

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ROOFTOP UNTUK KAWASAN PERUMAHAN DI KOTA MATARAM BERDASARKAN PEMETAAN POTENSI IRADIAISI

Mukti Wibawanto¹, Dr. Ir. I Ketut Wiryajati, ST., MT., IPU., ASEAN.Eng², Abdul Natsir, ST., MT.³

³Jurusan Teknik Elektro Universitas Mataram
Jl. Majapahit 62, Mataram, Lombok NTB, INDONESIA
¹muktiwibawanto94@gmail.com,

ABSTRAK

Perencanaan dan pemetaan PLTS *rooftop On-grid* daya 2.200-6.600VA, perbandingan perhitungan manual dan hasil perhitungan anggaran dapat menghemat biaya, adapun tujuan dengan adanya PLTS *rooftop* untuk meringankan tagihan listrik rumah dari hasil penggunaan energi siang hari, membandingkan produksi energi keluaran dengan perhitungan manual dan *PVsyst*. Pada PERMEN ESDM No. 49 Tahun 2018, nilai energi ekspor dihitung hanya 65% pada kWh meter *Exim*. Dengan adanya pemetaan bertujuan untuk mengetahui berapakah luas area *rooftop*, rata-rata iradiasi dan *PV Out* di kecamatan Sekarbela. penggunaan energi rumah pada siang hari, dan perkiraan potensi *PV Out*, nilai *Performance Ratio* berkisar 79-85%, dan selisih perhitungan manual dan *PVsyst* sebesar 2 MWp per tahunnya. Dan menghitung perkiraan total anggaran, biaya *Nett Present Cost*, *Nett Present Benefit*, *Nett Present Value* dan *Payback Pride*. Sehingga didapatkan hasil penghematan PLTS *rooftop On-grid* setiap harinya sebesar 14 kWh per hari.

Kata kunci : Pemetaan, PLTS *rooftop*, *On-grid*, kWh *Exim*, produksi energi, NPV dan *payback priode*

ABSTRACT

Planning and mapping of PLTS rooftop On-grid power 2,200-6,600VA, comparison of manual calculations and results of budget calculations can save costs, while the goal with a rooftop PLTS is to reduce home electricity bills from the results of energy use during the day, comparing output energy production with manual calculations and PVsyst. In PERMEN ESDM No. 49 of 2018, the export energy value is calculated at only 65% on the Exim kWh meter. The mapping aims to find out the area of the rooftop area, the average irradiation and PV Out in the Sekarbela sub-district. house energy use during the day, and estimated PV Out potential, Performance Ratio values ranging from 79-85%, and the difference between manual and PVsyst calculations is 2 MWp per year. And calculate the estimated total budget, Net Present Cost, Net Present Benefit, Net Present Value and Payback Pride. So that the savings on the On-grid rooftop PLTS are obtained every day of 14 kWh per day.

Keywords : *Mapping, rooftop solar power plant, On-grid, kWh Exim, energy production, NPV and payback period*

I. PENDAHULUAN

Energi listrik saat ini merupakan kebutuhan dasar dalam mendorong segala jenis aktivitas, dimana listrik sudah dikenal sebagai salah satu elemen penting bagi kehidupan, listrik sendiri bermanfaat bagi segala jenis aktivitas manusia untuk memudahkan aktivitasnya, oleh karena itu pentingnya

kesinambungan dan ketersediaan energi listrik harus dikembangkan hingga masa yang akan datang. Rencan Umum Energi Nasional (RUEN) hingga tahun 2025 mencapai 23% dan 31% pada tahun 2050 dalam baruan energi nasional, namun capaian energi baru terbarukan (EBT) hingga tahun 2021 mencapai 11,7% [1]

Indonesia memiliki potensi penyinaran matahari yang cukup baik, Indonesia sendiri merupakan negara tropis yang mempunyai potensi energi surya dengan iradiasi harian rata-rata sebesar 4,5 – 4,8 kWh/m² per hari[2] . Dikutip dari global solar atlas dimana kota Mataram memiliki global tilt irradiation harian sebesar 5,3 kWh/m² per hari.

Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral yang telah ditetapkan pemerintah. Ketentuan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya No. 49 Tahun 2018 mengenai ekspor energi listrik[3], dimana pada pasal 5 menyatakan bahwa kapasitas dibatasi paling tinggi 100% (seratus persen) dari daya tersambung Pelanggan PLTS rooftop. Kemudian pada pasal 6 menyatakan bahwa energi listrik PLTS rooftop yang diekspor, dihitung berdasarkan nilai kWh ekspor yang tercatat energi listrik.[1]

Kawasan perumahan perkotaan rata-rata sudah teraliri oleh listrik sepenuhnya namun masih jarang ditemukan perumahan yang menggunakan PLTS sebagai sumber energi listrik harian.[4] Pentingnya pemanfaatan tenaga surya dapat dimulai untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam skala rumah tangga yang berada dipertanian dan bisa juga menjadi sarana investasi jangka Panjang.[5]

Berdasarkan uraian diatas maka didapatkan sebuah ide mengenai Perencanaan PLTS Rooftop Untuk Kawasan Perumahan Di Kota Mataram Berdasarkan pemetaan potensi iradiasi, sehingga pada penelitian ini penulis ingin mengetahui kapasitas, produksi energi PLTS, toal anggaran dan *payback priode*. Sehingga penulis mengatasi permasalahan yaitu dengan mencari perkiraan energi keluaran dan membandingkan perkiraan energi dengan menggunakan perhitungan manual dan *Pvsyst* sehingga mengetahui berapakah energi keluaran dari PLTS rooftop tersebut dan juga mengetahui berapakah total anggaran dalam

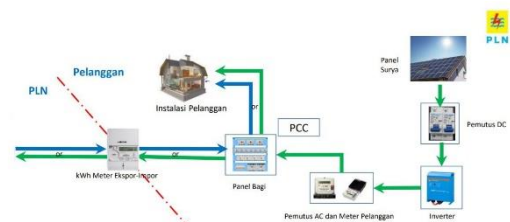
perencanaan PLTS rooftop dan juga *Nett present cost, Nett present benefit, dan nett present value*. [6]

II. METODOLOGI

Dalam penelitian ini rancangan penelitian yang digunakan adalah jenis rancangan kuantitatif, dimana data yang akan dikumpulkan berupa data penggunaan energi siang hari pada rumah tinggal dengan daya dari 2.200-6.600VA dan juga potensi iradiasi dan *PV out* dari hasil pemetaan yang digunakan adalah *software Terra Incognita, Global Mapper* dan *ArcGIS*. Kemudian potensi data tersebut diperoleh dari *Global solar atlas*. Dari data tersebut dapat diperhitungkan kapasitas, energi keluaran dan perhitungan toal anggaran serta perhitungan nilai NPV

A. Skema PLTS Rooftop

Adapun skema dari perencanaan PLTS rooftop ini yaitu, PLTS rooftop ini menggunakan sistem On-grid dimana energi yang dihasilkan dari panel surya di hubungkan dengan inverter, inverter ini akan mengubah arus DC menjadi arus AC kemudian arus tersebut disambungkan pada kWh keluaran dan masukan (Exim) yang telah tersambung dengan jaringan PLN yang bertujuan untuk menghitung energi yang di ekspor dan impor Untuk skema PLTS rooftop ini dapat dilihat pada Gambar 1.[7]

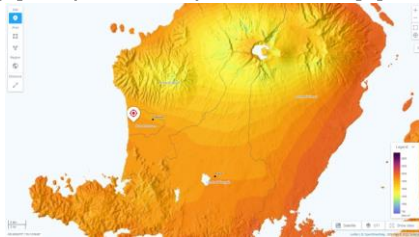


Gambar 1. Skema PLTS rooftop On-Grid

B. Pemetaan Potensi Iradiasi Matahari

Adapun pemetaan di sekitar wilayah perencanaan yaitu di kecamatan Sekarbela kota Mataram, PLTS rooftop memiliki potensi yang cukup baik dalam mengadakan PLTS rooftop di kecamatan

Sekarbela kota Mataram dimana pemetaan iradiasi dapat dilihat pada Gambar 2 dan didapatkan potensi energi harian sebesar 5.206 kWh/m² per-hari[8]. Dapat dilihat pada Tabel 1.[9]



Gambar 2 Pemetaan Potensi Iradiasi Matahari di kota Mataram (Sumber : Global Solar Atlas)

Tabel 1 Informasi Iradiasi per hari(Sumber : Global Solar Atlas)

Jenis	Energi (kWh/kWp per hari)
Specific PVOU	4,185
Direct Normal Irradiation	4,217
Global Horizontal Irradiation	5,206
Diffuse Horizontal Irradiation	2,194
Global Tilted Irradiation	5,303

C. Data Beban Harian

Terdapat satu sampel data beban harian dengan daya kWh meter yang terpasang 5,500VA dan adapun keseluruhan beban-beban elektronik yang ada pada rumah dengan daya terpasang sebesar 5,500VA dapat dilihat pada Tabel sebagai berikut:

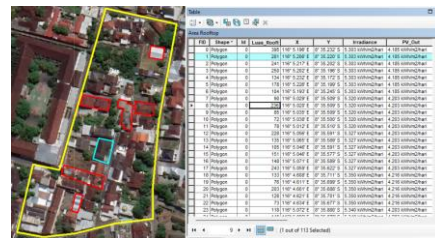
Tabel 2. Data Bebaan Harian

No	Nama	Jumlah (per unit)	Daya (Watt)	Total daya (Watt)	Lama Penggunaaan (jam)	Konsumsi Energi (Wh)
1	Lampu Teras	7	8	56	12	672
2	Lampu dalam	20	6	120	13	1.560
3	Lampu Tampan	15	10	150	12	1.800
4	Ac	4	375	1.500	14	21.000
5	Tv	2	120	240	5	1.200
6	CCTV	1	100	100	24	2.400
8	Kulkas	1	150	150	20	3.000
9	Mesin Cuci	1	350	350	1	350
10	Kipas Angin	1	100	100	5	500
11	Sensika	1	350	350	1	350
12	Pompa Air	1	400	400	3	1.200
13	Water Heater	2	500	500	1	500
14	Rice Cooker	1	400	400	1	400
15	Blender	1	150	150	30	65
16	Dispenser Air	1	500/15	500/15	2, /22	1.330
17	Hair Dryer	1	600	600	00:30	300
18	Komputer Laptop	2	45/250	45/250	6 /2	770
19	Oven	1	400	400	1	400
TOTAL						37.797 Wh

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data yang diperoleh dari hasil pemetaan dapat digunakan sebagai informasi mengenai potensi iradiasi dan PV Out di beberapa titik lokasi di kecamatan Sekarbela. Selanjutnya memetakan area rooftop dan potensi iradiasi dan PV Out sebagai data awal untuk perencanaan PLTS rooftop di kecamatan Sekarbela, kota Mataram. Penelitian ini melakukan pendataan area rooftop dengan memasukan titik koordinat area dan potensi iradiasi dan PV Out yang ada pada Global Solar Atlas kemudian di petakan ke area atap rumah untuk mendaptkan hasil pemetaan dan dibatasi pada daerah di kecamatan Sekarbela, kota Mataram. Penentuan kapasitas area rooftop yaitu dikategorikan untuk perumahan dengan kapasitas pelanggan golongan tarif rendah (R1) dan pelanggan menengah (R2) dengan kapasitas daya yang terpasang yaitu 2.200VA-6.600VA.

Gambar 3. Tampilan hasil area pemetaan pada perumahan



A. Analisis Pemetaan Potensi Iradiasi

Analisis pemetaan potensi ini bertujuan untuk mengetahui berapakah potensi Iradiasi dan PV Out dalam bentuk pemetaan dengan menggunakan software ArcGIS dimana hasil pemetaan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Potensi iradiasi pada area atap perumahan di kecamatan Sekarbela, kota Mataram.

Penentuan data iradiasi pada setiap area yang ada di kecamatan Sekarbela didasari dengan informasi mengenai potensi iradiasi dan PV Out. Dilakukan dengan memasukan titik koordinat longitude dan latitude setelah

mendapatkan titik koordinatnya lalu proses pemetaan pada area tersebut, kemudian pada fitur serach di *Global Solar Atlas*.

Tabel 2. Potensi Iradiasi pada area perumahan Rooftop setiap kelurahan, kecamatan Sekarbela, kota Mataram

No	Area	Titik Koordinat	Irradiance	
			Iradiasi per hari (kWh/m ²)	Iradiasi per tahun (kWh/m ²)
1	Kekalik jaya	8° 35.212' S, 116° 5.208' E	5,206	1.900,3
2	BTN Puri Citra Panjittilar	8° 35.506' S, 116° 5.021' E	5,223	1.906,3
3	Perm. Pesanggrahan Agung	8° 35.601' S, 116° 5.061' E	5,246	1.914,7
4	Lingkar Permai	8° 35.701' S, 116° 4.628' E	5,252	1.916,9
5	Perm. Panji Pesona	8° 35.900' S, 116° 5.070' E	5,241	1.912,9
6	Royal Golden	8° 35.976' S, 116° 5.278' E	5,234	1.910,6
7	Perm. Perumnas	8° 35.711' S, 116° 4.897' E	5,240	1.912,7
8	BTN Rooyal Mataram	8° 37.091' S, 116° 4.684' E	5,296	1933,0
9	Perm. Elit Kota Mataram	8° 37.061' S, 116° 5.064' E	5,287	1.929,7
10	Bumi Kodya Asri	8° 36.694' S, 116° 5.840' E	5,260	1.920,0
11	Perumahan Sekarbela	8° 35.969' S, 116° 5.592' E	5,228	1.908,2
12	Kekalik Timur	8° 35.520' S, 116° 5.448' E	5,211	1.902,0
13	Belakang Museum	8° 35.046' S, 116° 5.269' E	5,195	1.896,3
14	Perm. Kerinci	8° 34.847' S, 116° 5.562' E	5,175	1.889,0
15	Panji Anom 1	8° 35.677' S, 116° 5.158' E	5,225	1.907,2
16	Panji Anom 2	8° 35.696' S, 116° 5.175' E	5,225	1.907,2

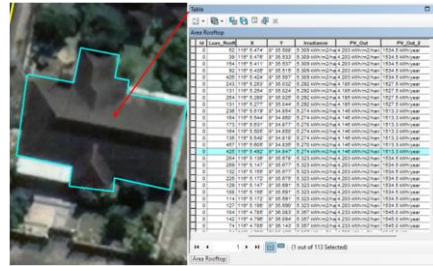
2. Potensi PV Out pada area di kecamatan Sekarbela, kota Mataram

Tabel 3. Potensi rata-rata PV Out pada area perumahan Rooftop di kecamatan Sekarbela, kota Mataram

No	Area	Titik Koordinat	PV Out	
			PV Out (kWh/kWp per hari)	PV Out (kWh/kWp per tahun)
1	Kekalik jaya	8° 35.212' S, 116° 5.208' E	4,185	1.527,5
2	BTN Puri Citra Panjittilar	8° 35.506' S, 116° 5.021' E	4,203	1.534,0
3	Perm. Pesanggrahan Agung	8° 35.601' S, 116° 5.061' E	4,203	1.534,0
4	Lingkar Permai	8° 35.701' S, 116° 4.628' E	4,216	1.538,9
5	Perm. Panji Pesona	8° 35.900' S, 116° 5.070' E	4,203	1.534,0
6	Royal Golden	8° 35.976' S, 116° 5.278' E	4,203	1.534,0
7	Perm. Perumnas	8° 35.711' S, 116° 4.897' E	4,216	1.538,3
8	BTN Rooyal Mataram	8° 37.091' S, 116° 4.684' E	4,261	1.555,4
9	Perm. Elit Kota Mataram	8° 37.061' S, 116° 5.064' E	4,253	1.552,3
10	Bumi Kodya Asri	8° 36.694' S, 116° 5.840' E	4,233	1.545,2
11	Perumahan Sekarbela	8° 35.969' S, 116° 5.592' E	4,192	1.530,2
12	Kekalik Timur	8° 35.520' S, 116° 5.448' E	4,203	1.534,0
13	Belakang Museum	8° 35.046' S, 116° 5.269' E	4,185	1.527,5
14	Perm. Kerinci	8° 34.847' S, 116° 5.562' E	4,146	1.513,3
15	Panji Anom 1	8° 35.677' S, 116° 5.158' E	4,203	1.534,0
16	Panji Anom 2	8° 35.696' S, 116° 5.175' E	4,203	1.534,0

B. Pemetaan area rooftop dalam skala perumahan 2.200-6.600VA

Adapun proses pemetaan dilakukan dengan menentukan area rooftop rumah yang memiliki kapasitas yang berbeda-beda di kecamatan Sekarbela. Berikut ini adalah salah satu sampel rumah dengan daya yang terpasang 5.500VA seperti Gambar 4.

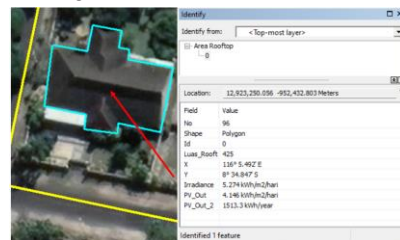


Gambar 4. Sampel Pemetaan Rooftop di salah satu area Rooftop di kecamatan Sekarbela, kota Mataram.

C. Tampilan Hasil Pemetaan Potensi Iradiasi dan PV Out

1. Mengidentifikasi data rooftop per rumah untuk mengetahui informasi yang telah didapatkan

Data area yang telah selesai di petakan dan telah ditambahkan data-data mengenai potensi iradiasi dan PV Out di kecamatan Sekarbela, kota Mataram adapun potensi yang telah diidentifikasi per area rooftop seperti Gambar 5.



Gambar 5. Identifikasi pemetaan per area Rooftop rumah di kecamatan Sekarbela, kota Mataram

2. Tampilan hasil pemetaan potensi iradiasi dan PV Out di sekitar kecamatan Sekarbela, kota Mataram.



Gambar 6. Tampilan Pemetaan Perumahan sekitar kecamatan Sekarbela, kota Mataram

Hasil akhir dari pemetaan di kecamatan Sekarbela terdapat 17 area perumahan dan 112 area pemeaan rooftop yang memiliki potensi iradiasi dan PV Out berebda-beda .

D. Hasil Simulasi PVsyst 7.2 PLTS Rooftop

1. Hasil simulasi Software PVsyst PLTS rooftop Menghadap Utara Hasil *System summary* dan *Results Summary*

System summary			
Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings		
PV Field Orientation	Near Shadings	User's needs	
Fixed plane	No Shadings	Daily profile	
TiltAzimuth		Constant over the year	
	12 / 180 °	Average	44 kWh/Day
System information			
PV Array	Inverters		
Nb. of modules	16 units	Nb. of units	1 Unit
Prom total	5.20 kWp	Prom total	5.00 kWac
		Prom ratio	1.040
Results summary			
Produced Energy	8.02 MWh/year	Specific production	1542 kWh/kWp/year
Used Energy	16.13 MWh/year	Perf. Ratio PR	79.35 %
		Solar Fraction SF	26.45 %

Gambar 7. Hasil Ringkasan Sistem PVsyst Menghadap Utara

Pada Gambar 7 didapatkan hasil ringkasan PLTS rooftop Grid-Connected system menggunakan software PVsyst . munakan 16 modul surya dengan total kapasitas 5.20 kWp menggunakan 1 buah inverter dengan kapasitas 5.0 kWac dan diperoleh rata-rata pemakaian daya dalam sehari yaitu 44 kWh. Didapatkan hasil produksi energi sebesar 8.02 MWh per tahun dengan penggunaan energi

16.13 MWh per tahun dan performa ratio sebesar 79.35% dan solar fraction 26.45%.

2. Hasil simulasi Software PVsyst PLTS Rooftop Menghadap Selatan

Hasil *System summary* dan *Results Summary*

System summary			
Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings		
PV Field Orientation	Near Shadings	User's needs	
Fixed plane	No Shadings	Daily profile	
TiltAzimuth		Constant over the year	
	12 / 180 °	Average	44 kWh/Day
System information			
PV Array	Inverters		
Nb. of modules	16 units	Nb. of units	1 Unit
Prom total	5.20 kWp	Prom total	5.00 kWac
		Prom ratio	1.040
Results summary			
Produced Energy	7.62 MWh/year	Specific production	1466 kWh/kWp/year
Used Energy	16.13 MWh/year	Perf. Ratio PR	79.45 %
		Solar Fraction SF	26.10 %

Gambar 8. Hasil Ringkasan Sistem PVsyst Menghadap Selatan

Pada Gambar 8 didapatkan hasil ringkasan PLTS rooftop Grid-Connected system menggunakan software Pvsyst. Menggunakan 16 modul, kapasitas 5.20 kWp diperoleh rata-rata pemakaian daya 44 kWh. Didapatkan hasil produksi energi sebesar 7,62 MWh per tahun performa ratio sebesar 79.45%

E. Perhitungan Energi Keluaran PLTS Rooftop On-grid

Perhitungan berikut ini sebagai proses untuk menunahi perancangan sistem PLTS rooftop On-grid dengan adanya perhitungan berikut ini diperoleh berapakah besaran kapasitas PLTS dan berapakah produksi energi keluaran PLTS rooftop. Berikut ini adalah tahapan perhitungan energi yang dibutuhkan dalam perancangan PLTS rooftop.

1. Menghitung Energi Harian Pada Saat Waktu Penyinaran Matahari

Menghitung penggunaan energi harian pada kWh meter yaitu menghitung data awal(pagi hari) dan data akhir(sore hari). diperoleh penggunaan energi sebesar 18,5 kWh, bisa dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Analisa Kebutuhan Listrik Berdasarkan Catatan kWh Meter Pada Siang Hari

No	Hari	Stan kWh awal (Pagi hari)	Stan kWh Akhir (Sore Hari)	Setisih (kWh)
1	Senin	37672	37689	17
2	Selasa	37714	37731	17
3	Rabu	37762	37781	19
4	Kamis	37807	37825	18
5	Jum'at	37852	37870	18
6	Sabtu	37896	37916	20
7	Minggu	37942	37963	21
Rata-Rata Penggunaan Listrik Siang Hari				18,5 kWh

2. Menentukan Kapasitas Optimal PLTS rooftop

Diketahui,

Wenergi siang = 18,5 kWh

PV Out = 4,183 kWh/kWp

Penyelesaian,

$P_{Optimal} = 18,5 / 4,183$

= 4,462 kWp

Didapatkan kapasitas PLTS rooftop sebesar 4,462 kWp per hari

3. Menghitung Daya Puncak Sistem PLTS Rooftop

Diketahui,

$P_{optimal} = 4,462$ kWp

Rugi-rugi sistem = 21%

Penyelesaian,

$P_{pucak} (kWp) = 4,462 kW + (4,462 \times 21\%)$

= 4,462 kW + (0.937)

= 5,399 kWp

Perhitungan daya puncak PLTS diatas didapatkan nilai daya puncak yang dihasilkan dari PLTS tersebut yaitu, 5,399 kWp. Selanjutnya dari energi yang telah diperoleh oleh modul surya untuk menentukan penyinaran radiasi surya tertinggi dan terendah. Adapun jika menggunakan data radiasi surya terendah yaitu sebesar 4,1 kWh/m² maka energi yang akan dihasilkan oleh modul surya tersebut dapat dihitung seperti persamaan dibawah ini. Dengan menggunakan persamaan 2.7.

$E_{min} = 5,399 kW \times 4,1$

= 22,135 kWh per hari

Jadi didapatkan energi pada saat radiasi matahari minimum (4,1 kWh/m²)

yaitu sebesar 22,135 kWh per hari. Dan jika menghitung dengan menggunakan radiasi matahari tertinggi (E_{max}) yaitu selama 5.4 kWh/m² dengan menggunakan persamaan 2.8 maka energi yang nantinya akan dihasilkan oleh modul surya tersebut dapat dihitung seperti persamaan dibawah ini.

$E_{max} = 5,399 kW \times 5,4$

= 29,154 kWh per hari

Hasil energi yang dapat dihasilkan oleh modul surya jika menggunakan data radiasi matahari tertinggi maksimum (5.4 kWh/m²) sehingga didapatkan daya keluaran modul surya sebesar 29,154 kWh per hari.

Kemudian mencari energi rata-rata yaitu mencari Peak Sun Hour (PSH) di kecamatan Sekarbela yaitu didiapatkan sebesar 5,2 dimana data PSH ini di peroleh dari Global Solar Atlas. Lalu mencari energi harian dengan menghitung potensi Peak Sun Hour (PSH) dihitung per hari dan per tahun, maka dengan memasukan data rata-rata iradiasi yang digunakan menggunakan Peak Sun Hour (PSH) dengan menggunakan persamaan 2.9 dan 2.10 sehingga dapat dihitung seperti persamaan berikut.

$E_{(PSH)} = 5,399 kW \times 5,2 h$

= 28,074 kWh per hari

$E_{yield} = 28,074 kWh \times 365 \text{ Hari}$

= 10.247 ,30 kWh per

Tahun

Tabel 5. Hasil Perhitungan radiasi matahari dan energi akhir per tahun

Hasil Perhitungan per hari dan per tahun			
E Surya Minimal (kWh per hari)	E Surya Maksimal (kWh per hari)	PSH (kWh per hari)	E_{yield} (kWh per tahun)
22,135	29,154	28,074	10.247,30

Tabel 5 hasil perhitungan per hari dan per tahun radiasi dapat dianalisis bahwa energi yang dapat dihasilkan pada saat radiasi surya minimal yaitu 22,135 kWh per hari, pada saat radiasi

maksimal sebesar 29,154 kWh per hari, sedangkan pada saat Peak Sun Hour didapatkan 28,074 kWh per hari dan perhitungan energi tahunan didapatkan nilai setiap tahunnya sebesar 10.247,30 kWh per tahun

4. Menghitung Luasan Area Efektif dan Memilih Modul Surya

Luasan area efektif (m²) adalah area khusus untuk penempatan modul surya agar mengetahui berapa luasan area yang akan digunakan dalam penempatan modul surya di atap

Diketahui,
 Ppuncak = 5,399 kWp
 Efisiensi Modul Surya = 18,5 %
 Penyelesaian,
 Area(M²) = (5,399 kWp)/0,185m²
 = 29,1 m²

5. Menghitung Kebutuhan Jumlah Modul Surya

Diketahui,
 Ppuncak = 5,399 kWp
 Kapasitas Modul = 300 Wp
 Penyelesaian,
 Jumlah Modul = (5,399 kWp)/(300 Wp)
 = 17,9 = 18 Unit modul surya

6. Memilih Inverter Sesuai Daya

Watt (VA) = 5,399 + (25% × 5,399)
 = 5,399 + 1,349
 = 6,748 kWh

7. Perhitungan Performace Ratio

Diketahui,
 Poptimal = Daya optimal PLTS
 PSH = Peak Sun Hour
 365 = Jumlah hari dalam satu tahun
 Htilt = PSH dalam satu tahun
 PPV = Daya per modul surya
 Penyelesaian,
 E_hari = 4,462 kWp × 5.2
 = 23,202 kWp
 E_yield = 23,202 kWp × 365 hari
 = 8.468,8 kWh per tahun
 H_tilt = (5.2 kWh/m²) × 365 hari
 = 1.898 kWh per tahun/m²

Energi Ideal
 = 0,30 Wp × 18 modul × 1.898 kWh per tahun/m²

Energi Ideal
 = 10.135,32 kWh/tahun/ m²

Sehingga diperoleh PR, sebesar:
 Performance Ratio

= (8.468,8 kWh per tahun)/(10.135,32 kWh per tahun) × 100%
 = 83%

Dari hasil perhitungan performance ratio didapat rasio sebesar 83%, oleh karena itu PLTS rooftop ini dikatakan layak.

8. Tabel Hasil Perhitungan PLTS Rooftop Dengan Daya Bervariasi 2.200-6.600VA

Tabel 6. Hasil Perhitungan Daya PLTS Rooftop 2.200-6.600VA

Daya Terpasang (VA)	Penggunaan kWh Pada Siang Hari (kWh)	P Optimal PLTS Rooftop (kWp)	DAYA KELUARAN PLTS ROOFTOP			
			P Puncak PLTS (kWp)	E Surya Minimal (kWh/Hari)	E Surya Maksimal (kWh/Hari)	E Surya Peak Sun Hour (kWh/Hari)
2.200	7	1,672	2,023	8,294	10,924	10,519
3.500	12	2,867	3,466	14,210	18,716	18,023
6.600	21	5,017	6,070	24,887	32,778	31,564

Tabel 7. Tabel Data Komponen dan Performance Ratio PLTS Rooftop

Daya Terpasang (VA)	Luas Area (m ²)	Jumlah Modul	Inverter (Watt)	Performance Ratio (%)
2.200	11	7	2.000	79
3.500	18	11	3.000	83
6.600	32.8	20	6.000	83

F. Perbandingan Hasil Produksi Dengan Perhitungan Manual dan Pvsyst Menghadap Utara dan Selatan

1. Hasil Perhitungan Produksi Energi Secara Manual Menghadap Utara

Tabel 8. hasil perhitungan manu produksi energi listrik PLTS rooftop menghadap Utara

Langkah	Keterangan	Parameter	Nilai	Unit
1	Kapasitas PLTS	Kapasitas Optimal	4,462	kWp
2		Daya Puncak	5,399	kWP
3	Energi Keluaran PLTS rooftop	E _{Minimal}	22,135	kWh per hari
4		E _{Maximal}	29,154	kWh per hari
5		E _{PSH}	28,074	kWh per hari
6		E _{Yield}	10.247,30	kWh per tahun
7	Modul Surya	Luas Area Efektif	29,1	M ²
8		Jumlah Modul	18	Unit
9	Inverter	Menentukan kapasitas maksimal	6,748	kWh
10	Perofromance Ratio	Perofromance Ratio	83	%

Tabel 8. yaitu hasil perhitungan secara manual PLTS *rooftop* menghadap utara diperoleh kapasitas puncak sebesar 5,399 kWp, energi keluaran PLTS *rooftop* sebesar 28,074 kWh per hari.

2. Hasil Perhitungan Produksi Energi Dengan Menggunakan Pvsyst Menghadap Utara

System summary				
Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings			
PV Field Orientation	Near Shadings	User's needs		
Fixed plane	No Shadings	Daily profile	Constant over the year	
Tilt/Azimuth:	12 / 0 °	Average	44 kWh/Day	
System information				
PV Array	Inverters		1 Unit	
Nb. of modules	18 units	Nb. of units	5.00 kWac	
Prom total	5.20 kWp	Prom total	1.040	
		Prom ratio	1.040	
Results summary				
Produced Energy	8.02 MWh/year	Specific production	1542 kWh/Wp/year	Perf. Ratio PR
Used Energy	16.13 MWh/year			Solar Fraction SF
				79.35 %
				26.45 %

Gambar 9. Hasil Perhitungan Dengan Menggunakan software Pvsyst menghadap utara

3. Hasil Perhitungan Produksi Energi Secara Manual Menghadap Selatan

Tabel 9. Hasil perhitungan manu produksi energi listrik PLTS rooftop menghadap Selatan

Langkah	Keterangan	Parameter	Nilai	Unit
1	Kapasitas PLTS	Kapasitas Optimal	4,218	kWp
2		Daya Puncak	5,103	kWP
3	Energi Keluaran PLTS rooftop	E _{Minimal}	19,901	kWh per hari
4		E _{Maximal}	26,535	kWh per hari
5		E _{PSH}	25,504	kWh per hari
6		E _{Yield}	9,309,24	kWh per tahun
7	Modul Surya	Luas Area Efektif	27,5	M ²
8		Jumlah Modul	17	Unit
9	Inverter	Menentukan kapasitas maksimal	6,378	kWh
10	Perofromance Ratio	Perofromance Ratio	79	%

Tabel 9 yaitu hasil perhitungan secara manual PLTS *rooftop* menghadap selatan diperoleh kapasitas puncak sebesar 5,103 kWp dengan kapasitas tersebut maka diperoleh energi keluaran PLTS *rooftop* sebesar 25,504 kWh per hari

4. Hasil Perhitungan Produksi Energi Dengan Menggunakan Pvsyst Menghadap Selatan

Project summary			
Geographical Site	Situation	Project settings	
Sempur 6,500Va	Latitude	-8.05 °E	Albedo
Indonesia	Longitude	116.09 °E	
	Altitude	22 m	
	Time zone	UTC+8	
Meteo data			
Temper 3,200Va			
Meteorology: E2 (2010-2014), Sat=100% - Synthetic			
System summary			
Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings		
PV Field Orientation	Near Shadings	User's needs	
Fixed plane	No Shadings	Daily profile	Constant over the year
Tilt/Azimuth:	12 / 180 °	Average	44 kWh/Day
System information			
PV Array	Inverters		1 Unit
Nb. of modules	18 units	Nb. of units	5.00 kWac
Prom total	5.20 kWp	Prom total	1.040
		Prom ratio	1.040
Results summary			
Produced Energy	7.62 MWh/year	Specific production	1466 kWh/Wp/year
Used Energy	16.13 MWh/year		Perf. Ratio PR
			Solar Fraction SF
			79.45 %
			26.16 %

Gambar 10. Hasil Perhitungan Dengan Menggunakan software Pvsyst menghadap selatan

G. Perhitunga Tootal Anggaran dan Nilai Penghematan Penggunaan Energi dengan Adanya PLTS Rooftop

1. Anggaran Awal PLTS Rooftop

Tabel 10. Biaya Komponen PLTS Rooftop

Nama Komponen	Jumlah	Harga satuan (Rp)	Total Keseluruhan
Modul Surya 300Wp	18	2.500.000	43.200.000
Combiner Box	1	3.000.000	3.000.000
Inverter Grid Tie 5,000 Wp	1	15.000.000	15.000.000
Biaya pemasangan Net Metering Exim (Rp)	1	1.500.000	1.500.000
Biaya Sertifikat/administrasi	1	150.000	150.000
Total			62.850.000

2. Biaya Operasional dan Maintenance PLTS Rooftop

Adapun kisaran 1-2% tersebut berdasarkan iklim yang ada di Indonesia, Indonesia memiliki dua musim yaitu (musim hujan dan musim kemarau). Operasional dan pemeliharaan dalam satu tahun sebesar 1% .

$$O\&M = 1\% \times 62.850.000 = 628.500,-$$

3. Menghitung Present dan Annual (P/A)

Untuk menghitung present dan annual menggunakan data awal berupa perkiraan umur dari PLTS rooftop selama 25 tahun dan juga suku bunga kredit non KPR 2023 sebesar 15% dengan menggunakan persamaan sesuai persamaan berikut:

Diketahui,

$$i = 15\%$$

$$n = 25 \text{ Tahun}$$

Penyelesaian,

$$P=A \left(\frac{P}{A}\right) \text{ atau } \left(\frac{(1+0.15)^{25}-1}{0.15(1+0.15)^{25}}\right) = 6,46$$

4. PVC Sistem PLTS Rooftop (Present Value Cost)

Present Value Cost yaitu perhitungan untuk mengetahui total anggaran dari sistem PLTS rooftop, Menghitung PP_{Cost} Investasi dan O&M

Diketahui,

$$\text{O\&M} = 628.500,-$$

$$P = 62.850.000,-$$

$$\left(\frac{P}{A}\right) = 6,46$$

Penyelesaian,

$$PP_{Cost} = Rp. 62.850.000$$

$$+ 628.500 \times 6,46$$

$$= Rp 66.910.110$$

5. Menghitung PW_{Cost} Energi PLN Malam Hari

Menghitung PW_{Cost} energi listrik PLN, maka diperoleh penggunaan energi listrik PLN dalam satu tahun sebesar :

Diketahui,

$$W_{Yield} = 8.577,5 \text{ kWh per tahun}$$

$$\text{Cost per kWh} = Rp. 1.699 \text{ per kWh}$$

$$\left(\frac{P}{A}\right) = 6,46$$

Penyelesaian,

$$PW_{cost} = Rp. 1.699 \times 8.577,5 \times 6,46$$

$$= Rp. 94.142.694$$

6. Menghitung PV_{Cost}

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan bahwa biaya Present Value Cost (PV_{Cost}) PLTS rooftop

Diketahui:

PP_{Cost} = Present P Cost total investasi dan O&M

PW_{cost} = Present Penggunaan energi PLN

Penyelesaian:

$$PV_{Cost} = Rp. 66.910.110 + Rp. 94.142.694 = Rp. 161.052.804,-$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh PV_{Cost} sistem PLTS rooftop sebesar Rp. 161.052.804,-

7. PV_B Sistem PLTS Rooftop (Present Value Benefit)

Present Value benefit yaitu penghasilan atau nilai keuntungan yang diperoleh dimana PV_B ini menghitung keuntungan dan manfaat yang diperoleh dari suatu bidang tersebut. Persamaan sebagai berikut.

Diketahui,

$$E_{ekspor} = 9.5 \text{ kWh per hari}$$

$$\text{Harga}_{\text{jual}} = Rp. 1.104,- \text{ dihitung } 65\% \text{ dari harga per kWh}$$

Penyelesaian,

$$PV_B = 9.5 \times 365 \text{ hari} \times Rp. 1.104 \times \left(\frac{P}{A}\right)$$

$$= Rp3.828.120 \times 6.46$$

$$= Rp. 24.729.655$$

8. NPV_B Sistem PLTS Rooftop (Nett Present Value Benefit)

Nett present value yaitu selisih antara pemasukan PV_B (Present Value Benefit) Sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$NPV_B = 24.729.655 - 161.052.804$$

$$= Rp. - 136.323.149$$

Didaptkan (-) dikarnakan PLTS rooftop On-grid ini bertujuan untuk menghemat tagihan listrik bulanan.

H. Perhitungan Anggaran Tanpa Menggunakan PLTS rooftop

Diketahui,

$$W_{PLN} = 42 \text{ kWh per hari}$$

$$P=A \left(\frac{P}{A}\right) = 6.46 \text{ Dilihat Tabel}$$

Bunga Majemuk

$$\text{Tarif per kWh} = Rp. 1.699,-$$

Penyelesaian,

1. PV_{Cost}

$$\begin{aligned} PV_{Cost} &= 42 \text{ kWh} \times 365 \text{ Hari} \times \text{Rp. } 1.699 \\ &\quad \times \left(\frac{P}{A}\right) \\ &= 15.330 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1.699 \times 6.46 \\ &= \text{Rp. } 26.045.670 \times 6.46 \\ &= \text{Rp. } 168.255.028 \end{aligned}$$

2. $PV_{Benefit}$

$$PV_B = \text{Rp. } 0$$

3. $NPV_{Benefit}$

$$\begin{aligned} NPV_B &= 0 - \text{Rp. } 168.255.028 \\ &= \text{Rp. } -168.255.028 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh NPV_B sistem PLN sebesar Rp. -168.255.028,-

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Dari hasil pemetaan terdapat 17 area perumahan yang tersebar di kecamatan Sekarbela, didapatkan rata-rata *irradiance* 5,235 kWh/m² per hari dan 1.910,8 kWh/m²per tahun, dan rata-rata *PV Out* sebesar 4,208 kWh/kWP per hari dan 1.534,0 kWh/kWp per tahun. Dengan penggunaan listrik rumah sebesar 42 kWh per hari didapatkan kapasitas PLTS 5,399 Wp dan diperoleh energi keluaran sebesar 28 kWh per hari diperoleh penghematan tagihan listrik sebesar 14 kWh per hari.
2. Perbandingan produksi energi keluaran PLTS dengan modul surya menghadap utara, diperoleh perhitungan manual sebesar 10,1 MWh per tahun dan *software PVsyst* sebesar 8,02 MWh per tahun dan menghadap selatan diperoleh perhitungan manual sebesar 9,30 MWh per tahun dan *software PVsyst* sebesar 7,62 MWh per tahun, sehingga didapatkan selisih perhitungan sebesar 2,08 MWh per tahun menghadap utara dan selisih 1,68 MWh per tahun menghadap selatan.
3. Penghematan ketika rumah terdapat sistem PLTS *rooftop On-grid* diperhitungkan selama umur PLTS tersebut diperoleh *Nett Present Value* sebesar Rp. -136.323.149 Jika menggunakan PLTS *rooftop* dan Rp. -168.255.028 tanpa menggunakan PLTS *rooftop*. Sehingga dari hasil perhitungan di atas diperoleh

penghematan tagihan listrik sebesar Rp. 23.319.650 jika adanya PLTS.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Menteri, E. Dan, dan S. Daya Mineral, "MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA."
- [2] P. Kantor Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Penelitian Dan, A. Ardiansyah, I. Nyoman Setiawan, dan I. Wayan Sukerayasa, "PERANCANGAN PLTS ATAP ON GRID SYSTEM PENGEMBANGAN KOTA PROBOLINGGO," 2021.
- [3] "ABSTRAK".
- [4] F. Ketenagalistrikan dan D. Energi, "PROGRAM STRATA SATU TEKNIK ELEKTRO."
- [5] M. Fahmi Hakim, J. Teknik Elektro, dan P. Negeri Malang, "PERANCANGAN ROOFTOP OFF GRID SOLAR PANEL PADA RUMAH TINGGAL SEBAGAI ALTERNATIF SUMBER ENERGI LISTRIK," 2017.
- [6] D. Oleh, F. Ketenagalistrikan, dan D. Energi, "PERENCANAAN PLTS OFF GRID DENGAN DAYA OUTPUT 17,694 kWh PADA USAHA DAGANG WARUNG KOPI YAHBIT KUPI BANDA ACEH PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK ELEKTRO," 2016.
- [7] S. Putra, C. Rangkuti, dan J. Teknik Mesin, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Secara Mandiri Untuk Rumah Tinggal," *Seminar Nasional Cendekiawan*, 2016.
- [8] P. Harahap, M. Adam, dan B. Oktrialdi, "Optimasi Kapasitas Rooftop Pv Off Grid Energi Surya Berakselerasi di Tengah Pandemi Covid-19 untuk Diimplemtasikan pada Rumah Tinggal," vol. 5, no. 1.
- [9] T. Zulfadli dan A. Mulkan, "Studi kelayakan energi matahari-angin (hybrid) sebagai sumber daya pompa air untuk sistem pengairan di kawasan Aceh Besar (Visibility study of hybrid solar-wind energy to power up the pump for the irrigation system in the District of Aceh Besar)," 2019.