

Analisis Plts Atap On Grid Di Pesantren Al Mukaromah

1st Feri Rafli

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

feriraflii@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Ekki Kurniawan

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ekki.kurniawan@telkomuniversity.ac.id

3rd Kharisma Bani Adam

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

kharismabaniadam@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— Pemenuhan kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan masyarakat salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan energi terbarukan misalnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya atap on-grid. PLTS memanfaatkan intensitas cahaya matahari untuk menghasilkan energi listrik menggunakan teknologi fotovoltaik. Penggunaan PLTS on-grid kini sudah banyak diterapkan di Indonesia, salah satunya adalah penggunaan PLTS atap on-grid di Pesantren Al Mukaromah. Maka dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari sistem PLTS yang berada di Pesantren Al Mukaromah dari sisi ekonomi. Parameter nilai ekonomi yang digunakan adalah perhitungan biaya penghematan biaya tagihan listrik yang dibayarkan ke PLN sebelum dan sesudah memakai PLTS dan perhitungan COE. Hasil penelitian tugas akhir ini menunjukkan energi terbarukan yang diwujudkan di Pesantren Al Mukaromah dengan menggunakan sistem PLTS atap on-grid. Setelah pengujian performansi di Pesantren Al Mukaromah, sistem tersebut layak digunakan dengan total energi sebesar 2.953 kWh/tahun, performance ratio sebesar 76%, dan iradiasi yang diterima dalam setahun mencapai 1.464,2 kWh/m². Potensi energi surya di Pesantren Al Mukaromah dikatakan cukup efektif dilihat dari sisi ekonominya, dengan COE sebesar Rp 1.665,7/kWh.

Kata kunci— PLTS on-grid, penghematan tagihan listrik, COE, energi produksi.

I. PENDAHULUAN

Sumber energi listrik yang membantu dalam pemenuhan aktivitas sehari-hari dilingkungan masyarakat merupakan energi surya untuk menunjang proses produksi di sektor usaha ekonomi primer, industri, dan juga untuk memenuhi tuntutan perkembangan sosial budaya masyarakat seiring dengan perkembangan/kemajuan zaman dalam melakukan pemenuhan kebutuhan energi listrik di seluruh Indonesia [1]. Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah aplikasi yang memanfaatkan energi dari cahaya matahari dan diubah menjadi energi listrik. Pembangkit listrik tenaga surya dilakukan dengan cara langsung atau fotovoltaik yaitu mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik dengan efek fotolistrik [2]. Potensi energi matahari harian rata-rata mencapai 4,8 kWh/m² karena sinar matahari tersedia hampir dari pagi sampai sore [3]. Penggunaan PLTS on-grid kini sudah banyak diterapkan di Indonesia, salah satunya adalah penggunaan PLTS atap on-grid di Pesantren Al Mukaromah, Cimenyan, Jawa Barat, Indonesia. Maka dalam penelitian ini dilakukan analisis PLTS baik dari perhitungan hasil keluaran

daya produksi lalu dibandingkan dengan hasil keluaran daya pada software helioscope, maupun penghematan dalam aspek ekonomis. Dengan menganalisa suatu PLTS dari berbagai aspek ini akan menuntun kepada pemanfaatan penghematan pada energi surya. Penelitian ini bertujuan untuk pemasangan PLTS on-grid yang berfungsi untuk mengurangi biaya penggunaan listrik PLN dengan daya terpasang pada rumah sebesar 2200 VA. Dengan begitu perlunya pemasangan PLTS on-grid untuk mengurangi biaya penggunaan listrik pada siang hari [4]. Maka perlu adanya analisis PLTS untuk mengetahui besar nilai penghematan yang dihasilkan dari hasil daya produksi yang didapat dari PLTS on-grid untuk pemakaian beban listrik pada rumah setiap bulan setelah dipasang PLTS on-grid, dimana perhitungan tersebut 5 dengan membandingkan biaya tagihan pemakaian listrik sebelum terpasang PLTS dan biaya tagihan listrik setelah pemasangan PLTS atap on-grid.

II. KAJIAN TEORI

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap on-grid diciptakan sebagai efisiensi biaya tagihan listrik ke PLN dan mencari potensi tenaga energi terbarukan yang sesuai dengan geografis dan karakter lingkungan.

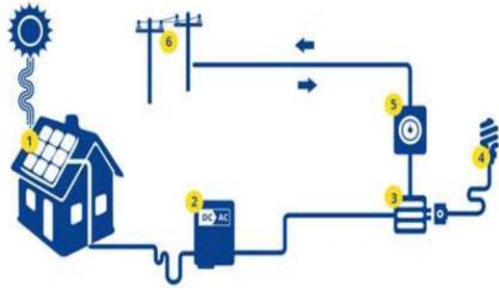
A. Sistem PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

PLTS merupakan aplikasi dengan memanfaatkan energi dari sinar matahari dan diubah menjadi daya listrik [12]. PLTS dijalankan secara langsung atau fotovoltaik yakni mengganti sinar matahari menjadi daya listrik dengan efek fotolistrik. Sistem PLTS yang terhubung dengan PLN adalah PLTS atap on-grid dan sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan PLN biasa disebut dengan PLTS off-grid. Apabila dalam penggunaan PLTS disatukan dengan jenis pembangkit listrik lain disebut PLTS hybrid.

B. Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid

Sistem PLTS on-grid menggunakan jaringan PLN serta mengoptimalkan pemanfaatan tenaga surya dalam menghasilkan arus listrik secara maksimal. Sistem ini dirancang untuk interkoneksi dengan jaringan listrik yang tersedia dalam kapasitas yang lebih kompleks terhadap beban sistem secara keseluruhannya. Dengan cara ini, sebanyak apapun daya yang didapatkan akan masuk ke sistem kelistrikan secara langsung sehingga pada PLTS on-grid didirancang tanpa baterai dan hanya memberikan daya pada

siang hari. Namun, jika ada daya panel surya yang berlebih maka dapat dijual melalui kWh exim. Inverter dengan sistem terintegrasi dengan PCU merupakan komponen utama dari PLTS on-grid. Inverter digunakan sebagai media konversi energi matahari yang dihasilkan pada panel surya dari DC ke AC sesuai dengan power quality dan tegangan minimum pada jaringan. Sistem ini akan berhenti memberikan suplai daya secara otomatis berhenti menyuplai daya ke jaringan ketika fasilitas jaringan tenaga listrik tidak beroperasi.

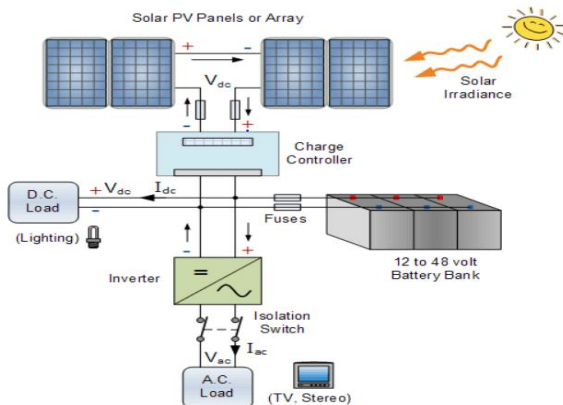


GAMBAR 1

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid

C. Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid

PLTS *off-grid* adalah sistem PLTS yang menggunakan baterai sebagai tempat penyimpanan listrik yang berasal dari PLTS sehingga digunakan saat listrik suplai daya PLN padam dan tidak tersambung dengan listrik PLN. Contohnya seperti di daerah pedalaman yang belum terakses dengan listrik PLN. Sistem PLTS ini biasa disebut dengan *Stand Alone PV System* merupakan suatu sistem pembangkit yang menggunakan energi surya sebagai sumber energi utama dengan menggunakan panel surya untuk mendapatkan energi listrik yang dapat disimpan pada baterai. Kebutuhan baterai memiliki fungsi sebagai penyimpan daya listrik yang didapatkan oleh PV module ketika memperoleh sinar matahari untuk menghasilkan daya.



GAMBAR 2

SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA OFF-GRID

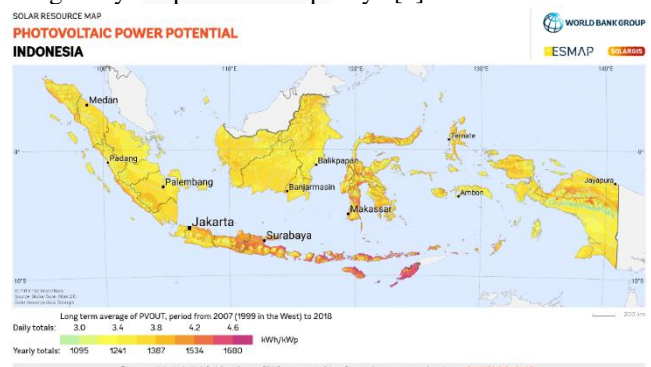
D. PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) Hybrid

Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid merupakan sistem tenaga surya dengan menggabungkan pemasokan energi dengan PLN dan menggunakan baterai, dan genset. Dapat disimpulkan, PLTS hybrid merupakan penggabungan antara PLTS on-grid dengan PLTS off-grid. Ketika kondisi normal, hasil daya pada PV module digunakan untuk baterai dan juga kebutuhan daya pada siang hari. Ketika malam hari suplai diperoleh dari baterai dan ketika baterai habis, PLN akan memasok energi ke jaringan listrik rumah.

GAMBAR 3
PLTS HYBRID

E. Kemampuan Tenaga Surya di Indonesia

PLTS di Indonesia dapat menghasilkan energi yang cukup tinggi. Dikarenakan Indonesia memiliki wilayah dengan luas dan tingkat intensitas yang sangat tinggi, tersedianya listrik dari energi surya dapat menjadi andalan. Indonesia memiliki kemampuan tenaga surya yang sangat tinggi dengan perkiraan sebesar $4,8 \text{ kWh/m}^2$. Untuk distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar $4,5 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ dengan variasi bulanan sekitar 10% dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar $5,1 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ dengan variasi bulanan sekitar 9%. Dari data diatas Indonesia memiliki hasil radiasi sinar matahari yang hampir merata, dengan begitu Indonesia memiliki kemampuan untuk mengembangkan tenaga surya di periode kedepannya [8].

GAMBAR 4
KEMAMPUAN TENAGA SURYA

F. Komponen Sistem PLTS On-grid

1. Panel Surya

Panel surya dapat digunakan untuk berbagai aplikasi termasuk sistem tenaga jarak jauh untuk kabin, peralatan telekomunikasi, penginderaan jauh, dan tentu saja untuk produksi listrik oleh sistem listrik tenaga surya perumahan dan komersial.

a. Monokristal (Mono-crystalline)

Monokristal diciptakan pada situasi alam yang sangat panas maupun cuaca yang ekstrim. Tingkat efisiensi pada jenis ini sangat baik sebesar 13-19%.

b. Polikristal (Poly-Crystalline)

Polikristal adalah jenis panel surya yang disusun secara acak pada kristalnya dikarenakan pada proses pengecoran dilakukan fabrikasi. Tingkat efisiensi pada jenis ini lebih kecil jika dibandingkan pada jenis monokristal yakni sebesar 11-15%, sehingga harga jualnya menjadi lebih rendah.

c. Thin Film Photovoltaic

Thin Film Photovoltaic adalah jenis panel yang memiliki dua lapisan struktur yang terdiri dari lapisan mikrokristal silikon dan amorphous sehingga tingkat efisiensi yang didapat sebesar 8.5% sehingga untuk luas area bidang yang dibutuhkan per watt daya yang dikeluarkan lebih besar daripada monokristal & polikristal.

2. Inverter On-grid

Inverter ini bertujuan untuk menemukan sistem energi listrik yang handal dengan menggabungkan energi surya dan muatan arus bolak balik. Inverter On-Grid banyak difungsikan untuk mendapatkan sumber energi alternatif yang berasal dari panel surya untuk menerangi rumah dan berbagai penggunaan lainnya.

3. Proteksi

1. DC Protection

DC protection memiliki fungsi sebagai penggabungan string panel menjadi satu keluaran dan dihubungkan dengan komponen inverter dan sebagai pemutus rangkaian bila adanya arus yang melebihi dari kemampuan.

2. AC Protection Box

AC Combiner Box difungsikan untuk mengamankan rangkaian mulai dari inverter sampai ke panel distribusi jika terdapat arus yang melebihi dari kemampuan.

3. Grounding (Pembumihan)

Grounding pada panel surya digunakan untuk melindungi rangkaian apabila terjadi sambaran petir. Grounding panel ini menghubungkan bingkai panel surya (frame) dengan bingkai yang lainnya, lalu dihubungkan dengan bumi. Dengan menghubungkan bagian-bagian bingkai panel surya (frame) ke bumi apabila terjadi sambaran petir maka akan diantarkan langsung ke bumi.

4. kWh Meter Exim

kWh meter exim adalah layanan yang mencatat listrik yang diperoleh dari panel surya yang dapat dijual ke PLN dan listrik yang dipakai pada rumah [6]. PLN memiliki kWh meter khusus biasa disebut dengan kWh ekspor-impor. Meteran exim memiliki fungsi sebagai pencatat hasil daya yang dapat di ekspor ke PLN dan konsumsi beban yang digunakan pelanggan dari pihak PLN.

G. Analisis Ekonomi

1. Biaya investasi awal

Biaya investasi awal PLTS adalah jumlah total dari seluruh biaya yang dikeluarkan untuk membangun dan mengkonfigurasi suatu sistem pembangkit listrik tenaga surya, termasuk biaya pembelian komponen, biaya pemasangan, biaya desain, biaya pengurusan, dan biaya lain yang dibutuhkan untuk memulai operasi pembangkit [7].

2. Perhitungan biaya operasional dan pemeliharaan

Perhitungan biaya operasional dan pemeliharaan adalah proses mengidentifikasi dan mengukur seluruh biaya yang dikeluarkan untuk menjalankan dan menjaga kondisi PLTS agar tetap optimal, termasuk biaya listrik, biaya perawatan, biaya pemeliharaan, dan biaya administrasi [7].

$$O\&M_p = 1\% \times S \quad (2.1)$$

$$O\&M_p = O\&M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (2.2)$$

Dimana:

S = Total investasi awal

i = Tingkat suku bunga

n = Life time PLTS

H. Biaya siklus hidup

Biaya siklus hidup adalah jumlah total dari seluruh biaya yang dipakai selama masa pemakaian sistem pembangkit listrik tenaga surya, mulai dari biaya investasi awal, biaya operasional dan pemeliharaan, sampai biaya demontase dan pembuangan. Ini termasuk seluruh biaya yang diperlukan dalam memelihara, mengoperasikan, dan mengakhiri sistem, dari awal hingga akhir, yang digunakan untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi dari suatu proyek [7].

$$Life\ Cycle\ Cost = S + O\&M_p \quad (2.3)$$

Dimana:

S = Total investasi awal

$O\&M_p$ = Biaya operasional dan pemeliharaan

I. Faktor pemulihan modal

Faktor pemulihan modal PLTS merupakan penggunaan rasio yang bertujuan sebagai pengkonversi biaya siklus hidup PLTS dari dalam bentuk arus kas menjadi dalam bentuk pembayaran tahunan yang sama. Ini dihitung dengan menggunakan persamaan yang memperhitungkan tingkat suku bunga, masa pakai proyek, dan arus kas yang diharapkan dari proyek. Faktor ini digunakan untuk mengevaluasi tingkat keuntungan yang diharapkan dari suatu proyek dan untuk membandingkan dengan tingkat suku bunga yang ditetapkan [7].

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.4)$$

Dimana:

i = Tingkat suku bunga

n = Life time PLTS

J. Biaya energi PLTS

Biaya energi PLTS adalah jumlah total dari seluruh biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan dan mengirimkan tenaga listrik yang didapatkan dari sistem PLTS. Biaya ini ditentukan oleh berbagai faktor, seperti LCC, produksi kWh, efisiensi sistem, dan tagihan operasional dan pemeliharaan. Ini digunakan untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi dari suatu proyek dan untuk membandingkan dengan biaya energi dari sumber lainnya [7].

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{kWh} \quad (2.5)$$

Dimana:

LCC = Biaya siklus hidup

CRF = Faktor pemulihan modal

III. METODE

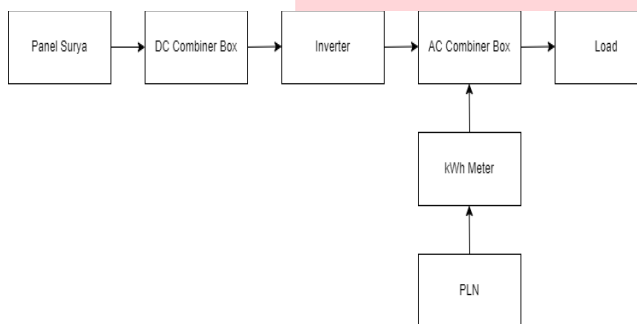
A. Desain Sistem

PLTS on-grid dengan perhitungan biaya tagihan listrik sebelum dan sesudah pemasangan PLTS. Desain sistem yang

dibahas yaitu diagram blok serta fungsi dari sistem PLTS on-grid.

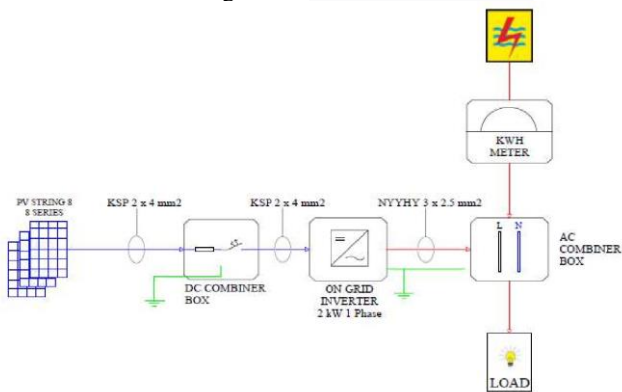
B. Diagram Blok

Sistem PLTS yang digunakan di Pesantren Al Mukaromah adalah sistem PLTS atap on-grid. Sistem PLTS on-grid terhubung langsung PLN yang mengoptimalkan pemanfaatan tenaga surya dalam memproduksi tenaga listrik dengan maksimal. Skema desain ini dirancang dengan tujuan adanya interkoneksi pada jaringan listrik dalam total kapasitas yang lebih dibandingkan beban sistem secara keseluruhan. Sehingga, total daya yang dihasilkan akan langsung digunakan dalam sistem kelistrikan. Maka dari itu, umumnya PLTS on-grid dirancang tidak menggunakan adanya baterai dan hanya memberikan daya pada siang hari. Pada penelitian ini sistem PLTS on-grid yang telah terpasang di Pesantren Al Mukaromah, berikut disertakan gambar diagram blok.



GAMBAR 5
DIAGRAM BLOK SISTEM

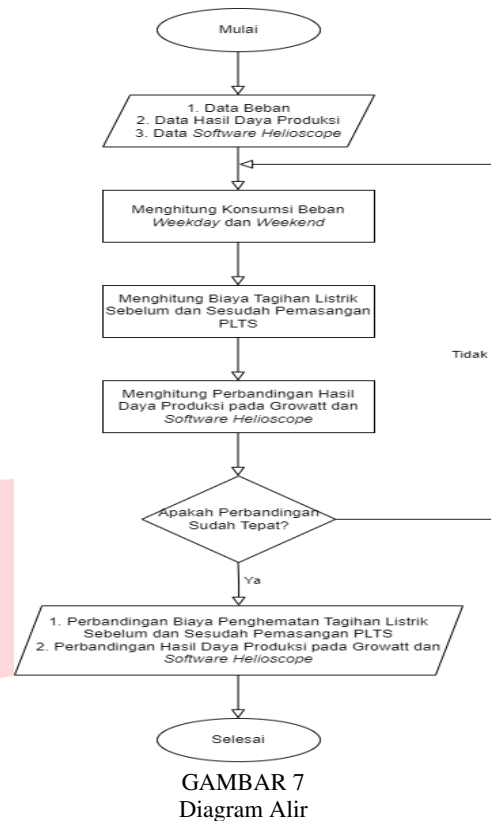
C. Desain Perangkat Keras



GAMBAR 6
WIRING DIAGRAM

Pada gambar diatas panel surya digunakan sebanyak 8 panel surya yang dirangkai secara seri. Dari rangkaian tersebut akan dihubungkan ke inverter melalui DC combiner box. DC combiner box berfungsi menggabungkan *output* dari beberapa string PV menjadi satu. Selanjutnya inverter akan dihubungkan ke kWh meter melalui AC combiner box. AC combiner box berfungsi sebagai penyalur daya dari pembangkit ke beban. Lalu kWh meter akan dihubungkan ke jaringan PLN. kWh meter berfungsi sebagai pencatat berapa besaran daya yang dikonsumsi oleh pelanggan dari PLN. Dari AC combiner box daya akan dialirkan ke beban yang akan dipakai.

D. Desain Perangkat Lunak



GAMBAR 7
Diagram Alir

Pertama-tama peneliti membutuhkan data beban weekday dan weekend. Dengan beban yang diambil seperti beban lampu, televisi, kulkas, dan lainnya dalam satuan watt. Selanjutnya, peneliti menghitung biaya tagihan listrik sebelum dan sesudah pemasangan PLTS. Perhitungan ini dibutuhkan untuk menghitung biaya penghematan tagihan listrik pada Pesantren Al Mukaromah. Lalu, menghitung perbandingan hasil daya produksi pada growatt dan software helioscope. Growatt dibutuhkan untuk mengetahui hasil daya produksi harian pada Pesantren Al Mukaromah. Sedangkan pada software helioscope digunakan untuk menghitung perkiraan hasil daya produksi PLTS. Sehingga dari hasil tersebut jika memenuhi perbandingan maka didapatkan perbandingan daya output pada growatt dan software helioscope. Dan perbandingan biaya penghematan tagihan listrik sebelum dan sesudah pemasangan PLTS. Jika tidak memenuhi maka peneliti kembali mengambil data konsumsi beban weekday dan weekend hingga mendapatkan perbandingan yang tepat.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rancangan Sistem

Pada hasil survei yang telah dilakukan di Pesantren Al Mukaromah, Cimenyan, Jawa Barat, Indonesia. Telah dipasang PLTS atap on-grid dengan kapasitas 2,36 kWp. Pada Pesantren Al Mukaromah ini menggunakan daya sebesar 2.200 Watt. Komponen yang digunakan PLTS atap on-grid yang terpasang pada rumah yaitu:

TABEL 1
KOMPONEN PLTS

Data Komponen	Jumlah Komponen
Kapasitas PLTS	2,36 kWp
Kapasitas Inverter	1 x Growatt 2000-S 2KW

Jumlah Panel Surya	8 x (295Wp)
Tipe Panel Surya	Polycrystalline
Jumlah String	1 string
Dimensi PV Panel	1675x992x40mm

Rancangan sistem pada PLTS atap on-grid menggunakan software helioscope ini dapat menentukan panel surya dan inverter sesuai dengan spesifikasi yang akan digunakan, shading, tilt, jumlah inverter dan panel surya, dan lainnya. Dengan rancangan sistem ini dapat menghasilkan luas wilayah yang diperlukan dan energi yang maksimal.

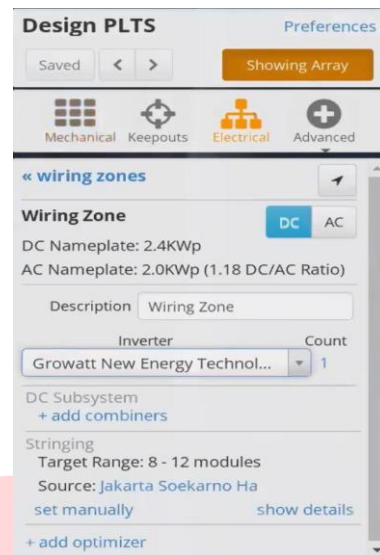
PLTS yang terletak pada Pesantren Al Mukaromah bertipe PLTS atap on-grid seperti pada gambar dibawah ini :



GAMBAR 8
LETAK PLTS



GAMBAR 9
PANEL SURYA, TILT, DAN AZIMUTH



GAMBAR 10
JENIS INVERTER

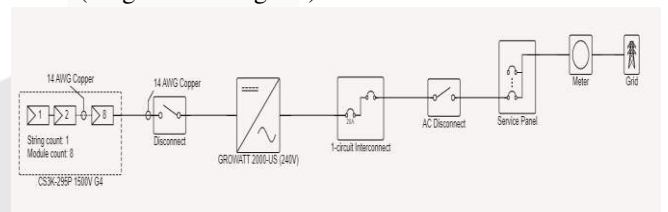
Pada gambar 9 merupakan desain PLTS yang dibangun dengan panel surya sebanyak 8 buah dengan kemampuan penyimpanan sebesar 295 Wp per panel. Luas area yang dibutuhkan adalah 186,2 ft². PLTS yang terpasang memiliki kemiringan (tilt) sebesar 15° dan azimuth sebesar 20°. Nilai optimal kemiringan panel surya dicari dengan cara trial and error, yaitu kemiringan panel surya dicari dengan cara mengubah kemiringan hingga mendapat nilai global on collector plane maksimum. Selanjutnya, pada gambar 10 merupakan inverter yang digunakan dengan kapasitas sebesar 2 kW.

B. Hasil Simulasi

1. Hasil Simulasi Software Helioscope

Berdasarkan wilayah dan sistem beserta spesifikasi yang digunakan maka diperoleh hasil sebagai berikut:

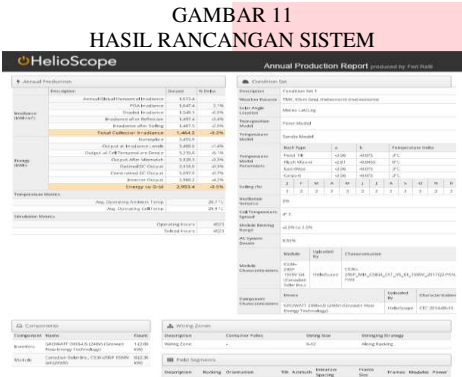
a. SLD (Single Line Diagram)



Dari single line diagram diatas dapat dilihat cara sistem operasional PLTS atap on-grid di Pesantren Al Mukaromah dengan memanfaatkan radiasi matahari yang berupa intensitas cahaya dalam bentuk foton dan diubah menjadi tenaga listrik. Panel memiliki fungsi untuk merubah radiasi matahari menjadi tenaga listrik dalam bentuk arus DC. Disini panel yang digunakan adalah modul Polycrystalline CS3K-P 295WP x 8 panel dalam satu string. Kemudian arus DC mengalir ke DC proteksi yang didalamnya dapat diketahui terdapat DC Fuse, SPD, dan DC isolator. Yang memiliki fungsi sebagai pemutus rangkaian jika adanya arus yang melebihi kemampuan. Dari DC proteksi lalu menuju ke input inverter yang memiliki fungsi sebagai pengubah arus DC menjadi arus AC. Output AC dari inverter menuju ke AC proteksi yang terdapat MCB AC. Yang dimana berfungsi untuk mengamankan mulai dari inverter sampai ke panel

distribusi. Selanjutnya ke panel hubung bagi yang berfungsi sebagai pembagi tenaga listrik dari sumber tenaga listrik PLTS ke beban. Lalu menuju ke kWh meter adalah penghitung jumlah konsumsi pemakaian energi listrik pada rumah. Yang terakhir adalah jaringan Grid/PLN.

b. Hasil Rancangan Sistem



GAMBAR 12
HASIL RANCANGAN SISTEM

Pada gambar 11 dan gambar 12 dijelaskan hasil percobaan jumlah energi yang dihasilkan PLTS dengan kapasitas 2,36 kWp diperkirakan sebesar 2.953 kWh/tahun dengan performance ratio 76%. Iradiasi yang diterima dalam setahun mencapai 1.464,2 kWh/m². Inverter yang digunakan yakni berkapasitas 2 kW dan panel surya PLTS dengan kapasitas maksimum 2,36 kW. Satu panel surya yang digunakan yakni dengan kapasitas 295 Wp dan dipasang sebanyak 8 buah. Konsep peletakan PLTS ini adalah PLTS atap on-grid. PLTS yang terpasang memiliki kemiringan (tilt) sebesar 15° dan azimuth sebesar 20°.

c. Kinerja sistem



GAMBAR 13
HASIL DATA PRODUKSI

Pada gambar 13 diperkirakan dengan kapasitas PLTS sebesar 2,36 kWp menghasilkan total energi sebesar 2.953 kWh /tahun. Gambar yang ditunjukkan adalah representasi grafis dari hasil produksi energi dan faktor-faktor pengaruh hasil produksi energi. Daya energi yang dihasilkan dinyatakan dalam satuan kWh. kWh adalah indikator yang berhubungan dengan radiasi matahari dan hasil produksi energi pada panel surya yang tersambung.

3. Pengolahan Data

Dengan penelitian yang dilakukan maka didapat data-data yang digunakan sebagai penunjang pembahasan dari Analisis PLTS atap on-grid di Pesantren Al-Mukarramah sebagai berikut:

a. Konsumsi Beban Harian

Berdasarkan hasil survei didapatkan konsumsi beban harian yang dibagi menjadi 2 beban yaitu pada saat weekday dan weekend seperti berikut:

No.	Peralatan Listrik	Daya(W)	Jam Pemakaian																								Total (wh)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	TV	135																									
2	Mesin Cuci	300																									
3	Kulkas	160	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
4	Rice Cooker	400																									
5	Lampu Dapur	20	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V															
6	Lampu Kantor	75																									
7	Lampu Kamar Mandi	20	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V															
8	Lampu Teras	75	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V															
9	Lampu Kelas 1	75																									
10	Lampu Kelas 2	75																									
11	Lampu Kelas 3	75																									
Total Kebutuhan Listrik (wh)			275	275	275	275	275	975	1015	595	460	460	460	460	460	460	460	460	500	675	810	410	275	275	275	275	11195

GAMBAR 14
BEBAN WEEKDAY

Dilihat dari hasil wawancara langsung yang dimana penulis menghitung jumlah total kebutuhan listrik dalam sehari pada saat weekday dengan beban penuh, beban siang hari, dan beban saat malam hari sebagai berikut:

- K. Jumlah total beban listrik penuh saat weekday sebesar 11.195 Wh = 11,195 kWh
- L. Jumlah total beban listrik ketika siang hari yang dimulai pukul 06.00-18.00 sebesar 7.500 Wh = 7,5 kWh
- M. Jumlah total beban listrik ketika malam hari yang dimulai pukul 19.00-05.00 sebesar 3.695 Wh = 3,695 kWh

No.	Peralatan Listrik	Daya(W)	Jam Pemakaian																								Total (wh)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	TV	135																									
2	Mesin Cuci	300																									
3	Kulkas	160	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
4	Rice Cooker	400																									
5	Lampu Dapur	20	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V															
6	Lampu Kantor	75																									
7	Lampu Kamar Mandi	20	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V															
8	Lampu Teras	75	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V															
9	Lampu Kelas 1	75																									
10	Lampu Kelas 2	75																									
11	Lampu Kelas 3	75																									
Total Kebutuhan Listrik (wh)			275	275	275	275	275	655	500	595	295	500	500	160	160	160	160	500	675	810	410	275	275	275	275	275	9255

GAMBAR 15
BEBAN WEEKEND

Kemudian untuk jumlah total kebutuhan listrik dalam sehari pada saat weekend dengan beban penuh, beban di siang hari, dan beban pada malam hari sebagai berikut :

- Jumlah total beban listrik penuh saat *weekend* sebesar 9.255 Wh = 9,255 kWh
- Jumlah total beban listrik ketika siang hari yang dimulai pukul 06.00-18.00 sebesar 5.560 Wh = 5,56 kWh
- Jumlah total beban listrik ketika siang hari yang dimulai pukul 19.00-05.00 sebesar 3.695 Wh = 3,695 kWh

b. Hasil Pengukuran Daya Produksi PLTS

Berdasarkan dari data produksi PLTS atap on-grid di Pesantren Al-Mukaromah diketahui hasil keluaran daya setiap harinya pada bulan Januari 2023 dimulai jam enam pagi mulai beroperasi hingga jam enam sore dimana PLTS berhenti beroperasi kembali. Didapatkan hasil keluaran daya produksi sebagai berikut:

TABEL 2
HASIL DAYA PRODUKSI PADA GROWATT

Tanggal	Hasil Daya Produksi Growatt (kWh)
1 Januari 2023	4.5
2 Januari 2023	5.4
3 Januari 2023	4.4
4 Januari 2023	4.6
5 Januari 2023	5.5
6 Januari 2023	5.7
7 Januari 2023	4.9
8 Januari 2023	4.7
9 Januari 2023	5.3
10 Januari 2023	4
11 Januari 2023	5
12 Januari 2023	4.2
13 Januari 2023	5.9
14 Januari 2023	5.2
15 Januari 2023	5.7
16 Januari 2023	5.7
17 Januari 2023	3.8
18 Januari 2023	3
19 Januari 2023	4.1
20 Januari 2023	4.5
21 Januari 2023	5.9
22 Januari 2023	5.5
23 Januari 2023	6.7
24 Januari 2023	7.3
25 Januari 2023	1.5
26 Januari 2023	6.2
27 Januari 2023	3.3
28 Januari 2023	1.4
29 Januari 2023	3.5
30 Januari 2023	3.8
31 Januari 2023	3.9

Total	145.1
-------	-------

Dari tabel diatas maka didapatkan hasil keluaran daya produksi PLTS sebesar 145,1 kWh pada bulan Januari 2023 dengan menjumlahkan hasil keluaran daya setiap hari dari tanggal 1 Januari 2023 – 31 Januari 2023.

c. Perhitungan Tarif Listrik PLN

Tarif dasar listrik pada Pesantren Al Mukaromah dengan daya yang terpasang sebesar 2200VA, diketahui perhitungan biaya untuk golongan pelayanan sosial S2 2200 VA tarif dasar listriknya sebesar Rp. 760,00 per kWh, tapi belum termasuk pajak penerangan jalan (PPJ). Dimana PPJ itu sebesar 6% dari tarif dasar listrik PLN.

Biaya tagihan dasar listrik yang sudah termasuk pajak penerangan jalan sebesar Rp. 805,6 .Total pembayaran listrik perbulan di Pesantren Al Mukaromah sebesar Rp. 265.513,676 pada bulan Januari 2023 sebelum pemasangan PLTS on-grid.

d. Perhitungan Daya Ekspor dan Impor

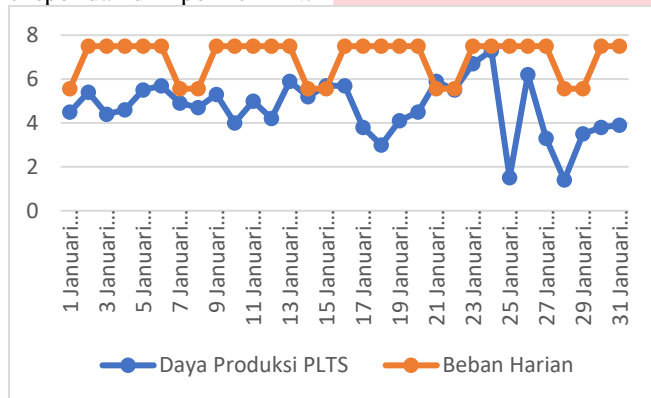
TABEL 3
PRODUKSI EKSPOR DAN IMPOR

Tanggal	Daya Produksi PLTS	Beban Harian	Import PLN	Export PLN
1 Januari 2023	4.5	5.56	1.06	0
2 Januari 2023	5.4	7.5	2.1	0
3 Januari 2023	4.4	7.5	3.1	0
4 Januari 2023	4.6	7.5	2.9	0
5 Januari 2023	5.5	7.5	2	0
6 Januari 2023	5.7	7.5	1.8	0
7 Januari 2023	4.9	5.56	0.66	0
8 Januari 2023	4.7	5.56	0.86	0
9 Januari 2023	5.3	7.5	2.2	0
10 Januari 2023	4	7.5	3.5	0
11 Januari 2023	5	7.5	2.5	0
12 Januari 2023	4.2	7.5	3.3	0
13 Januari 2023	5.9	7.5	1.6	0
14 Januari 2023	5.2	5.56	0.36	0
15 Januari 2023	5.7	5.56	0	0.14
16 Januari 2023	5.7	7.5	1.8	0
17 Januari 2023	3.8	7.5	3.7	0
18 Januari 2023	3	7.5	4.5	0
19 Januari 2023	4.1	7.5	3.4	0
20 Januari 2023	4.5	7.5	3	0
21 Januari 2023	5.9	5.56	0	0.34
22 Januari 2023	5.5	5.56	0.06	0
23 Januari 2023	6.7	7.5	0.8	0
24 Januari 2023	7.3	7.5	0.2	0
25 Januari 2023	1.5	7.5	6	0
26 Januari 2023	6.2	7.5	1.3	0
27 Januari 2023	3.3	7.5	4.2	0

28 Januari 2023	1.4	5.56	4.16	0
29 Januari 2023	3.5	5.56	2.06	0
30 Januari 2023	3.8	7.5	3.7	0
31 Januari 2023	3.9	7.5	3.6	0
Total	145.1	215.04	70.42	0.48

Dari tabel diatas daya beban harian dan data produksi keluaran daya PLTS diatas maka total daya listrik yang di ekspor ke PLN sebesar 0,48 kWh, sedangkan total daya yang di impor dari PLN sebesar 70,42 kWh. Dari data produksi yang dihasilkan PLTS on-grid ini pelanggan mengimport listrik dari PLN.

Berikut merupakan grafik pada bulan Januari 2023. Dimana dapat dijadikan gambaran untuk melihat keluaran daya dari hasil daya produksi PLTS dan beban harian yang di ekspor dan diimport ke PLN.



GAMBAR 16
GRAFIK EKSPOR DAN IMPOR

e. Perhitungan Biaya Penghematan PLTS Sistem On-Grid

TABEL 4
PENGHEMATAN TAGIHAN LISTRIK

Biaya Tagihan Listrik Sebelum pemasangan PLTS	Biaya Tagihan Listrik setelah pemasangan PLTS	Biaya Total Penghematan Listrik Siang Hari dari Daya Produksi PLTS
Rp. 265.513,676	Rp. 148.621,116	Rp. 116.892,56

Biaya tagihan listrik sebelum pemasangan PLTS sebesar Rp. 265.513,676, sedangkan biaya tagihan listrik setelah pemasangan PLTS sebesar Rp. 148.621,116. Jadi, terdapat biaya penghematan listrik sebesar Rp 116.892,56 setelah pemasangan PLTS.

4. Analisis Ekonomi Modal

a. Biaya Investasi Awal

TABEL 5
BIAYA INVESTASI AWAL

No	Komponen	Life Time	Jumlah	Harga Satuan	Total Harga
1	Panel Surya	25	8	Rp 1,195,307	Rp 9,562,457
2	Inverter	25	1	Rp 8,950,000	Rp 8,950,000
3	Biaya lainnya	Rp 11,487,543			Rp 11,487,543
Total Biaya Investasi Awal PLTS					Rp 30,000,000

b. Perhitungan Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) tahunan PLTS dapat diperhitungkan seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 O\&M &= 1\% \times S \\
 &= 1\% \times 30.000.000 \\
 &= \text{Rp } 300.000
 \end{aligned}$$

Nilai hasil perhitungan biaya operasional dan pemeliharaan dapat diasumsikan jika umur PLTS adalah 25 tahun dan tingkat suku bunga sebesar 7% diperhitungkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 O\&M_p &= O\&M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \\
 &= 300.000 \left[\frac{(1+0,07)^{25} - 1}{0,07(1+0,07)^{25}} \right] \\
 &= \text{Rp } 3.480.000
 \end{aligned}$$

c. Menghitung Biaya Siklus Hidup

$$\begin{aligned}
 \text{Life Cycle Cost} &= S + O\&M_p \\
 &= 30.000.000 + 3.480.000 \\
 &= \text{Rp } 33.480.000
 \end{aligned}$$

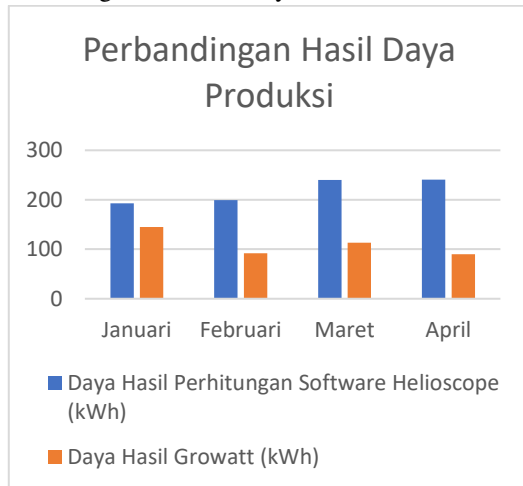
d. Menghitung Faktor Pemulihan Modal

$$\begin{aligned}
 CRF &= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \\
 &= \frac{0,07(1+0,07)^{25}}{(1+0,07)^{25} - 1} \\
 &= 0,085
 \end{aligned}$$

e. Menghitung Biaya Energi PLTS

$$\begin{aligned}
 COE &= \frac{LCC \times CRF}{kWh} \\
 &= \frac{33.480.000 \times 0,085}{1.708,44} \\
 &= Rp 1.665,7 / kWh
 \end{aligned}$$

f. Perhitungan Efisiensi Daya Produksi PLTS



GAMBAR 17
PERBANDINGAN HASIL DAYA PRODUKSI

Perbandingan dari hasil daya produksi software helioscope dan growatt yang didapat adalah:
Efisiensi daya:

$$\frac{P_{growatt}}{P_{helioscope}} \times 100\% = \frac{440,8 \text{ kWh}}{872,9 \text{ kWh}} \times 100\% = 50,5\%$$

V. KESIMPULAN

Hasil pengujian performansi pada software helioscope menunjukkan bahwa sistem PLTS atap on-grid di Pesantren Al Mukaromah berkinerja baik., Total energi yang dihasilkan sebesar 2.953 kWh /tahun dengan performance ratio sebesar 76%. Nilai COE yang di dapat sebesar Rp. 1.665,7/kWh. Biaya tagihan listrik sebelum pemasangan PLTS sebesar Rp. 265.513,676, sedangkan biaya tagihan listrik setelah pemasangan PLTS sebesar Rp. 148.621,116. Jadi, terdapat biaya penghematan listrik sebesar Rp 116.892,56 setelah pemasangan PLTS.

REFERENSI

- [1] D. Almada and M. A. Z. Muttaqin, "Analisa dan Perbandingan PLTS on Grid yang Terpasang di Atap Gedung Utama PT Subur Semesta dengan Plts On Grid yang Bergerak Mengikuti Arah Matahari," Resist. (Elektronika Kendali Telekomun. Tenaga List. Komputer), vol. 3, no. 2, p. 57, 2020, doi: 10.24853/resistor.3.2.57-60.
- [2] S. Patabang, "Pemanfaatan Panel Surya On Grid Pada Rumah Tinggal Berdasarkan Jumlah Beban," Batara Wisnu J., vol. 2, no. 1, pp. 85–96, 2022.
- [3] R. Hariyati, M. N. Qosim, and A. W. Hasanah, "Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid dengan Gedung STT-PLN Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah," Energi dan Kelistrikan J. Ilm., vol. 11, no. 1, pp. 17–26, 2019.
- [4] H. Satria and S. Syafii, "Sistem Monitoring Online dan Analisa Performansi PLTS Rooftop Terhubung ke Grid PLN," J. Rekayasa Elektr., vol. 14, no. 2, 2018, doi: 10.17529/jre.v14i2.11141.
- [5] K. K. Siahaan, E. Kurniawan, K. B. Adam, F. Teknik, U. Telkom, and G. S. Server, "Analisi Harga Energi Pemanfaatan Tenaga Surya Atap di Pesantren Al Mukaromah," pp. 2–11, 2021.
- [6] Y. Perdana, I. Wardiah, and E. Yohanes, "Prosiding SNRT (Seminar Nasional Riset Terapan) PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ONGRID 5500 WATT DI RUMAH KOST AKADEMI," Pros. SNRT, vol. 3[1] Y. Pe, no. November, pp. 63–70, 2018.
- [7] A. Kodir Al Bahar and A. Teguh Maulana, "Perencanaan Dan Simulasi Sistem Plts Off-Grid Untuk Penerangan Gedung Fakultas Teknik Unkris," J. Ilm. Elektrokrisna, vol. 6, no. 3, pp. 97–107, 2018.
- [8] R. A. H. Rasyid, "Model Energi Indonesia, Tinjauan Potensi Energy Terbarukan Untuk Ketahanan Energi Di Indonesia: Literatur Review," ANDASIH J. Pengabdi. Kpd. Masy., vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2020.
- [9] B. H. Purwoto, J. Jatmiko, M. A. Fadilah, and I. F. Huda, "Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif," Emit. J. Tek. Elektro, vol. 18, no. 1, pp. 10–14, 2018, doi: 10.23917/emit.v18i01.6251.
- [10] H. Efficiency and P. Module, "KuPower," no. 1, 2015.
- [11] L. Community, "www.ginverter.com," no. 28, 1900.
- [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," vol. 4, no. 2, p. 9, 2016.