

SKRIPSI

**ANALISA KARAKTERISTIK OPERASI PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA SURYA *HYBRID* (PV DAN GRID)**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro



Oleh

ARGA SAPUTRA

181000220201001

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT

2022

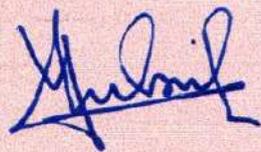
HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA KARAKTERISTIK OPERASI PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA SURYA HYBRID (PV DAN GRID)**

Oleh

ARGA SAPUTRA
181000220201001

Dosen Pembimbing I,



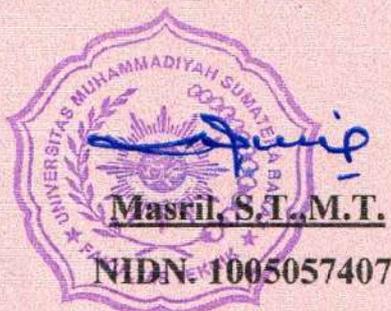
Ir. Yulisman, M.T.
NIDK. 8808220016

Dosen Pembimbing II,

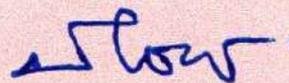


Herris Yamashika, S.T., M.T.
NIDN. 1024038202

**Dekan Fakultas Teknik
UM Sumatra Barat,**



**Ketua Program Studi
Teknik Elektro,**



Herris Yamashika, S.T., M.T.
NIDN. 1024038202

LEMBARAN PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah dipertahankan dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi Tim Penguji pada ujian tertutup tanggal di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatra Barat

Bukittinggi, 17 Februari 2022

Mahasiswa,

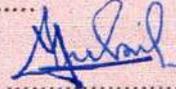


Arga Saputra

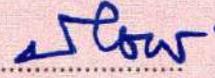
181000220201001

Disetujui Tim Penguji Skripsi tanggal.....:

1. Ir. Yulisman, M.T.

1. 

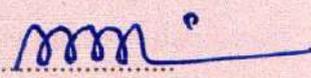
2. Herris Yamashika, S.T., M.T.

2. 

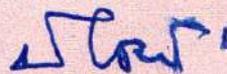
3. Mahyessie Kamil, S.T., M.T.

3. 

4. Ir. Budi Santosa, M.T.

4. 

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Elektro,



Herris Yamashika, S.T., M.T.

NIDN. 1024038202

LEMBARAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Arga Saputra
Tempat dan tanggal Lahir : Padang Panjang, 16 Juli 1994
NIM : 181000220201001
Judul Skripsi : Analisa Karakteristik Operasi Pembangkit Listrik
Tenaga Surya *Hybrid* (PV Dan Grid)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah di peroleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di UM Sumatra Barat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Bukittinggi, 17 Februari 2022

Yang membuat pernyataan,



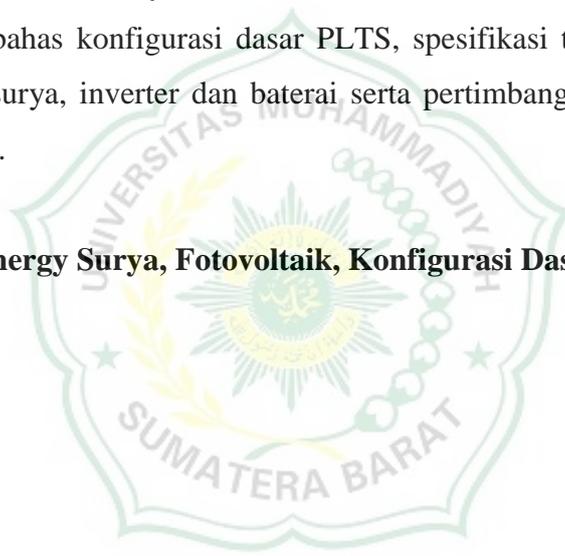
Arga Saputra

NIM.181000220201001

ABSTRAK

Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang tersedia secara berlimpah di Indonesia. Salah satu cara memanfaatkan energi surya adalah dengan mengubahnya menjadi energi listrik menggunakan modul fotovoltaik atau modul surya yang disebut pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Dewasa ini pemanfaatan energi surya sebagai pembangkit tenaga listrik berkembang pesat, akan tetapi belum ada standard terkait pembangunan PLTS di Indonesia. Pembangunan PLTS dapat mempercepat rasio kelistrikan dan mengurangi konsumsi bahan bakar minyak di daerah terpencil. PLN yang bertanggung jawab dalam meningkatkan rasio kelistrikan memerlukan standard teknis yang dapat digunakan oleh kantor wilayah dalam merencanakan dan membangun PLTS. Pada makalah ini dibahas konfigurasi dasar PLTS, spesifikasi teknis peralatan utama seperti modul surya, inverter dan baterai serta pertimbangan dalam menentukan kapasitas PLTS.

Kata kunci: Energy Surya, Fotovoltaik, Konfigurasi Dasar



ABSTRACT

Solar energy as a source of primary energy is a renewable energy. It is available abundantly in Indonesia. One of the technological utilization of solar energy into electrical energy is the use of photovoltaic or solar modules, called Photovoltaic Power Plant or PLTS. At present, the utilization of solar energy for power generation sources is growing rapidly in a wide range of power scaling. However, there is no standard was established in Indonesia in connection with the construction of photovoltaic power generation. Photovoltaic power plant currently purposed to speed up electrification ratio and reduce the consumption of fuel in remote area, which generally scale power plants below 1 MW. PLN as State Owned Electricity Company is responsible in raising the electrification ratio needs a technical standard that can be used by region office in planning and building a PLTS. This paper describes the base-configuration of photovoltaic system, important technical specifications of main equipment such as solar modules, inverters and batteries, the consideration to choose the capacity is also included.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic, Base-Configuration, Deep Cycle

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala berkat yang telah diberikan-Nya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi ini merupakan salah satu kewajiban yang harus diselesaikan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat (UM Sumatera Barat).

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak, Skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini, yaitu kepada:

1. Orang tua, isteri, kakak, dan adik serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan moril, doa, dan kasih sayang;
2. Bapak Masril, S.T.,M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
3. Bapak Hariyadi, S.Kom.,M.Kom, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
4. Bapak Ir. Yulisman selaku Dosen Pembimbing I skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banyak memberikan masukan kepada penulis;
5. Bapak Herris Yamashika, S.T.,M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, sekaligus Dosen Pembimbing Akademik, dan Dosen Pembimbing II skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banyak memberikan masukan kepada penulis;
6. Bapak Mahyessie Kamil, S.T.,M.T. selaku penguji skripsi yang telah memberikan masukan revisi kepada penulis;
7. Bapak Ir. Budi Santosa, M.T. selaku penguji skripsi yang telah memberikan masukan revisi kepada penulis;
8. Bapak/Ibu Tenaga Kependidikan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat yang telah memberikan dukungan dan ilmunya kepada penulis;
9. Semua pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa mungkin masih terdapat banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, saran dari pembaca akan sangat bermanfaat bagi penulis. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya, khususnya mahasiswa teknik elektro.

Bukittinggi, 17 Februari 2022

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
LEMBARAN PERSETUJUAN TIM PENGUJI	i
LEMBARAN PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Teori Dasar	6
2.3 Prinsip Kerja PLTS Sistem <i>Hybrid</i>	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Lokasi Penelitian	15
3.2 Data Penelitian	15
3.3. Metode Analisa	15

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian	19
4.2 Pembahasan.....	34

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	39
5.2. Saran.....	39

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Karakteristik pengukuran pada kondisi On-Grid tanpa baterai dari jam 08.00 WIB – 17.00 WIB.....	17
Tabel 3.2.	Karakteristik pengukuran kondisi On-Grid dengan baterai dari jam 08.00 WIB s/d 17.00 WIB, kondisi 100%	17
Tabel 4.1.	Hasil pengambilan data tanggal 18 Januari 2022, jam 08.00 s/d 17.00 WIB.	20
Tabel 4.2.	Efisiensi kinerja hybrid inverter tanggal 18 Januari 2022.....	21
Tabel 4.3.	Hasil pengambilan data tanggal 19 Januari 2022, jam 08.00 s/d 17.00 WIB	22
Tabel 4.4.	Efisiensi kinerja hybrid inverter tanggal 19 Januari 2022.....	24
Tabel 4.5.	Hasil pengambilan data tanggal 20 Januari 2022.....	25
Tabel 4.6.	Efisiensi kinerja hybrid inverter tanggal 20 Januari 2022.....	27
Tabel 4.7.	Hasil pengambilan data tanggal 22 Januari 2022.....	28
Tabel 4.8.	Efisiensi kinerja inverter tanggal 22 januari 2022.....	30
Tabel 4.9.	Hasil pengambilan data tanggal 23 Januari 2022, jam 08.00 s/d 17.00 WIB.....	31
Tabel 4.10.	Efisiensi kinerja inverter tanggal 23 januari 2022.....	33
Tabel 4.11.	Efisiensi kinerja inverter 18 januari 2022.....	35
Tabel 4.12.	Efisiensi kinerja inverter 19 januari 2022.....	35
Tabel 4.13.	Efisiensi kinerja hybrid inverter 20 januari 2022.....	36
Tabel 4.14.	Efisiensi kinerja hybrid inverter 22 januari 2022.....	37
Tabel 4.15.	Efisiensi kinerja hybrid inverter 23 januari 2022.....	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. a) kurva karakteristik PV b) model ekuivalen PV	7
Gambar 2.2. Modul photovoltaic	9
Gambar 2.3. Inverter hybrid.....	10
Gambar 2.4. Baterai 12 V, 100 Ah.....	11
Gambar 2.5. Grid (jaringan listrik)	12
Gambar 2.6. Lampu sebagai beban (load)	13
Gambar 2.7. Prinsip kerja sistem PLTS hybrid	14
Gambar 3.1. Skema pengujian pembebanan (PV) dengan baterai.....	16
Gambar 3.2. Skema pengujian pembebanan (PV, Grid) tanpa baterai	17
Gambar 3.3. Skema pengujian pembebanan (PV, Grid) dengan baterai.	17
Gambar 3.4. Diagram alir metodologi penelitian.....	18
Gambar 4.1. Kurva Radiasi cahaya tanggal 18 Januari 2022	20
Gambar 4.2. Kurva pengukuran penggunaan daya 18 Januari 2022.....	20
Gambar 4.3. Kurva Radiasi cahaya tanggal 19 Januari 2022.....	23
Gambar 4.4. Kurva pengukuran penggunaan daya 19 Januari 2022.....	23
Gambar 4.5. Kurva Radiasi cahaya tanggal 20 Januari 2022.	26
Gambar 4.6. Kurva pengukuran penggunaan daya 20 Januari 2022.....	26
Gambar 4.7. Kurva Pengukuran Radiasi Cahaya tanggal 22 Januari 2022.	29
Gambar 4.8. Kurva hasil pengukuran penggunaan daya tanggal 22 Januari 2022	29
Gambar 4.9. Kurva Pengukuran Radiasi Cahaya tanggal 23 Januari 2022.	32
Gambar 4.10. Kurva penggunaan daya tanggal 23 Januari 2022.....	32

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan sumber energi terbarukan / *Renewable Energy Source (RES)* sebagai solusi untuk mengatasi masalah peningkatan kebutuhan listrik semakin banyak digunakan. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal, selain menipisnya cadangan energi yang berasal dari bahan bakar fosil, penggunaan sumber energi terbarukan juga dapat mengurangi dampak pencemaran lingkungan yang ditimbulkan oleh bahan bakar fosil. Selain itu sumber energi terbarukan juga banyak digunakan sebagai solusi permasalahan kelistrikan di daerah terpencil. Mahalnya biaya transmisi dan distribusi tenaga listrik ke pelanggan juga menjadi alasan untuk mempertimbangkan penggunaan energi terbarukan sebagai solusi alternatif untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik ^[1].

Penerapan sumber energi terbarukan sebagai solusi permasalahan kelistrikan, memberikan tantangan dalam pengembangan teknologi yang berkaitan dengan teknik konversi energi dan topologi jaringan. Pembangkit listrik terdistribusi merupakan salah satu pemanfaatan *RES* untuk pembangkit listrik dengan menawarkan alternatif topologi pembangkit listrik. Berbeda dengan topologi pembangkit listrik konvensional yang menerapkan paradigma pembangkit listrik terpusat, pembangkit terdistribusi memiliki beberapa keunggulan antara lain pembangkit terletak dekat dengan beban sehingga tidak banyak membutuhkan saluran transmisi dan dapat mengurangi rugi-rugi yang ditimbulkan oleh jaringan.

Pembangkit terdistribusi dapat dihubungkan ke jaringan distribusi atau beroperasi secara terputus dari jaringan distribusi. Pembangkitan terdistribusi menggunakan beberapa jenis sumber listrik dari non konvensional/tidak terbarukan seperti gas alam, biogas, angin, sel surya dan lainnya ^[2-3].

Pengembangan pembangkit terdistribusi/*Distributed Generation (DG)* adalah untuk menyatukan semua daya yang didistribusikan menjadi *microgrid*. Pada *microgrid* selain terdiri dari beberapa daya yang terdistribusi yang disebut *micro source*, juga terdapat beberapa penyimpan energi dan beberapa jenis beban yang

terhubung dan semuanya dikendalikan baik secara terpusat maupun terdesentralisasi pada setiap pembangkitnya^[4]. Dari sudut pandang operasi, setiap sumber *mikro*, dilengkapi dengan rangkaian antarmuka elektronika daya dan rangkaian kontrol untuk memenuhi faktor fleksibilitas, kualitas daya, dan jumlah keluaran energi^[5]. Rangkaian elektronika daya yang digunakan berupa rangkaian inverter yang dapat mengubah sumber daya *DC* menjadi *AC*.

Ada beberapa jenis inverter mulai dari inverter standalone yang tidak bisa disambungkan ke jaringan *inverter grid tie inverter/GTI*, inverter yang bisa konek ke jaringan dan *on-off GTI*, inverter yang dapat bekerja secara mandiri atau dapat dihubungkan ke jaringan. Salah satu ciri *microgrid* adalah memungkinkan untuk terintegrasi dengan jaringan listrik umum (PLN/*grid*) atau bekerja secara mandiri terputus dari jaringan. Selain itu pada *microgrid* juga dimungkinkan untuk mensuplai kelebihan daya ke jaringan dan tetap dapat mensuplai daya, bahkan ketika terputus dari jaringan. Tidak semua perangkat inverter dapat digunakan pada *microgrid*, terkait dengan beberapa kriteria yang harus dipenuhi. Bagaimana karakteristik *on-off GTI* inverter serta bagaimana membangun *microgrid* menggunakan *on/off GTI* inverter. Dari latar belakang diatas maka topik yang akan dibahas pada skripsi ini yakni analisa karakteristik PLTS *Hybrid* pada berbagai kondisi pola operasi.

1.2 Rumusan Masalah

Bedasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya maka rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana karakteristik PLTS sistem *Hybrid* ketika beroperasi dalam keadaan *on-grid*.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan ini tidak menyimpang dari topik yang telah ditentukan maka penulis memberi batasan masalah sebagai berikut :

- a. Sistem pembangkit listrik tenaga surya *hybrid* (PV dan PLN) yang digunakan adalah sistem 1 fasa.
- b. Panel surya yang digunakan berada pada posisi tetap mengarah ke arah matahari terbit dengan sudut kemiringan 11° .

- c. Pengoperasian sistem pembangkit *hybrid* (PV dan Grid) dilakukan pada beban 200 W.
- d. Pengujian dengan baterai dilakukan pada kondisi baterai terisi penuh.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

- a. Mendapatkan karakteristik PLTS *hybrid* (PV dan Grid) pada kondisi operasi beban penuh (200 Watt).
- b. Menghitung serta menganalisis kondisi cahaya matahari yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik.

1.4.2 Manfaat

Penelitian ini dapat memberikan informasi tentang pemanfaatan sumber energi terbarukan yang berasal dari energi matahari untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dan karakteristik operasi dari suatu pembangkit listrik tenaga surya dalam melayani beban.

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dalam pemahaman mengenai isi pokok Skripsi ini, maka Skripsi ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan hal-hal yang menjadi latar belakang (masalah), rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab tinjauan pustaka diuraikan tentang kajian penelitian sebelumnya yang relevan dengan permasalahan dan tujuan penelitian yang diangkat, teori dasar, prinsip kerja dari PLTS dengan sistem *Hybrid* (PV dan Grid).

BAB III Metodologi Penelitian

Pada bab ini akan di bahas dimana lokasi penelitian, data penelitian, metode analisis, bagan alir penelitian, dan pengujian hipotesis.

Bab IV Analisa dan Pembahasan

Pada bab ini berisikan tentang perhitungan, dan pembahasan hasil penelitian.

Bab V Penutup

Bab ini merupakan bab penutup yang berisikan simpulan dari apa yang telah dibahas dari rumusan masalah berdasarkan pada diskusi hasil kajian dan saran yang diberikan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis berpedoman kepada hasil penelitian dari para peneliti terdahulu yang dapat dijadikan referensi atau acuan dalam penyelesaian penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

Penelitian yang dilakukan oleh Rony Wijaya di tahun 2012, dihasilkan kesimpulan bahwa Inverter adalah sebuah piranti yang berfungsi untuk mengubah sumber arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Pada Sumber Listrik Tenaga Surya, inverter dapat digunakan untuk mengubah sumber arus DC dari sel surya menjadi arus AC dan mensinkronkan fasa arus AC tersebut dengan fasa arus AC dari PLN. Inverter jenis tersebut dinamakan grid-tie inverter (GTI). Pada sebuah GTI, terdapat beberapa komponen yang berfungsi sebagai DC-DC converter, MPPT, dan inverter itu sendiri. Pada skripsi ini telah diteliti karakteristik output GTI dari berbagai macam konfigurasi. Pengujian GTI dilakukan dengan cara menghubungkan GTI dengan simulator sel surya dan sistem grid dari PLN. GTI yang diuji coba adalah GTI yang mempunyai kapasitas 500W dan 1000W yang dipasang secara tunggal dan paralel.

Selanjutnya penelitian yang telah dilakukan oleh Gordon Arifin Sinaga pada tahun 2019 dihasilkan kesimpulan bahwa Energi terbarukan merupakan energi yang berasal dari proses alam yang tidak akan pernah habis dan berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Diantara berbagai sumber energi terbarukan yang tersedia, energi matahari mempunyai potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi listrik pada daerah tropis. Dalam pemanfaatannya, untuk menjaga keberlanjutan ketersediaan energi listrik secara maksimal maka diperlukan penggabungan beberapa jenis pembangkit yang terhubung dengan jaringan listrik PLN atau yang lebih dikenal dengan sebutan pembangkit listrik sistem hybrid grid connected. Penelitian ini bertempat di Villa Peruna Saba, Gianyar-Bali yang

Menggunakan pembangkit listrik sistem *hybrid grid connected*. Sistem ini menggabungkan antara *photovoltaic* dan genset yang terhubung dengan jaringan PLN dalam menyuplai beban listrik. Analisis dilakukan terhadap karakteristik beban rata-rata, kontribusi masing-masing sumber daya listrik dan cara kerja pembangkit listrik sistem *hybrid grid connected*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kontribusi daya yang berasal dari pembangkit listrik tenaga surya adalah sebesar 561,27 kW atau 22,41% pada bulan April 2018 dan 510,72 kW atau 20,71% pada bulan Mei 2018.

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Rudy Setiabudy dkk. di tahun 2013, dihasilkan kesimpulan, salah satu karakteristik Jaringan Listrik Mikro (JLM) adalah memungkinkan untuk dapat terhubung dengan jaringan listrik publik (PLN/*grid*) atau bekerja mandiri terlepas dari jaringan publik. Selain itu pada JLM juga dimungkinkan untuk mensuplai kelebihan listrik ke jaringan dan tetap mampu mengalirkan daya ke beban lokal meskipun terputus dari jaringan. Tidak semua perangkat inverter dapat digunakan pada jaringan listrik mikro, berkaitan dengan beberapa kriteria yang harus dipenuhi tersebut. Bagaimana karakteristik dari *on-off grid tie inverter (on-off GTI)* serta bagaimana membangun JLM menggunakan *on-off GTI* menjadi topik kegiatan penelitian ini. Berdasarkan hasil pengujian *on-off GTI* dapat digunakan pada jaringan listrik mikro, dengan kemampuan mensuplai daya ke jaringan pada saat kelebihan daya ataupun disuplai jaringan pada saat kekurangan daya. Inverter *on-off GTI* mampu bekerja mandiri ketika tidak ada daya dari jaringan.

2.2 Teori Dasar

Hybrid sendiri secara etimologis berarti metode perancangan dengan menggabungkan atau menyilangkan dua atau lebih dari dua aspek yang saling bertolak belakang namun saling bersinggungan atau mendukung suatu sistem tertentu. Komponen- komponen pada PLTS *hybrid* adalah sebagai berikut :

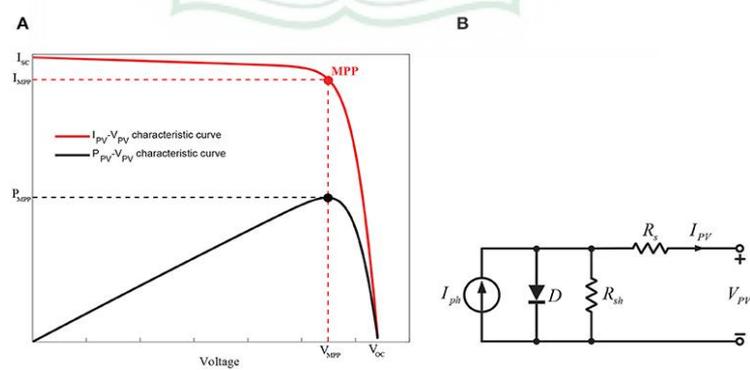
2.2.1 Photovoltaic (modul surya)

Photovoltaic atau disebut juga dengan modul surya merupakan bahan semikonduktor yang berfungsi untuk mengubah sinar matahari secara langsung menjadi energi listrik. Perubahan sinar matahari menjadi energi listrik ini disebut

efek *photovoltaic*. Kinerja *photovoltaic* sendiri sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari karena semakin tinggi intensitas cahaya matahari maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan oleh *photovoltaic*.

Photovoltaic mempunyai kurva karakteristik V-I, dimana di dalam kurva karakteristik tersebut terdapat titik istimewa yang biasa disebut titik *MPP* (*Maximum Power Point*). Pada titik tersebut *photovoltaic* berada pada keadaan optimal, baik dari tegangan dan arus yang dihasilkan. Ketika tegangan dan arus yang dihasilkan maksimal maka akan mendapatkan keluaran daya yang maksimal. Titik *MPP* ini letaknya tidak diketahui, namun dapat dicari dengan algoritma penjejak yang biasa disebut algoritma *MPPT*. Algoritma *MPPT* bekerja untuk mencari titik optimum dari *photovoltaic* dan berusaha mempertahankannya pada keadaan optimum.

Karakteristik Array PV yaitu dalam hal menganalisis daya keluaran PV sehubungan dengan tegangan keluarannya untuk panel PV tertentu di bawah berbagai penyinaran matahari atau kondisi suhu, ada titik unik di mana daya maksimum dapat dicapai, yaitu titik daya maksimum (*MPP*) (Subudhi dan Pradhan, 2013). *MPP* ini juga dapat diidentifikasi dengan mempertimbangkan kurva karakteristik $I_{PV}-V_{PV}$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1A. Terlepas dari pendekatan, $P_{PV}-V_{PV}$ atau $I_{PV}-V_{PV}$, pelacakan variasi gradien I_{PV} atau V_{PV} selalu menunjukkan *MPP* dari panel PV.



Gambar 2..1. a) kurva karakteristik PV, b) model ekuivalen PV.

Sebuah sumber PV termasuk karakteristik $I_{PV}-V_{PV}$ tegangan-arus non-linier seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1A dapat dimodelkan oleh sumber arus, dioda tunggal dan resistor yang dihubungkan secara seri dan paralel yang

ditunjukkan pada Gambar 1B dan arus keluaran dapat dihitung menggunakan Kirchoff's hukum yang berlaku seperti pada Persamaan (1) (Huang et al., 2018; Norouzzadeh et al., 2019; Yousri et al., 2019; Zhu et al., 2019), di mana V_{PV} dan I_{PV} masing-masing adalah tegangan dan arus keluaran modul PV; I_{ph} dan I_{rs} masing-masing adalah arus yang dihasilkan foto dan arus saturasi gelap dioda; q adalah konstanta muatan dasar ($1,602 \times 10^{-19}C$); k adalah konstanta Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}J/oK$), n adalah faktor tak berdimensi; T adalah suhu operasi dalam Kelvin; R_s dan R_{sh} berturut-turut adalah hambatan seri dan paralel.

Dari Persamaan (1), penting untuk dicatat bahwa arus keluaran panel PV yang terhubung ke beban R sangat bergantung pada karakteristik tegangan arus beban ini. Selain itu, Persamaan (1) menunjukkan bahwa titik operasi panel PV berubah tidak hanya dengan beban, tetapi juga dengan penyinaran matahari dan suhu lingkungan. Akibatnya, untuk setiap penyinaran matahari dan kondisi suhu, perlu untuk melacak MPP yang sesuai. Gambar 1 mengilustrasikan keberadaan MPP pada karakteristik P_{PV} - V_{PV} sumber PV, dengan variabel penyinaran matahari dan temperatur sesuai Persamaan (1).

Berikut ini adalah jenis-jenis modul surya yang biasa digunakan :

a. *Mono-crystalline*

Modul surya jenis *mono-crystalline* ini terbuat dari silikon kristal tunggal. Dapat ditemukan secara alami, namun sangat jarang atau juga dapat tumbuh dibuat di laboratorium. Proses ini dinamakan dengan *recrystallising*, sehingga pembuatan dan harga dari modul jenis ini sangat mahal. Panel dari modul *mono-crystalline* ini lebih halus dibandingkan dengan jenis *poly-crystalline*.

Pada panel *mono-crystalline* memiliki efisiensi sebesar 15% pada suhu $25^{\circ}C$ dan menurun menjadi 12–15 % pada suhu $50^{\circ}C$. contoh dari modul *mono-crystalline* adalah *CanadianSolar All-Black CS6K-290MS*, *CanadianSolar MaxPower CS6U-340M* dan lainnya. Kelemahan dari jenis *mono-crystalline* yakni tidak berfungsi dengan baik ditempat yang intensitas cahaya matahari yang kurang, dan efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.

b. *Poly-crystalline*

Modul surya jenis *poly-crystalline* adalah jenis modul surya yang terbuat dari kristal silion *block-cast*. Elektron yang ada akan terjebak dalam batas butir kristal individu dalam panel *poly-crystalline*, hal ini mnyebabkan efisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan *mono-crystalline*. Efisiensi yang dimiliki oleh modul jenis ini hanya berkisar 13,5% pada suhu 25⁰C dan dapat mengalami penurunan hingga 15-25% pada suhu 50⁰C.

Contoh dari modul surya *poly-crystalline* adalah *Canadian Solar Standard CS6P-260*. Tipe ini yang digunakan pada perancangan pembangkit listrik tenaga surya berbasis *hybrid* dikarenakan jenis ini masih dapat menghasilkan daya listrik meskipun cuaca berawan maupun mendung.



Gambar 2.2. Modul *photovoltaic*.

2.2.2 Inverter *hybrid*

Photovoltaic yang menangkap sinar matahari dan mengkonversi menjadi listrik dc, inventer lalu mengubahnya ke daya listrik AC yang digunakan peralatan listrik. Daya listrik tersebut dikirim ke panel didtribusi, lalu dikirim ke beban yang terpasang. Ketika ada kelebihan daya yang dihasilkan panel surya, inverter mengirimnya ke baterai untuk disimpan. Saat baterai sudah terisi peuh, kelebihan daya akan dikirim ke jaringan.

Apabila *photovoltaic* menghasilkan lebih sedikit dari daya yang di perlukan, misalnya malam hari, listrik akan diambil dari baterai, di konversi dan dikirim ke panel distribusi. Jika daya dari baterai tidak mencukupi atau daya di baterai mau digunakan di waktu lain, maka listrik akan diambil dari jaringan sumber utama yaitu PLN. Saat pemadaman listrik dari PLN listrik masih akan dapat di pasok ke panel distribusi namun terbatas sesuai kapasitas baterai yang terpasang.



Gambar 2.3. Inverter hybrid.

2.2.3 Baterai

Baterai merupakan sebuah peralatan yang dapat mengubah energi listrik. Baterai adalah alat yang terdiri dari 2 atau lebih sel elektrokimia yang mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik. Tiap sel memiliki kutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda). Kutub yang bertanda positif menandakan bahwa memiliki energi potensial yang lebih tinggi daripada kutub bertanda negatif. Kutub bertanda negatif adalah sumber elektron yang ketika disambungkan dengan rangkaian eksternal akan mengalir dan memberikan energi ke peralatan eksternal. Ketika baterai dihubungkan dengan rangkaian eksternal, elektrolit dapat berpindah sebagai ion didalamnya, sehingga terjadi reaksi kimia pada kedua kutubnya. Perpindahan ion dalam baterai akan mengalirkan arus listrik keluar dari baterai sehingga menghasilkan kerja. Meski sebutan baterai secara teknis adalah alat dengan beberapa sel, sel tunggal juga umumnya disebut baterai.

Baterai untuk *solar cell* sendiri mempunyai dua tujuan penting dalam sistem *photovoltaic*; pertama adalah untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika

daya tidak disediakan oleh *array* panel-panel surya, kedua adalah untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel-panel setiap kali daya itu melebihi beban, baterai yang digunakan adalah baterai 12 V, 100 Ah bisa dilihat pada gambar 2.4 dibawah.



Gambar 2.4. Baterai 12 V, 100 Ah.

2.2.4 *Grid*

Grid atau jaringan listrik adalah jaringan yang saling terhubung untuk menyalurkan tenaga listrik dari produsen ke konsumen. Jaringan listrik bervariasi dalam ukuran dan dapat mencakup seluruh negara atau benua, terdiri dari :

- a. Pembangkit listrik : sering terletak di dekat energi dan jauh dari daerah padat penduduk
- b. Gardu listrik untuk menaikkan atau menurunkan tegangan
- c. Transmisi tenaga listrik untuk membawa daya jarak jauh
- d. Distribusi tenaga listrik ke pelanggan individu, di mana tegangan diturunkan lagi ke tegangan layanan yang diperlukan.

Grid hampir selalu sinkron, artinya semua area distribusi beroperasi dengan frekuensi arus bolak-balik (AC) tiga fasa yang disinkronkan (sehingga perubahan tegangan terjadi pada waktu yang hampir bersamaan). Hal ini memungkinkan transmisi daya AC ke seluruh area, menghubungkan sejumlah besar generator listrik dan konsumen dan berpotensi memungkinkan pasar listrik yang lebih efisien dan pembangkitan yang berlebihan.

Jaringan listrik dapat rentan terhadap gangguan atau serangan berbahaya; sehingga perlu adanya pengamanan jaringan listrik . Juga ketika jaringan listrik memodernisasi dan memperkenalkan teknologi komputer, ancaman dunia maya mulai menjadi risiko keamanan. Perhatian khusus berkaitan dengan sistem komputer yang lebih kompleks yang diperlukan untuk mengelola grid.



Gambar 2.5. Grid (jaringan listrik).

2.2.5 Beban (load)

Sebuah beban listrik merupakan komponen listrik atau bagian dari rangkaian yang mengkonsumsi (aktif) tenaga listrik, seperti peralatan listrik dan lampu di dalam rumah. Istilah ini juga dapat merujuk pada daya yang dikonsumsi oleh sirkuit. Ini bertentangan dengan sumber daya, seperti baterai atau generator, yang menghasilkan daya.

Istilah ini digunakan secara lebih luas dalam elektronik untuk perangkat yang terhubung ke sumber sinyal, apakah itu mengkonsumsi daya atau tidak. Jika suatu rangkaian listrik memiliki port keluaran, sepasang terminal yang menghasilkan sinyal listrik, rangkaian yang terhubung ke terminal ini (atau impedansi masukannya) adalah beban. Misalnya, jika pemutar CD dihubungkan ke amplifier, pemutar CD adalah sumbernya dan penguatnya adalah bebannya.

Beban mempengaruhi kinerja rangkaian sehubungan dengan tegangan atau arus keluaran, seperti pada sensor, sumber tegangan, dan amplifier. Stopkontak listrik memberikan contoh mudah: mereka memasok daya pada tegangan konstan,

dengan peralatan listrik yang terhubung ke sirkuit daya secara kolektif membentuk beban. Saat peralatan berdaya tinggi menyala, impedansi beban secara dramatis akan berkurang.

Jika impedansi beban tidak jauh lebih tinggi dari impedansi catu daya, tegangan akan turun. Di lingkungan rumah tangga, menyalakan alat pemanas dapat menyebabkan lampu pijar meredup secara nyata.



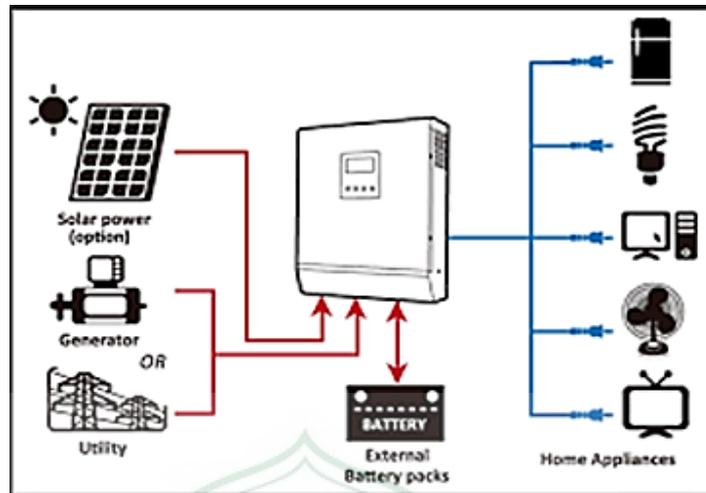
Gambar 2.6. Lampu sebagai beban (load).

2.3 Prinsip Kerja PLTS Sistem *Hybrid*

Definisi Sistem PLTS dengan teknologi *hybrid* adalah dimana sumber listrik yang dihasilkan oleh Panel surya dapat digabungkan dengan sumber listrik dari PLN. Dengan demikian secara berganti kedua sistem ini akan saling menyokong ketika terjadi kekurangan daya listrik atau pemadaman.

Dalam sistem ini, sumber energi utama adalah dari panel surya yang dikonversikan dan ditampung ke baterai, dan ketika pemakaian listriknya melebihi dari kapasitas baterainya, maka secara otomatis listrik dari PLN akan masuk.

Prinsip kerja dari PLTS *hybrid* dapat dilihat pada gambar 2.7 berikut ini.



Gambar 2.7. Prinsip kerja sistem PLTS hybrid.

PLTS *hybrid* menggabungkan beberapa sumber, yang digunakan yaitu *PV* (*Photo Voltaic*) dan *Grid* dari PLN. Pada inverter terdapat *MPPT* untuk mengatur keluaran pada *PV*, setelah itu dari inverter akan menyuplai beban.

Baterai akan diisi oleh *PV* dan *Grid*, guna disaat terjadinya pemadaman listrik dan dimana tidak ada cahaya matahari maka baterai akan menyuplai ke beban.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di lantai 5 Laboratorium Teknik Elektro Fakultas Teknik Kampus 3 Bukittinggi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

3.2 Data Penelitian

3.2.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah menganalisa karakteristik sistem PLTS *hybrid*, dimana penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan konsep pemanfaatan energi terbarukan. Dari hal tersebut maka penelitian ini dikategorikan sebagai kuantitatif eksperimen. Percobaan ini disebut percobaan kuantitatif eksperimen dikarenakan dilakukan secara terencana, sistematis, dan terkontrol dengan ketat, baik dalam bentuk desain fungsional maupun desain faktorial.

3.2.2 Sumber Data

Data yang digunakan untuk menganalisa diperoleh dari pengujian sesuai skenario yang telah ditetapkan sebelumnya. Pengujian dilakukan pada kondisi yang berbeda-beda diantaranya, sistem terhubung ke jaringan PLN dengan dan tanpa baterai. Masing-masing kondisi tersebut diberikan beban 200 W. Kemudian, data tersebut di uji kembali di berbagai kondisi. Data yang digunakan merupakan hasil pembacaan dari display inverter yang terpasang, dan pengukuran iradian menggunakan *Solar Power Meter*.

3.3. Metode Analisa

Sistem PLTS *hybrid* dioperasikan dengan sumber jala-jala PLN tersambung atau tidak tersambung. Sistem ini juga akan mengisi baterai, dimana energi untuk pengisian tersebut diperoleh dari panel surya. Kondisi dimana tidak ada cahaya matahari, daya akan dipasok dari baterai Ketika baterai tidak mampu memasok

daya ke beban, maka daya ke beban akan dipasok dari jala-jala PLN, namun sistem PLTS hybrid ini tidak dapat memasok daya ke jala-jala PLN.

Analisa akan dilakukan pada pola operasi sebagai berikut :

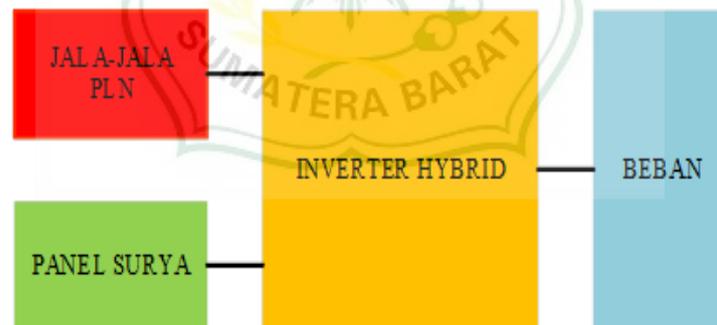
- a. Suplai beban dengan sistem terhubung ke jala-jala PLN (Grid), tanpa menggunakan baterai.
- b. Suplai beban dengan sistem terhubung ke jala-jala PLN (Grid), dengan menggunakan baterai.

Dalam pengujian karakteristik operasi sistem PLTS *hybrid* (PV dan Grid) parameter yang diukur adalah parameter dari keluaran panel surya, masukan dari jala-jala PLN, keluaran ke beban, pengisian atau pembebanan baterai.

Parameter tersebut adalah arus, tegangan, daya, dan tambahan radiasi cahaya matahari khusus untuk panel surya.

Diagram percobaan untuk kondisi diatas seperti terlihat pada diagram gambar skema pengujian pembebanan berikut :

1. On-Grid tanpa baterai.



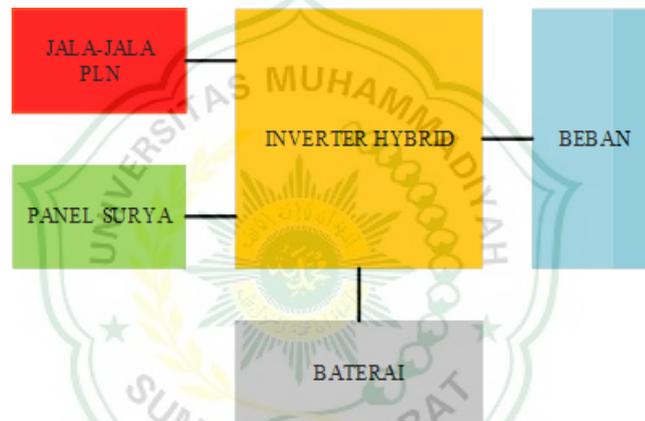
Gambar 3.1. Skema pengujian pembebanan (PV, Grid) tanpa baterai.

Pada kondisi ini hasil yang akan diukur yaitu:

Tabel 3.1. Karakteristik pengukuran pada kondisi On-Grid tanpa baterai dari jam 08.00 WIB- 17.00 WIB.

V_{pv} ?	V_{ac} ?	V_{grid} ?
I_{pv} ?	I_{ac} ?	I_{grid} ?
P_{pv} ?	P_{ac} ?	P_{grid} ?
$\cos \rho_{grid}$?	$\cos \rho_{load}$?	Efisiensi kinerja hybrid inverter ?

2. ON-Grid dengan baterai



Gambar 3.2. Skema pengujian pembebanan (PV, Grid) dengan baterai.

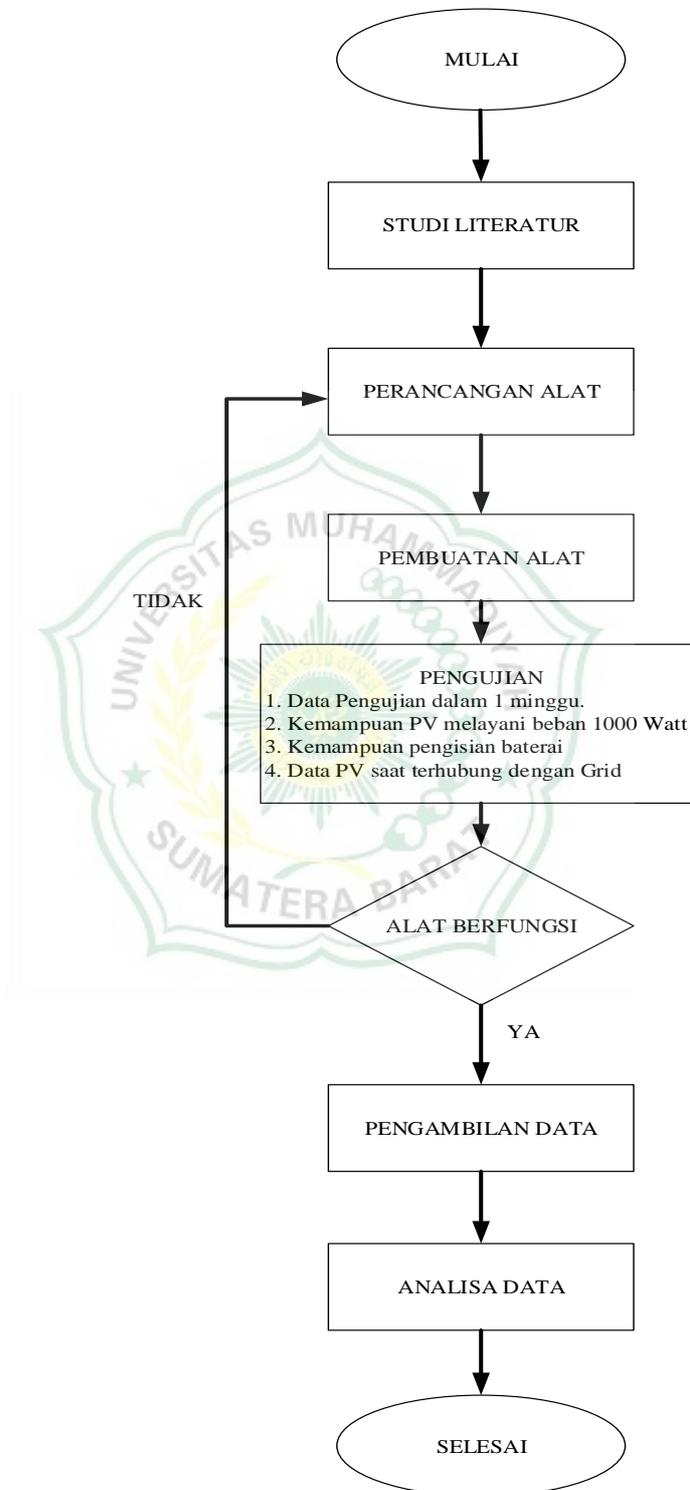
Pada kondisi ini hasil yang akan diukur yaitu:

Tabel 3.2. Karakteristik pengukuran kondisi On-Grid dengan baterai dari jam 08.00 WIB s/d 17.00 WIB, kondisi 100%

V_{pv} ?	V_{ac} ?	V_{grid} ?	$V_{baterai}$?
I_{pv} ?	I_{ac} ?	I_{grid} ?	$I_{baterai}$?
P_{pv} ?	P_{ac} ?	P_{grid} ?	P_{load} ?
$\cos \rho_{load}$?	$\cos \rho_{grid}$?	Efisiensi kinerja hybrid inverter ?	

3.4. Bagan Alir Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan sesuai diagram alir metodologi penelitian yang terlihat pada gambar 3.5. berikut :



Gambar 3.3. Diagram alir metodologi penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

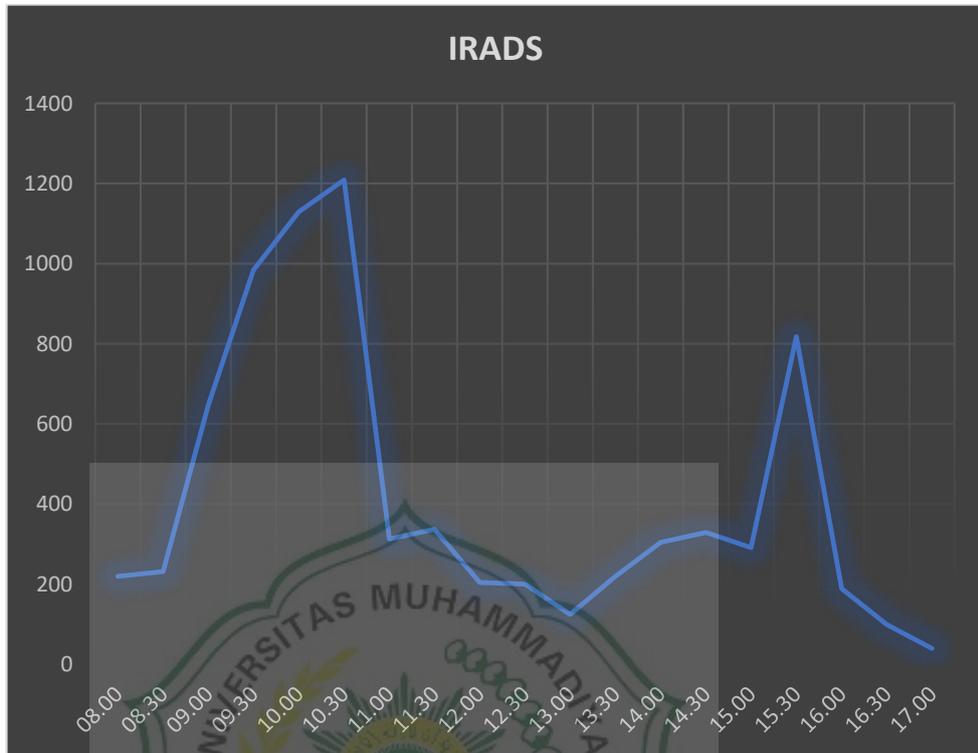
4.1.1 Hasil pengambilan data pada kondisi ON-Grid menggunakan baterai.

a. Hasil pengambilan data tanggal 18 Januari 2022, jam 08.00 s/d 17.00 WIB:

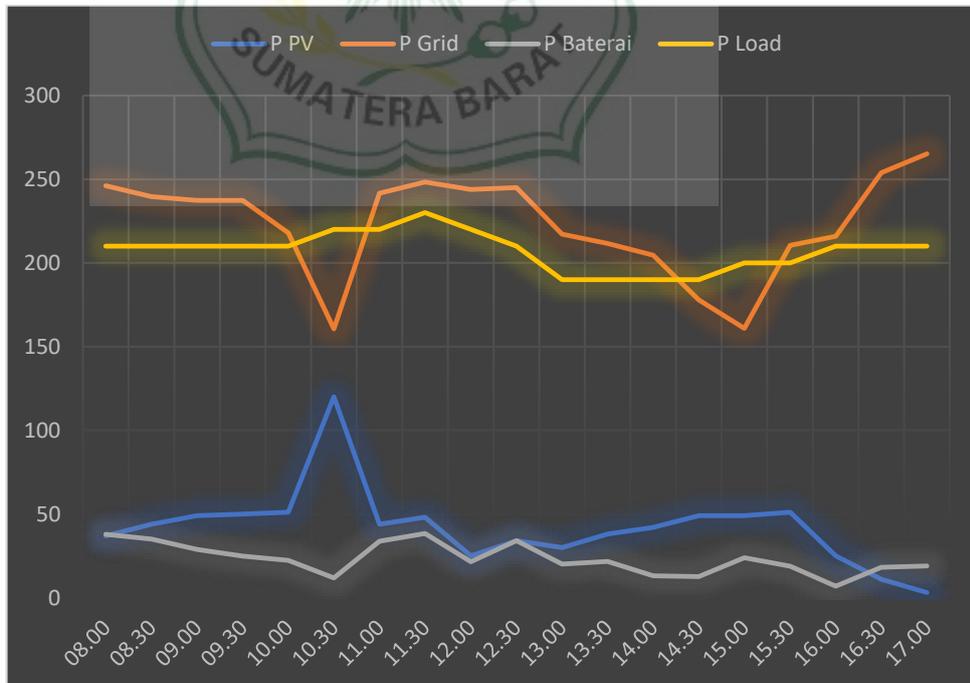
Tabel 4.1. Hasil pengambilan data tanggal 18 Januari 2022, jam 08.00 s/d 17.00 WIB.

Iradis	PV		Grid			Baterai		Load		
	V	P	V	I	cos ϕ	V	I	V	P	cos ϕ
219	52	37	222	1,12	0,99	28,3	1,34	222	210	1
231	54	44	222	1,09	0,99	28,3	1,24	222	210	1
648	58	49	222	1,08	0,99	28,3	1,02	222	210	1
984	59,2	50	222	1,08	0,99	28,3	0,88	222	210	1
1129	59,7	51	221	1,16	0,85	28,3	0,79	221	210	1
1209	52,7	120	223	1	0,72	28	0,42	223	220	1
312	45,7	44	224	1,09	0,99	28,3	1,19	225	220	1
337	48,8	48	226	1,11	0,99	28,4	1,35	226	230	1
204	52,7	25	222	1,11	0,99	28,3	0,76	222	220	1
200	52,6	34	223	1,11	0,99	28,6	1,19	223	210	1
124	47	30	215	1,02	0,99	28,3	0,71	215	190	1
219	48,7	38	216	1	0,98	27,4	0,79	216	190	1
304	56,4	42	217	1,15	0,82	27,2	0,48	217	190	1
329	45,5	49	214	1,08	0,77	26,9	0,47	214	190	1
291	49,2	49	218	1,04	0,71	26,6	0,9	218	200	1
818	55,8	51	222	1,2	0,79	27,2	0,69	222	200	1
189	48,2	25	227	1,16	0,82	27,4	0,25	227	210	1
99	36,2	11	227	1,13	0,99	28,3	0,64	227	210	1
39	33,9	3	227	1,18	0,99	28,3	0,67	227	210	1

Berikut kurva penggunaan daya pada hybrid inverter tanggal 18 Januari 2022:



Gambar 4.1. Kurva Radiasi cahaya tanggal 18 Januari 2022.



Gambar 4.2. Kurva pengukuran penggunaan daya 18 Januari 2022.

Efisiensi kinerja hybrid inverter tanggal 18 Januari 2022:

Tabel 4.2. Efisiensi kinerja hybrid inverter tanggal 18 Januari 2022.

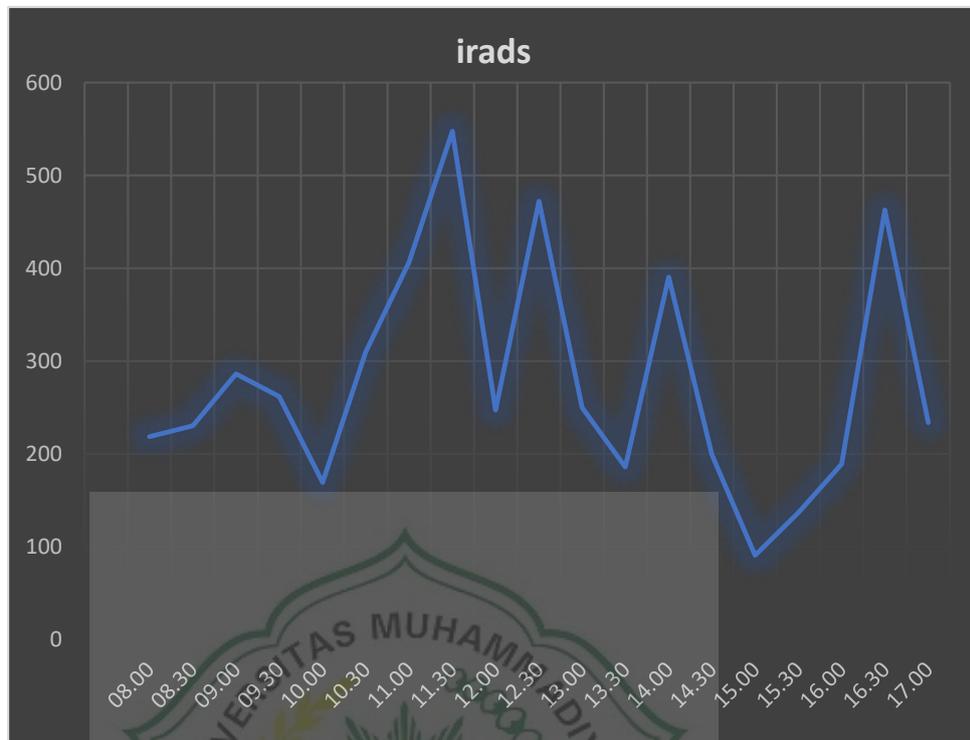
Jam	P (Watt)				η
	PV	Grid	Baterai	Load	
08.00	37	246,154	37,922	210	65%
08.30	44	239,56	35,092	210	66%
09.00	49	237,362	28,866	210	67%
09.30	50	237,362	24,904	210	67%
10.00	51	217,906	22,357	210	72%
10.30	120	160,56	11,76	220	75%
11.00	44	241,718	33,677	220	69%
11.30	48	248,351	38,34	230	69%
12.00	25	243,956	21,508	220	76%
12.30	34	245,055	34,034	210	67%
13.00	30	217,107	20,093	190	71%
13.30	38	211,68	21,646	190	70%
14.00	42	204,631	13,056	190	73%
14.30	49	177,962	12,643	190	79%
15.00	49	160,971	23,94	200	86%
15.30	51	210,456	18,768	200	71%
16.00	25	215,922	6,85	210	85%
16.30	11	253,945	18,112	210	74%
17.00	3	265,181	18,961	210	73%

b. Hasil pengambilan data tanggal 19 Januari 2022, jam 08.00 s/d 17.00 WIB:

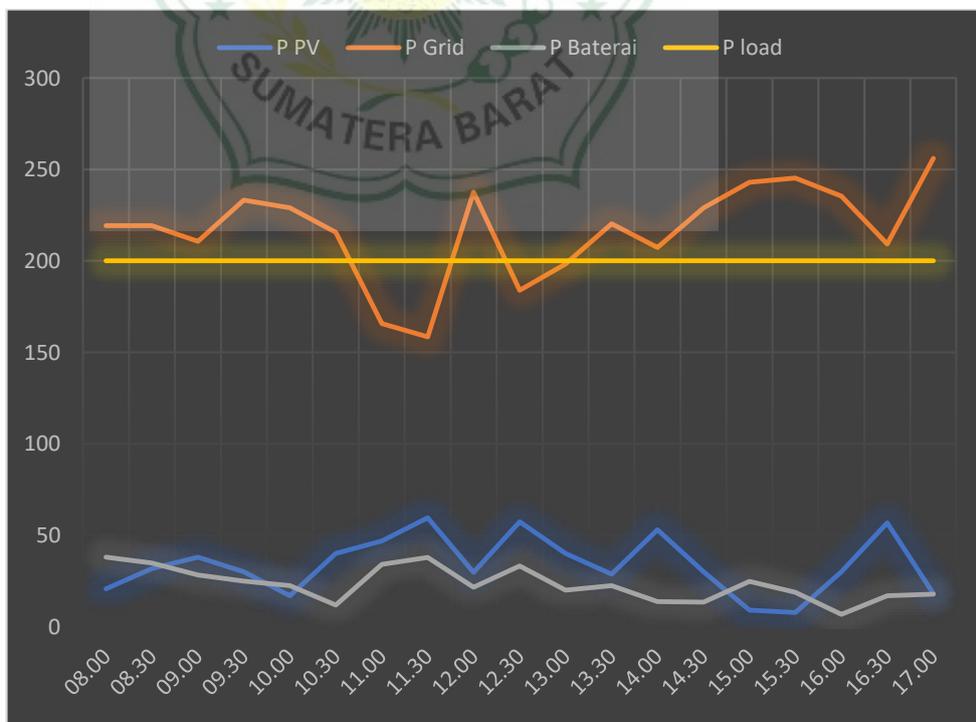
Tabel 4.3. Hasil pengambilan data tanggal 19 Januari 2022, jam 08.00 s/d 17.00 WIB.

Jam	I rads (w/m ²)	PV		Grid			Baterai		Load		
		V	P	V	I	cos φ	V	I	V	P	cos φ
08.00	218,7	48	20,64	215	1,02	0,98	28,3	1,34	215	200	0,99
08.30	230,3	52	31,72	215	1,02	0,98	28	1,24	215	200	1
09.00	286,3	50	38	215	0,98	0,98	27,6	1,02	215	200	1
09.30	262	50	30	216	1,08	0,98	28,3	0,88	216	200	1
10.00	169,4	43	16,77	216	1,06	0,98	28,3	0,79	216	200	0,99
10.30	310	50	40	220	0,98	0,98	28	0,42	220	200	1
11.00	406,4	52	46,8	218	0,76	0,98	27,4	1,24	218	200	1
11.30	547,8	54	59,4	220	0,72	0,99	28	1,35	220	200	1
12.00	247,4	52	29,64	220	1,08	0,98	28,3	0,76	220	200	1
12.30	472,4	53	57,24	219	0,84	0,88	27,8	1,19	219	200	1
13.00	250	54	39,96	218	0,91	0,89	28,1	0,71	218	200	1
13.30	185,8	53	28,62	216	1,02	0,98	28,3	0,79	216	200	1
14.00	390,5	54	52,92	216	0,96	0,98	28,3	0,48	216	200	0,98
14.30	199,2	49	29,89	216	1,06	0,99	28,3	0,47	216	200	1
15.00	90,8	45	9	217	1,12	0,98	27,4	0,9	217	200	1
15.30	136,8	35	7,7	219	1,12	0,98	27,1	0,69	219	200	1
16.00	189,2	49	29,89	218	1,08	0,98	26,8	0,25	218	200	1
16.30	462,8	53	56,71	218	0,96	0,98	26,2	0,64	218	200	1
17.00	233,7	48	18	217	1,18	0,98	26,4	0,67	217	200	1

Berikut kurva penggunaan daya pada hybrid inverter tanggal 19 Januari 2022:



Gambar 4.3. Kurva Radiasi cahaya tanggal 19 Januari 2022.



Gambar 4.4. Kurva pengukuran penggunaan daya 19 Januari 2022.

Efisiensi kinerja hybrid inverter tanggal 19 Januari 2022:

Tabel 4.4. Efisiensi kinerja hybrid inverter tanggal 19 Januari 2022.

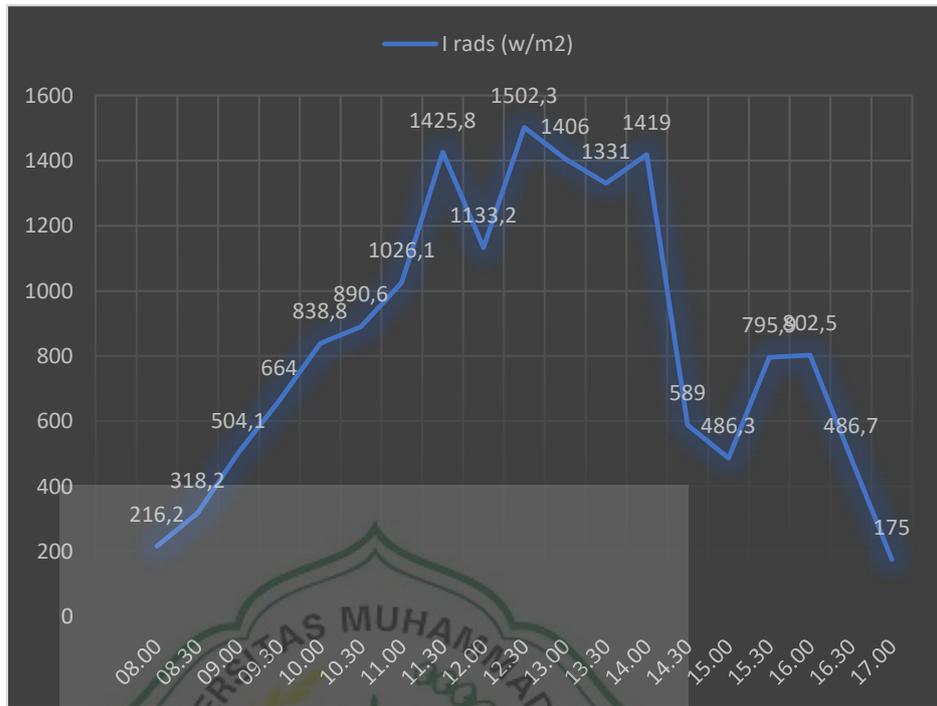
Jam	I rads (w/m ²)	P (Watt)				η
		PV	Grid	Baterai	Load	
08.00	218,7	20,64	219,3	37,92	200,00	72%
08.30	230,3	31,72	219,3	34,72	200,00	70%
09.00	286,3	38	210,7	28,15	200,00	72%
09.30	262	30	233,28	24,90	200,00	69%
10.00	169,4	16,77	228,96	22,36	200,00	75%
10.30	310	40	215,6	11,76	200,00	75%
11.00	406,4	46,8	165,68	33,98	200,00	81%
11.30	547,8	59,4	158,4	37,80	200,00	78%
12.00	247,4	29,64	237,6	21,51	200,00	69%
12.30	472,4	57,24	183,96	33,08	200,00	73%
13.00	250	39,96	198,38	19,95	200,00	77%
13.30	185,8	28,62	220,32	22,36	200,00	74%
14.00	390,5	52,92	207,36	13,58	200,00	73%
14.30	199,2	29,89	228,96	13,30	200,00	73%
15.00	90,8	9	243,04	24,66	200,00	72%
15.30	136,8	7,7	245,28	18,70	200,00	74%
16.00	189,2	29,89	235,44	6,70	200,00	74%
16.30	462,8	56,71	209,28	16,77	200,00	71%
17.00	233,7	18	256,06	17,69	200,00	69%

c. Hasil pengambilan data tanggal 20 Januari 2022, jam 08.00 s/d 17.00 WIB:

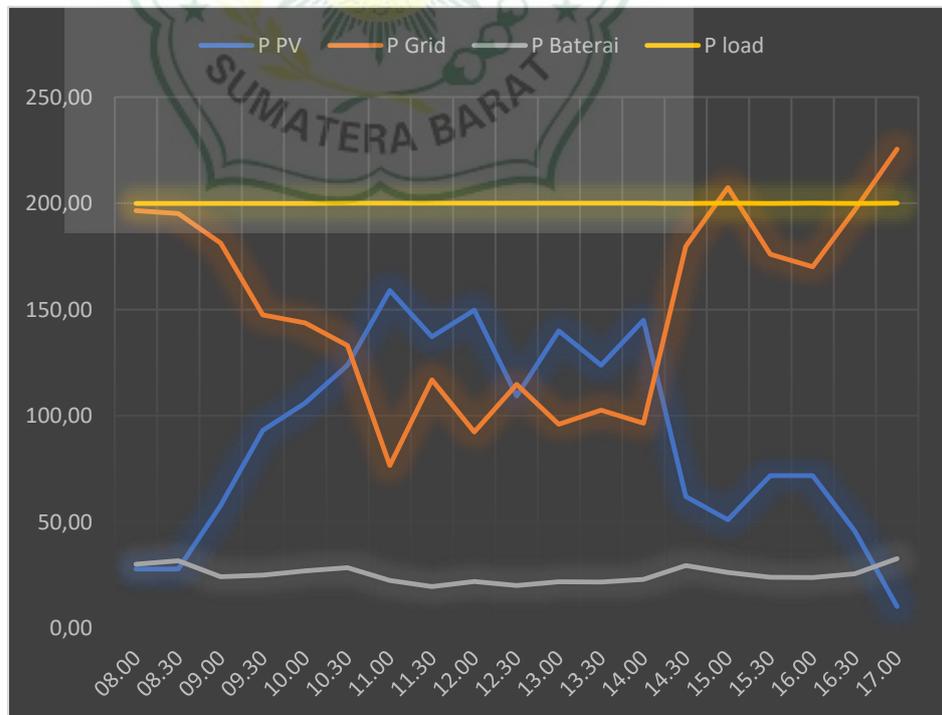
Tabel 4.5. Hasil pengambilan data tanggal 20 Januari 2022.

Jam	I rads (w/m ²)	PV		Grid			Baterai		Load		
		V	P	V	I	cos φ	V	I	V	P	cos φ
08.00	216,2	48	27,84	218	0,92	0,98	25,1	1,2	218	200	1
08.30	318,2	48	27,84	219	0,9	0,99	25,2	1,26	219	200	1
09.00	504,1	53	57,77	218	0,84	0,99	25,2	0,96	218	200	1
09.30	664	52	93,08	219	0,68	0,99	25,4	0,98	219	200	1
10.00	838,8	53	106,00	220	0,66	0,99	26,4	1,02	220	200	1
10.30	890,6	52	123,76	224	0,6	0,99	25,4	1,12	224	200	1
11.00	1026,1	53	159,00	217	0,36	0,98	25,5	0,88	217	200	1
11.30	1425,8	51	137,19	213	0,56	0,98	26,1	0,75	213	200	1
12.00	1133,2	52	149,76	214	0,44	0,98	26,1	0,84	214	200	1
12.30	1502,3	52	109,20	209	0,56	0,98	26,4	0,76	209	200	1
13.00	1406	52	139,88	213	0,46	0,98	26,6	0,82	213	200	1
13.30	1331	52	123,76	216	0,48	0,99	25,2	0,86	216	200	1
14.00	1419	50	145,00	214	0,46	0,98	27,3	0,84	214	200	1
14.30	589	52	61,88	220	0,86	0,95	27,3	1,08	220	200	1
15.00	486,3	51	51,00	216	0,98	0,98	26,7	0,98	216	200	1
15.30	795,9	52	71,76	219	0,82	0,98	27,2	0,88	219	200	1
16.00	802,5	52	71,76	217	0,8	0,98	26,8	0,89	217	200	1
16.30	486,7	52	45,76	207	0,97	0,98	26,6	0,96	207	200	1
17.00	175	35	10,15	213	1,08	0,98	27,3	1,2	213	200	1

Berikut kurva penggunaan daya pada hybrid inverter tanggal 20 Januari 2022:



Gambar 4.5. Kurva Radiasi cahaya tanggal 20 Januari 2022.



Gambar 4.6. Kurva pengukuran penggunaan daya 20 Januari 2022.

Efisiensi kinerja hybrid inverter tanggal 20 Januari 2022:

Tabel 4.6. Efisiensi kinerja hybrid inverter tanggal 20 Januari 2022.

Jam	P (Watt)				η
	PV	Grid	Baterai	Load	
08.00	27,84	196,55	30,12	200	79%
08.30	27,84	195,13	31,75	200	78%
09.00	57,77	181,29	24,19	200	76%
09.30	93,08	147,43	24,89	200	75%
10.00	106,00	143,75	26,93	200	72%
10.30	123,76	133,06	28,45	200	70%
11.00	159,00	76,56	22,44	200	78%
11.30	137,19	116,89	19,58	200	73%
12.00	149,76	92,28	21,92	200	76%
12.30	109,20	114,70	20,06	200	82%
13.00	139,88	96,02	21,81	200	78%
13.30	123,76	102,64	21,67	200	81%
14.00	145,00	96,47	22,93	200	76%
14.30	61,88	179,74	29,48	200	74%
15.00	51,00	207,45	26,17	200	70%
15.30	71,76	175,99	23,94	200	74%
16.00	71,76	170,13	23,85	200	75%
16.30	45,76	196,77	25,54	200	75%
17.00	10,15	225,44	32,76	200	75%

4.1.2. Hasil pengambilan data pada kondisi On-Grid tanpa baterai.

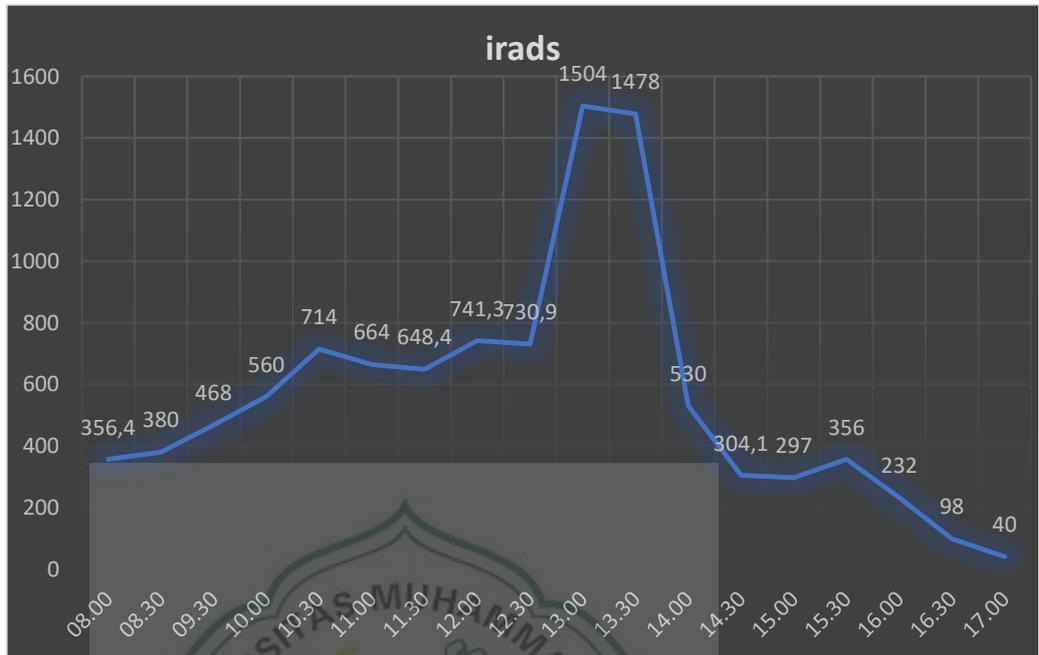
a. Hasil pengambilan data kondisi On-Grid tanpa baterai tanggal 22

Januari 2022, jam 08.00 s/d 17.00 WIB:

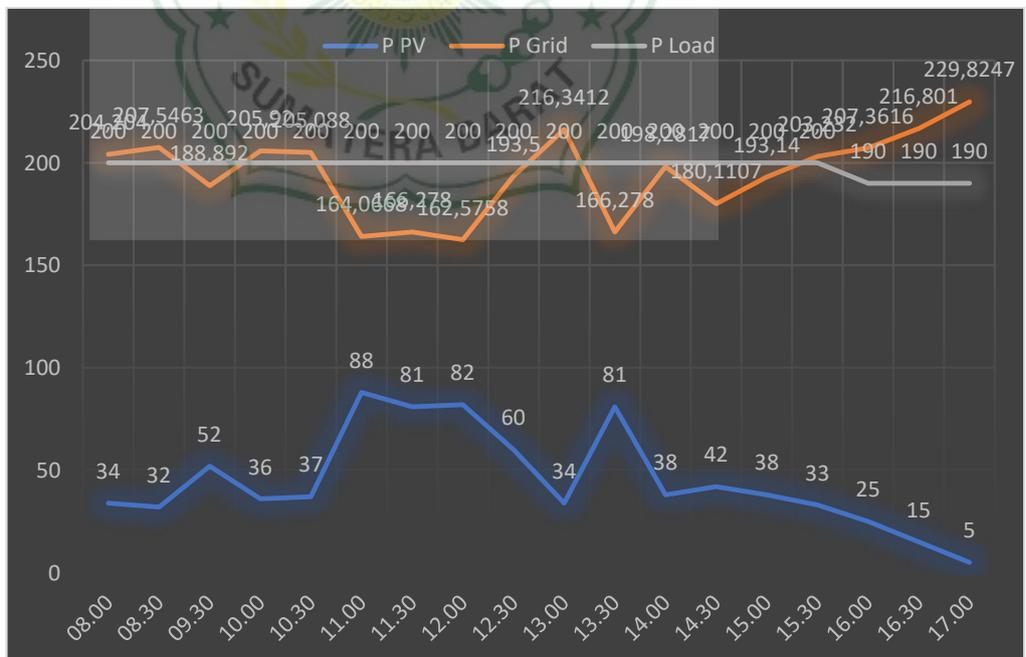
Tabel 4.7. Hasil pengambilan data tanggal 22 Januari 2022

Iradis (w/m ²)	PV		Grid			Load		
	V	P	V	I	cos ϕ	V	P	cos ϕ
356,4	36,4	34	220	1,19	0,78	219	200	1
380	54,2	32	219	1,17	0,81	219	200	1
468	60,4	52	220	1,06	0,81	220	200	1
560	60	36	220	1,17	0,8	220	200	1
714	59,5	37	221	1,16	0,8	221	200	1
664	52,8	88	218	1,06	0,71	218	200	1
648,4	46,8	81	222	1,07	0,7	222	200	1
741,3	55,4	82	214	1,07	0,71	214	200	1
730,9	55,2	60	215	1,2	0,75	214	200	1
1504	44,6	34	206	1,18	0,89	208	200	1
1478	46,8	81	222	1,07	0,7	222	200	1
530	56	38	213	1,07	0,87	213	200	1
304,1	61,8	42	207	1,13	0,77	207	200	1
297	61,3	38	222	1,16	0,75	222	200	1
356	54,3	33	219	1,16	0,8	219	200	1
232	44,6	25	218	1,16	0,82	218	190	1
98	38,2	15	218	1,17	0,85	218	190	1
40	36,2	5	217	1,19	0,89	217	190	1

Berikut kurva penggunaan daya kondisi On-Grid tanpa baterai tanggal 22 Januari 2022:



Gambar 4.7. Kurva Pengukuran Radiasi Cahaya tanggal 22 Januari 2022.



Gambar 4.8. Kurva hasil pengukuran penggunaan daya tanggal 22 Januari 2022.

Efisiensi kinerja hybrid inverter kondisi On-Grid tanpa baterai tanggal 22 januari 2022:

Tabel 4.8. Efisiensi kinerja inverter tanggal 22 Januari 2022.

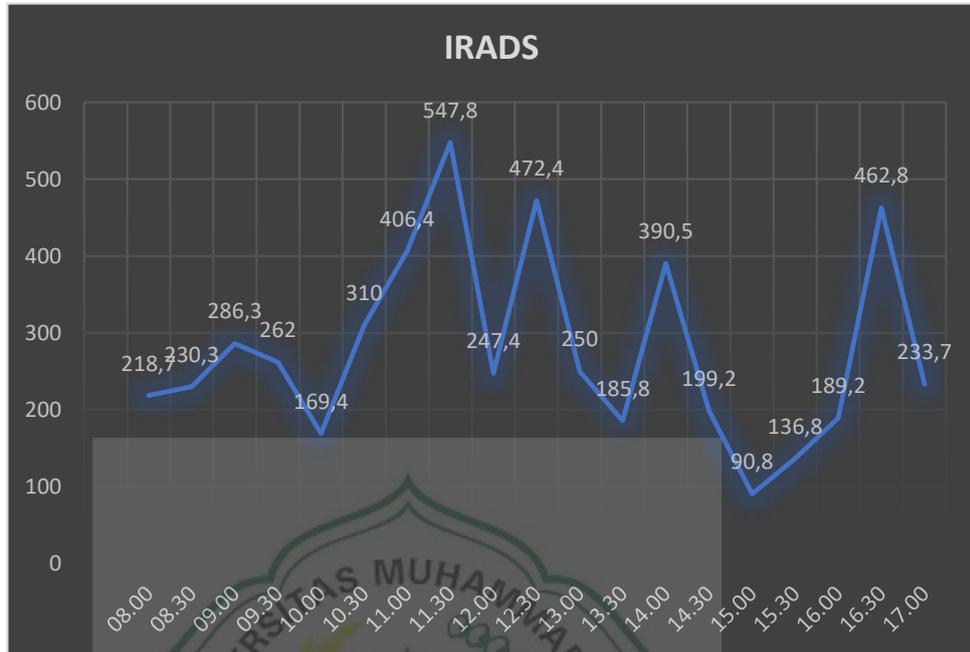
Jam	P (Watt)			η
	PV	Grid	Load	
08.00	34	204,204	200	84%
08.30	32	207,5463	200	83%
09.30	52	188,892	200	83%
10.00	36	205,92	200	83%
10.30	37	205,088	200	83%
11.00	88	164,0668	200	79%
11.30	81	166,278	200	81%
12.00	82	162,5758	200	82%
12.30	60	193,5	200	79%
13.00	34	216,3412	200	80%
13.30	81	166,278	200	81%
14.00	38	198,2817	200	85%
14.30	42	180,1107	200	90%
15.00	38	193,14	200	87%
15.30	33	203,232	200	85%
16.00	25	207,3616	190	82%
16.30	15	216,801	190	82%
17.00	5	229,8247	190	81%

- b. Hasil pengambilan data kondisi On-Grid tanpa baterai tanggal 23 Januari 2022, jam 08.00 s/d 17.00 WIB:

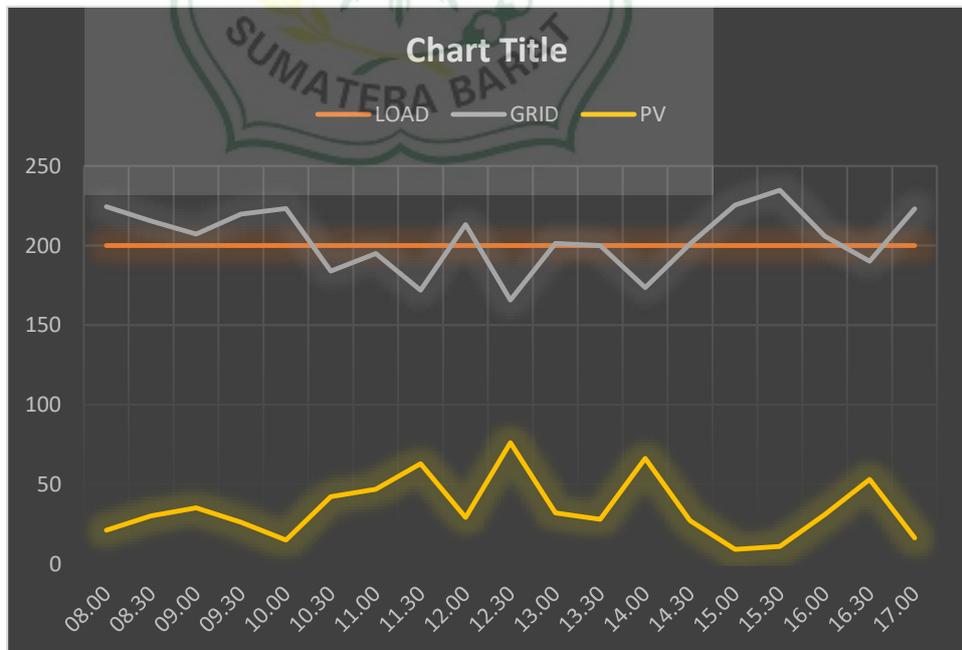
Tabel 4.9. Hasil pengambilan data tanggal 23 Januari 2022, jam 08.00 s/d 17.00 WIB.

Jam	I rads (w/m ²)	PV		Grid			Load		
		V	P	V	I	cos ϕ	V	P	cos ϕ
08.00	218,7	48	21,12	218	1,32	0,78	218	200	1
08.30	230,3	52	30,16	218	1,22	0,81	218	200	1
09.00	286,3	54	35,1	215	1,19	0,81	215	200	1
09.30	262	52	26	217	1,25	0,81	217	200	1
10.00	169,4	48	14,88	217	1,27	0,81	217	200	1
10.30	310	62	42,16	216	0,86	0,99	216	200	1
11.00	406,4	52	46,8	214	0,93	0,98	214	200	1
11.30	547,8	61	62,83	214	0,82	0,98	214	200	1
12.00	247,4	50	29	215	1,24	0,8	215	200	1
12.30	472,4	64	76,16	214	0,79	0,98	214	200	1
13.00	250	56	31,92	220	1,22	0,75	220	200	1
13.30	185,8	48	27,84	218	1,09	0,85	218	200	1
14.00	390,5	63	66,15	217	0,92	0,87	217	200	1
14.30	199,2	52	27,04	217	1,13	0,82	217	200	1
15.00	90,8	43	9,03	215	1,07	0,98	215	200	1
15.30	136,8	39	10,92	220	1,16	0,92	220	200	1
16.00	189,2	50	31	220	1,2	0,78	220	200	1
16.30	462,8	61	53,07	218	0,89	0,98	218	200	1
17.00	233,7	52	16,12	219	1,04	0,98	219	200	1

Berikut kurva penggunaan daya kondisi On-Grid tanpa baterai tanggal 23 Januari 2022:



Gambar 4.9. Kurva Pengukuran Radiasi Cahaya tanggal 23 Januari 2022.



Gambar 4.10. Kurva hasil pengukuran penggunaan daya tanggal 23 Januari 2022.

Efisiensi kinerja hybrid inverter kondisi On-Grid tanpa baterai tanggal 23 januari 2022:

Tabel 4.10. Efisiensi kinerja hybrid inverter tanggal 23 Januari 2022.

Jam	P (Watt)			η
	Load	Grid	PV	
08.00	200	224,4528	21,12	81%
08.30	200	215,4276	30,16	81%
09.00	200	207,2385	35,1	83%
09.30	200	219,7125	26	81%
10.00	200	223,2279	14,88	84%
10.30	200	183,9024	42,16	88%
11.00	200	195,0396	46,8	83%
11.30	200	171,9704	62,83	85%
12.00	200	213,28	29	83%
12.30	200	165,6788	76,16	83%
13.00	200	201,3	31,92	86%
13.30	200	201,977	27,84	87%
14.00	200	173,6868	66,15	83%
14.30	200	201,0722	27,04	88%
15.00	200	225,449	9,03	85%
15.30	200	234,784	10,92	81%
16.00	200	205,92	31	84%
16.30	200	190,1396	53,07	82%
17.00	200	223,2048	16,12	84%

4.2 Pembahasan

Cara kerja sistem Hybrid energi matahari diubah ke tegangan DC oleh modul PV, kemudian dialirkan ke baterai dengan lebih dahulu melalui inverter Hybrid On-Grid. Inverter Hybrid On-Grid berfungsi untuk merubah tegangan DC ke tegangan AC, melakukan kontrol pengisian pada baterai, melakukan kontrol dari baterai ke jaringan listrik saat terjadi listrik PLN padam, serta melakukan sinkronisasi frekuensi, phase dan sinewave murni saat masuk jaringan PLN.

Berdasarkan tabel dan gambar diatas dapat disimpulkan bahwa daya yang digunakan pada saat kondisi On-Grid dengan baterai ialah penggunaan pada grid berkurang disaat meningkatnya irads dari PV, PV akan mengisi baterai terlebih dahulu sebelum dikirimkan ke load. Tegangan yang dihasilkan oleh inverter stabil.

Baterai yang terhubung ke inverter hybrid membantu meningkatkan produksi listrik dari panel surya yang menyerap radiasi matahari pada hari-hari cerah. Sistem semacam ini akan menyimpan energi pada hari-hari cerah dan menggunakan daya yang tersimpan ketika mendung.

Dari data yang diperoleh pada gambar 4.1. dapat dilihat pengukuran dari iradian dari jam 08.00 WIB s/d 17.00 WIB, iradian meningkat pada pukul 08.30 WIB s/d 10.30 WIB, dan turun secara drastis dari jam 10.30 WIB sampai jam 15.00 WIB dikarenakan kondisi mendung, pada pukul 15.00 WIB radiasi cahaya kembali naik sampai pukul 15.30 WIB.

Dari data yang diperoleh pada Gambar 4.2. dapat dilihat ketika iradian meningkat maka daya yang dihasilkan oleh PV akan meningkat, sedangkan penggunaan pada grid akan menurun, ketika baterai pada kondisi rendah maka baterai tidak lagi memasok load, kemudian grid akan membantu pengisian baterai. Penggunaan pada Grid lebih besar dikarenakan hasil dari PV yang kurang memadai yang mengakibatkan banyaknya konsumsi dari Grid, dan Grid juga ikut memasok untuk penggunaan pada inverter dan pengisian dari baterai. Pada saat hasil dari PV meningkat maka secara otomatis penggunaan dari Grid akan turun.

Table 4.11. Efisiensi kinerja hybrid inverter 18 Januari 2022.

Efisiensi kinerja hybrid inverter		
Rata-rata	Maksimal	Minimal
72%	86%	65%

Efisiensi kinerja hybrid inverter minimum pada 65% dengan kondisi Pload = 210 W, Ppv = 37 W, Pgrid = 246 W, dan Pbaterei = 37 W. Efisiensi kinerja hybrid inverter maximum pada 86% dengan kondisi Pload = 200 W, Ppv = 49 W, Pgrid = 161 W dan Pbaterei = 24 W.

Dari data yang diperoleh pada gambar 4.3. dapat dilihat hasil pengukuran iradian pada tanggal 19 Januari 2022 titik puncak iradian berada pada jam 11.30 WIB sebesar 547,8 w/m² dan titik radian terendah berada pada jam 15.00 WIB sebesar 90,8 w/m².

Dari data yang diperoleh pada Gambar 4.4. dapat dilihat ketika iradian meningkat maka daya yang dihasilkan oleh PV akan meningkat, sedangkan penggunaan pada grid akan menurun, ketika baterai pada kondisi rendah maka baterai tidak lagi memasok load, kemudian grid akan membantu pengisian baterai. Penggunaan pada Grid lebih besar dikarenakan hasil dari PV yang kurang memadai yang mengakibatkan banyaknya konsumsi dari Grid, dan Grid juga ikut memasok untuk penggunaan pada inverter dan pengisian dari baterai. Pada saat hasil dari PV meningkat maka secara otomatis penggunaan dari Grid akan turun.

Table 4.12. Efisiensi kinerja inverter 19 Januari 2022.

Efisiensi kinerja inverter		
Rata-rata	Maksimal	Minimal
73%	81%	69%

Efisiensi kinerja hybrid inverter minimum pada 69% dengan kondisi daya load = 200 W, daya PV = 18 W, daya grid = 256,06 W dan daya baterai = 17,69 W. Efisiensi kinerja hybrid inverter maksimum pada 81% dengan kondisi daya load = 200 W, daya PV = 46,8 W, daya grid = 165,68 W dan daya baterai = 33,98 W.

Dari data yang diperoleh pada gambar 4.5. dapat dilihat hasil pengukuran iradian pada tanggal 20 Januari 2022 titik puncak iradian berada pada jam 12.30 WIB sebesar 1502.3 W/m² dan titik radian terendah berada pada jam 17.00 WIB sebesar 175 W/m².

Dari data yang diperoleh pada Gambar 4.6. dapat dilihat ketika iradian meningkat maka daya yang dihasilkan oleh PV akan meningkat, sedangkan penggunaan pada grid akan menurun, ketika baterai pada kondisi rendah maka baterai tidak lagi memasok load, kemudian grid akan membantu pengisian baterai. Penggunaan pada Grid lebih besar dikarenakan hasil dari PV yang kurang memadai yang mengakibatkan banyaknya konsumsi dari Grid, dan Grid juga ikut memasok untuk penggunaan pada inverter dan pengisian dari baterai. Pada saat hasil dari PV meningkat maka secara otomatis penggunaan dari Grid akan turun.

Table 4.13. Efisiensi kinerja hybrid inverter 20 Januari 2022.

Efisiensi kinerja hybrid inverter		
Rata-rata	Minimal	Maksimal
76%	70%	82%

Efisiensi kinerja hybrid inverter minimum pada 70% dengan kondisi daya load = 200 W, daya PV = 123,76 W, daya grid = 133,06 W dan daya baterai = 28,45 W. Efisiensi kinerja hybrid inverter maksimum pada 82% dengan kondisi daya load = 200 W, daya PV = 109,2 W, daya grid = 114,70 W dan daya baterai = 20,06 W.

Dari data yang diperoleh pada gambar 4.7. dapat dilihat hasil pengukuran iradian pada tanggal 22 Januari 2022 titik puncak iradian berada pada jam 13.00 WIB sebesar 1504 W/m² dan titik radian terendah berada pada jam 17.00 WIB sebesar 40 W/m².

Dari data yang diperoleh pada Gambar 4.8. dapat dilihat ketika iradian meningkat maka daya yang dihasilkan oleh PV akan meningkat, sedangkan penggunaan pada grid akan menurun, ketika baterai pada kondisi rendah maka baterai tidak lagi memasok load, kemudian grid akan membantu pengisian baterai. Penggunaan pada Grid lebih besar dikarenakan hasil dari PV yang kurang memadai yang mengakibatkan banyaknya konsumsi dari Grid, dan Grid juga ikut memasok untuk penggunaan pada inverter dan pengisian dari baterai. Pada saat hasil dari PV meningkat maka secara otomatis penggunaan dari Grid akan turun.

Table 4.14. Efisiensi kinerja hybrid inverter 22 Januari 2022.

Efisiensi kinerja inverter		
Rata-rata	Min	Max
83%	79%	90%

Efisiensi kinerja hybrid inverter minimum pada 79% dengan kondisi daya load = 200 W, daya PV = 60 W dan daya grid = 193,5 W. Efisiensi kinerja hybrid inverter maksimum pada 88% dengan kondisi daya load = 200 W, daya PV = 42 W dan daya grid = 180,11 W.

Dari data yang diperoleh pada gambar 4.9. dapat dilihat hasil pengukuran iradian pada tanggal 23 Januari 2022 titik puncak iradian berada pada jam 11.30 WIB sebesar 547,8 W/m² dan titik radian terendah berada pada jam 15.00 WIB sebesar 90,8 W/m².

Dari data yang diperoleh pada Gambar 4.10. dapat dilihat ketika iradian meningkat maka daya yang dihasilkan oleh PV akan meningkat, sedangkan penggunaan pada grid akan menurun, ketika baterai pada kondisi rendah maka baterai tidak lagi memasok load, kemudian grid akan membantu pengisian baterai. Penggunaan pada Grid lebih besar dikarenakan hasil dari PV yang kurang memadai yang mengakibatkan banyaknya konsumsi dari Grid, dan Grid juga ikut memasok untuk penggunaan pada inverter dan pengisian dari baterai. Pada saat hasil dari PV meningkat maka secara otomatis penggunaan dari Grid akan turun.

Table 4.15. Efisiensi kinerja hybrid inverter 23 Januari 2022.

Efisiensi kinerja hybrid inverter		
Rata-rata	Minimal	Maksimal
84%	81%	88%

Efisiensi kinerja hybrid inverter minimum pada 81% dengan kondisi daya load = 200 W, daya PV = 10,92 W dan daya grid = 234,78 W. Efisiensi kinerja hybrid inverter maksimum pada 88% dengan kondisi daya load = 200 W, daya PV = 42,16 W dan daya grid = 183,9 W.



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini dapat dilihat dan buktikan bahwa penggunaan dari hybrid inverter lebih berfokus pada performa dari PV.
2. Hybrid inverter memberikan output yang lebih konstan.
3. Ketika PV tidak dapat menyanggupi untuk melayani beban maka secara otomatis akan dibantu oleh grid,
4. Saat kondisi On-Grid dengan baterai, PV mengisi baterai terlebih dahulu.
5. Disaat iradian naik maka penggunaan daya pada PV akan meningkat sedangkan penggunaan dari Grid secara otomatis akan menurun. Begitu juga sebaliknya, ketika iradian rendah maka penggunaan pada PV akan turun sedangkan penggunaan pada grid akan meningkat.

5.2. Saran

Penelitian ini tidak terlepas dari ketidak sempurnaan yang menjadi suatu kekurangan sehingga hasil yang diperoleh belum tentu maksimal. Hal ini berhubungan dengan keterbatasan peralatan, alat ukur dan ilmu pengetahuan penulis. Penulis mengharapkan saran dan masukan agar kedepannya penelitian ini dapat lebih sempurna lagi. Hasil yang didapatkan dari beberapa saran, diantaranya:

1. Penambahan PV (Photo Voltaic) agar dapat memaksimalkan kinerja dari hybrid inverter.
2. Penambahan baterai agar penyimpanan daya bertahan lebih lama dan dapat memasok beban lebih lama ketika terjadinya pemadaman grid.
3. Penambahan pengujian pada kondisi OFF-Grid tanpa dan menggunakan baterai, guna mengetahui kemampuan penggunaan PV.

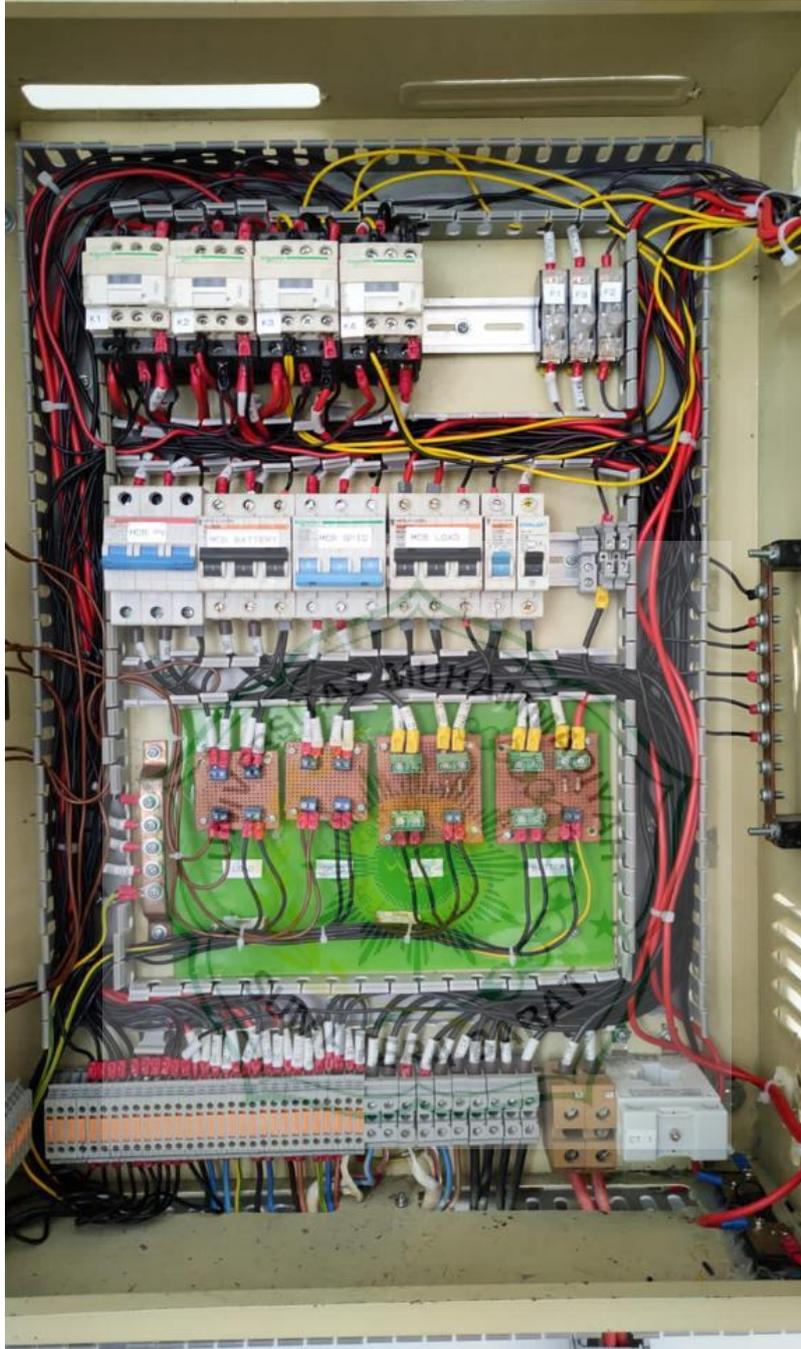
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Setiabudy, R., BS, Hartono., Budiyanto. (2013). *Analysis Characteristics of On/Off Grid Tie Inverter and Implementation in Microgrid*. Jurnal TELKOMNIKA, Vol. 11 (3), hal. 441-450.
- [2] Sinaga, G.A., , Mataram, I.M., Partha Indra, T.G.,. (2019). Analisis Pembangkit listrik Sistem *Hybrid Grid Connected* Di Villa Perumahan Saba, Gianyar – Bali. Jurnal SPEKTRUM, Vol. 6 (2), hal. 1-6.
- [3] Wijaya, R. (2012). Analisis Karakteristik Grid-Tie Inverter, *Laporan Skripsi*. Depok: Program Studi Teknik Elektro, Universitas Indonesia.
- [4] G. Cook, L. Billman, and R. Adcock, “Photovoltaic Fundamentals,” United States of America, 1995
- [5] T. T. Gultom, “Pemanfaatan Photovoltaic sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” pp. 33–42, 2015.
- [6] M. Rif, S. Hp, M. Shidiq, R. Yuwono, and H. Suyono, “Optimasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Matahari di Jurusan Teknik Elektro Universitas,” vol. 6, no. 1, pp. 44–48, 2012.
- [7] I. M. A. Nugraha, I. A. D. Giriantari, and I. N. S. Kumara, “Studi Dampak Ekonomi dan Sosial PLTS Sebagai Listrik Pedesaan Terhadap Masyarakat Desa Ban Kubu Karangasem,” no. November, pp. 14–15, 2013.
- [8] L. S. Mulia, I. M. Shidiq, Soeprapto, and J. M. T. Haryono, “Analisis Teknik dan Ekonomi Power Hibrida (,” pp. 1–6, 2016.
- [9] Yulisman.(2012). “Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Bagi Pelayanan Beban Berbasis Sistem Kendali Pintar”,*Thesis*.Jakarta:Program Magister Teknik Elektro, Institut Sains dan Teknologi Nasional.

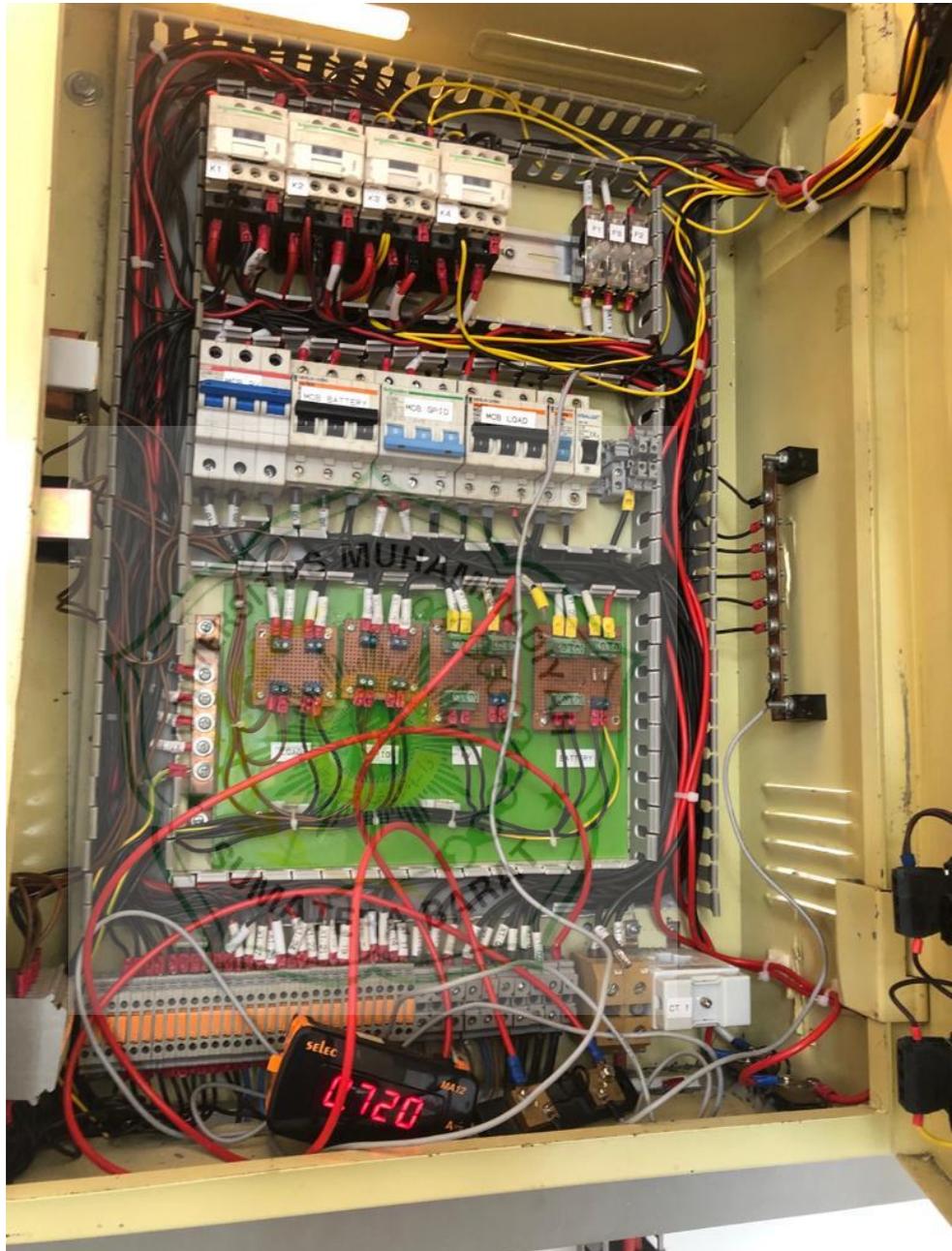
LAMPIRAN



Gambar sistem kelistrikan pada panel inverter hybrid.



Gambar panel inverter hybrid pada saat pengukuran.



Gambar alat ukur pada panel inverter hybrid.



Gambar pada saat pengukuran real time.



Gambar alat ukur pada inverter hybrid 1.



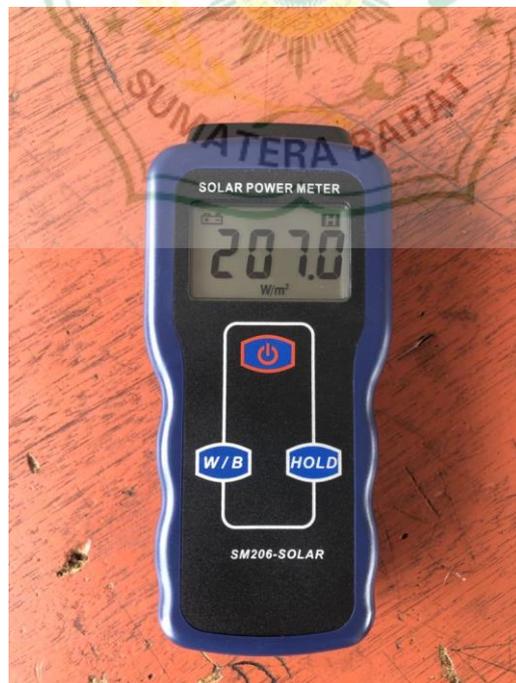
Gambar alat ukur pada inverter hybrid 2.



Gambar hasil pengukuran Solar Power Meter pada saat cerah.



Gambar hasil pengukuran Solar Power Meter pada saat mendung.



Gambar Photovoltaic yang terpasang tampak samping.



Gambar Photovoltaic yang terpasang tampak depan.

