di alirkan ke inverter untuk diubah menjadi tegangan bolak balik (AC).
2. Pada saat menggunakan buck-boost konverter tegangan input pada inverter tetap konstan 12 volt dan masih sanggup untuk melayani pembebanan dengan daya maksimum sebesar 221 watt. Sedangkan, Saat buck-boost konverter tidak digunakan, daya maksimum yang mampu di layani sebesar 236 watt, tetapi tegangan yang dihasilkan dari solar charger controller berubah-ubah yang juga berpengaruh pada tegangan baterai.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang memuat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penempatan turbin angin di tempat yang memiliki karakter angin yang stabil dan memiliki kecepatan angin yang baik mempengaruhi energi listrik yang dihasilkan dari generator.
2. Penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang bermanfaat guna untuk memperbaiki lagi baik dalam hal penulisan maupun dalam bentuk hasil dari penelitian tersebut.
3. Penulis juga berharap agar penelitian ini dapat memacu semangat mahasiswa dalam berkreaitivitas dalam bentuk energi terbarukan.
4. Besar harapan penulis agar penelitiannya dapat lebih dikembangkan lagi, karena dalam penellitian ini masih terdapat banyak kekurangannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Indonesia, "Blueprint," 2006.
- [2] I Wayan Bayu Andana, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Fuel Cell Dan Solar Cell Dengan Acuan Pergerakan Matahari."
- [3] T. S. Hayu and R. H. Siregar, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid ( Surya-Bayu ) di Banda Aceh Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan," vol. 3, no. 1, pp. 9–16, 2018.
- [4] T. Suhartanto, "Tenaga Hibrid ( Angin dan Surya ) di Pantai Baru Pandansimo Bantul Yogyakarta," vol. 3, no. 1, pp. 76–82, 2014.
- [5] S. Risdiara *et al.*, "Menggunakan Sumber Daya Listrik Kombinasi Dari Solar," pp. 357–362, 2018.
- [6] S. A. Shezan, R. Saidur, K. R. Ullah, A. Hossain, W. T. Chong, and S. Julai, "Feasibility analysis of a hybrid off-grid wind-DG-battery energy system for the eco-tourism remote areas," *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 17, no. 8, pp. 2417–2430, 2015.
- [7] H. Desrizal and I. Hasyim Rosma, "Analisis Ketersediaan Sistem Pembangkit Berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) Dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)," *J. Online Mhs. Bid. Tek. dan Sains*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2017.
- [8] S. A. Shezan *et al.*, "Performance analysis of an off-grid wind-PV (photovoltaic)-diesel-battery hybrid energy system feasible for remote areas," *J. Clean. Prod.*, vol. 125, no. June, pp. 121–132, 2016.
- [9] F. A. dkk Huwito, "Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya," *J. Semesta Tek.*, vol. 15, no. 1, pp. 22–34, 2012.
- [10] S. Kanata, "Kajian Ekonomis Pembangkit Hybrid Renewable Energi Menuju Desa Mandiri Energi di Kabupaten Bone-Bolango," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 11, no. 2, 2015.
- [11] B. Bhandari, K. Lee, G. Lee, Y. Cho, and S. Ahn, "Optimization of Hybrid Renewable Energy Power Systems : A Review," vol. 2, no. 1, pp. 99–112, 2015.
- [12] N. Sabbaha, E. Susanto, E. Kurniawan, F. T. Elektro, U. Telkom, and T. Angin, "Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Surya Dan Angin Untuk

Design and Implementation of Converter for Hybrid Solar Panel and.”

- [13] R. Alfanz *et al.*, “Rancang Bangun Penyedia Energi Listrik Tenaga Hibrida ( PLTS- PLTB-PLN ) Untuk Membantu Pasokan Listrik Rumah Tinggal,” *Setrum*, vol. 4, no. 2, pp. 34–42, 2015.
- [14] S. dkk Wuriyandani, “Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Menggunakan Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Double-Stage Savonius Dan Panel Surya Snf2015-Vii-167 Snf2015-Vii-168,” vol. IV, pp. 167–170, 2015.
- [15] A. Hamzah and Hendri, “Desain Pengembangan Hybrid Bidirectional Inverter 1500 Watt Dengan Menggabungkan Energi Alternatif Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dan Energi Utilitas Untuk Aplikasi Rumah Tangga,” *J. Online Mhs. Fak. Tek. Univ. Riau*, vol. 3, no. 2, pp. 1–11, 2016.
- [16] I. Herlamba and A. Anshori, “Karakteristik Model Turbin Angin Sumbu Vertikal Dua Tingkat Darrieus Tipe-H dengan Bilah Hibrid Profil Modified NACA 0018 dan Kurva S,” 2018.
- [17] R. Syahputra, “Model PLTB dengan Generator Induksi,” *Univ. Muhammadiyah Yogyakarta*, p. 2, 2017.
- [18] B. Bhandari, S. R. Poudel, K.-T. Lee, and S.-H. Ahn, “Mathematical modeling of hybrid renewable energy system: A review on small hydro-solar-wind power generation,” *Int. J. Precis. Eng. Manuf. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 157–173, 2014.
- [19] S. Bahramara, M. P. Moghaddam, and M. R. Haghifam, “Optimal planning of hybrid renewable energy systems using HOMER: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 62, pp. 609–620, 2016.
- [20] V. Khare, S. Nema, and P. Baredar, “Solar-wind hybrid renewable energy system: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 58, pp. 23–33, 2016.
- [21] A. Mahesh and K. S. Sandhu, “Hybrid wind/photovoltaic energy system developments: Critical review and findings,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 52, pp. 1135–1147, 2015.
- [22] N. E. Mohammad Rozali, S. R. Wan Alwi, Z. A. Manan, J. J. Klemeš, and M. Y. Hassan, “A process integration approach for design of hybrid power systems with energy storage,” *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 17, no. 7, pp. 2055–2072, 2015.
- [23] A. D. A. N. Matahari, D. Hardiantono, and F. H. Sumbung, “Rancang Bangun Unit Pembangkitan Dan Modul Pengukurannya Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Angin Dan Matahari),” vol. 5, no. 3, pp. 231–245,

2016.

- [24] M. Otong, A. Alimuddin, and I. Mas'ud, "Optimasi Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Menggunakan Homer Di Pulau Tunda," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, vol. 6, no. 1, pp. 1–13, 2017.
- [25] J. T. Elektro and U. D. Semarang, "Perangkat Lunak Homer Abstrak Pendahuluan," 204AD.
- [26] M. P. Lukman and H. Photovoltaic, "Suatu Sistem Photovoltaic Thermal Sebagai Sumber," vol. 2, no. 1, pp. 34–45, 2015.
- [27] F. A. Pamuji, "ISSN : 2302 - 2949 Desain Kontrol Multi – Input DC – DC Converter Sistem Hibrid Turbin Angin Dan Sel Surya Menggunakan Kontrol Fuzzy Logic Untuk Tegangan Rendah ISSN : 2302 - 2949," no. 2, pp. 220–226, 2015.
- [28] N. A. Hidayatullah, H. Nur, and K. Ningrum, "Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker," *J. Electr. Electron. Control Automot. Eng. JEECAE*, vol. 1, no. 1, pp. 7–12, 2016.
- [29] B. B. Converter, F. Logic, and F. L. Control, "Andriani Parastiwi," vol. 01, no. 01, pp. 49–54, 2017.
- [30] M. R. Robiansyah, "Skala Kecil," *Jurnal*, vol. 2, no. 2502, 2017.

## LAMPIRAN





Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : MUHAMMAD RAFIQ  
NPM : 1407220155  
Judul Tugas Akhir : SINKRONISASI PEMBANGKIT LISTRIK  
HIBRID (ANGIN DAN SURYA) BERBASIS DC-  
AC INVERTER.

No	Tanggal	Catatan	Paraf
1		Ace Judul	[Signature]
2	27/8 - 2018	- Pembacaan & terjemah TA	[Signature]
3	20/9 - 2018	- Pelajari gambar 2 yg mungkin revisi	[Signature]
4	5/12 - 2018	- Pembacaan hasil ps BAB I	[Signature]
5	10/1 - 2019	- Pembacaan hasil praktikum yg dilakukan	[Signature]
6	25/1 - 2019	- Pelajari hasil analisis pd bab II dan pembacaan presentasi serta grafik. Hasil	[Signature]
7	10/2 - 2019	Pembacaan hasil	[Signature]
8	24/2 - 2019	Ace Summary	[Signature]

Pembimbing I

[Signature]  
(NOORLY EVALINA, S.T,M.T)



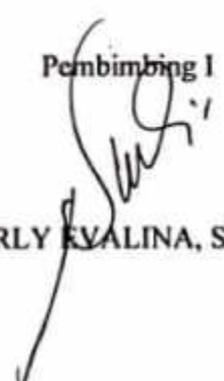
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : MUHAMMAD RAFIQ  
NPM : 1407220155  
Judul Tugas Akhir : SINKRONISASI PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID  
(ANGIN DAN SURYA) BERBASIS DC-AC INVERTER

No	Tanggal	Catatan	Paraf
		Konsultasi Stand sebelum seminar final Ace sedang	Suqi Suqi Suqi

Pembimbing I

  
NOORLY KVALINA, S.T, M.T



**Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)**

Nama : MUHAMMAD RAFIQ  
NPM : 1407220155  
Judul Tugas Akhir : SINKRONISASI PEMBANGKIT LISTRIK  
HIBRID (ANGIN DAN SURYA) BERBASIS DC-  
AC INVERTER.

No.	Tanggal	Catatan	Paraf
1.	29/8 2018	Revisi Rumusan masalah	
2.	30/11 2018	Revisi A konsultasi Bab I	
3.	14/1 2019	Konsultasi Metodologi	
4.	25/1 2019	Revisi Gambar rangkaian	
5.	1/2 2019	Konsi Diagram Alir	
6.	7/2 2019	Revisi tabel Perhitungan	
8.	20/2 2019	Revisi Bab V	
		UAC seminar 20/2/2018	

Pembimbing II

(RIMBAWATI, S.T,M.T)



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
Jalan Kapten Mochtar Basri No. 3 Medan Sumatera Utara 20238 Indonesia

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : MUHAMMAD RAFIQ  
NPM : 1407220155  
Judul Tugas Akhir : SINKRONISASI PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID  
(ANGIN DAN SURYA) BERBASIS DC-AC INVERTER

No	Tanggal	Catatan	Paraf
1	9 Maret 2019	Konsultasi hasil seminar hasil	
2.	12/3/2019	Ace sidang	

Pembimbing II



RIMBAWATI, S.T., M.T