BAB 2

Tinjauan Pustaka

2.1 Teori Dasar Solar Energi

Radiasi Matahari adalah pancaran energi yang berasal dari proses thermonuklir yang terjadi di Matahari. Energi radiasi matahari berbentuk sinar dan gelombang (wilkipedia). Besarnya radiasi matahari sampai ke bumi tergantung dari jarak matahari terhadap bumi, intensitas radiasi matahari, panjang hari (sun duration) dan pengaruh atmosfer.

Besar nilai rata-rata penyinaran (Irradiance) matahari per tahun disebut solar constant Intensity (Isc) setara 1,367 W / m2 ±1% (World Radiation Centre). Isc digunakan untuk menghitung daya listrik yang diproduksi cell photo voltaic (modul PLTS Atap). Isc tiap daerah di Indonesia berbeda - beda tergantung dari solar geometry dan atmosfer. [8] . Data Isc untuk wilayah seluruh Indonesia dapat di akses melalui Geoportal Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (KESDM) dengan alamat website : (https://geoportal.esdm.go.id/peng_umum/)

2.2 Solar Energi sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap

Partikel foton cahaya matahari jika meghantam atom semi konduktor (Si) mampu melepas elektron dari struktur atom hingga terjadi kekosongan (hole) bermuatan positip (+) dan bertindak sebagai penerima/acceptor atau (P-type semiconductor). elektron yang lepas bermuatan negatif (-) bergerak bebas di daerah pita konduksi sebagai pendonor atau (N-type semiconductor).

P-type dan N-type semiconductor saling menolak dan terjadi polarisasi dan jika disambungkan dengan bahan bersifat konduktor akan menghasilkan arus listrik searah (Direct Current - DC). [9]

Hubungan I dan V tampak pada gambar 2.1. Area B adalah daya maksimum (P_{maks}), arus hubung singkat (Short circuit) I_{SC} didapat dari mengukur pada saat kondisi rangkaian terhubung sehingga tegangan (V) = 0 . Tegangan open circuit (V_{OC}) didapat pada saat kondisi rangkaian terbuka sehingga Arus (I) = 0

Area A adalah titik maksimum daya (Maximum Power Point – P_{mpp}), yang terjadi pada kondisi titik arus maksimum I_{mpp} dan titik tegangan maksimum V_{mpp}. Persamaan untuk kedua kondisi daya tersebut , terlihat seperti dibawah ini :

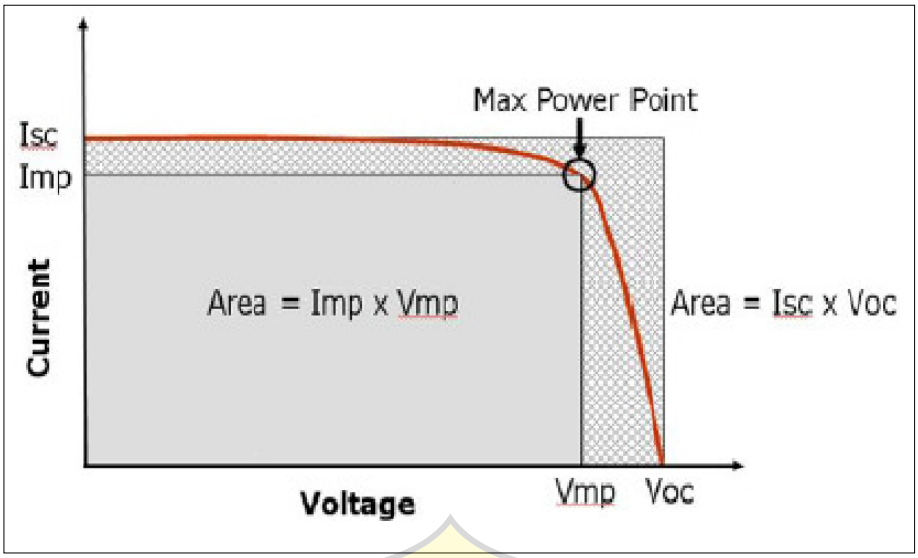
$$P_{maks0} = I_{SC} \times V_{OC} \rightarrow Luas \cdot (B) \quad \text{dan} \quad P_{mpp} = I_{mpp} \times V_{mpp} \rightarrow Luas \cdot (A)$$

Karakteristik cell PV ditentukan oleh Fill Factor dan Efisiensi Konversi, dimana Fill Factor adalah luas A dibagi luas B

$$FF = \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{I_{SC} \times V_{OC}}$$

Sedangkan efisiensi konversi energi (η) adalah daya output maksimum (P_{mpp}-Watt) dibagi energi cahaya masuk (E_{in}, W/m2) dikali luas sel surya (A, m2).

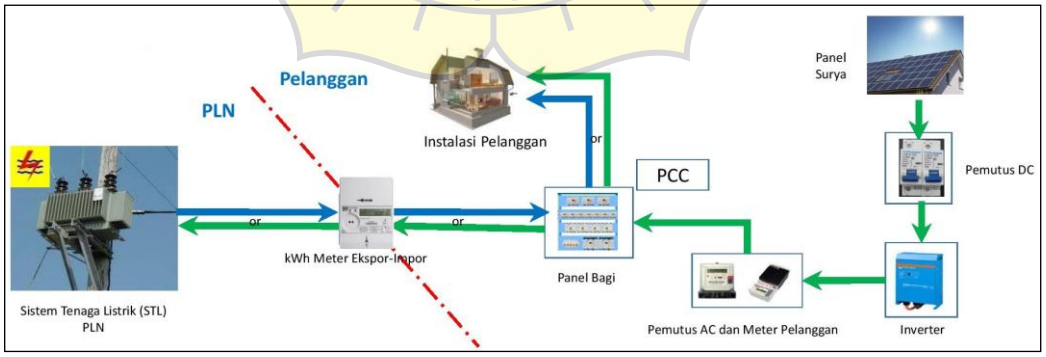
$$\eta = \frac{P_{mpp}}{E_{in}} xA$$



Gambar 2. 1 Hubungan antara I dan V pada cell Photo Voltaic

Jenis cell PV di pasaran saat ini ada 3, yaitu monocrystalin, pollycrystalin dan amorphous dengan karakteristik yang berbeda. Untuk monocrystalin dan polycrystalin efisiensi mencapai 14% s/d 16% bahkan produk tertentu sudah lebih dari 16%..

Gambar 2.2 adalah sistek kerja PLTS Atap On Grid PLN dan tabel 2.1 dan tabel 2.2 adalah sepesifikasi teknis dan daftar komponen PLTS Atap .



Gambar 2. 2 Rangkaian PLTS Atap dengan kWH ekspor/impor.[10]

Data dan Spesifikasi Teknis Modul PLTS Atap **Monocrystalline Photovoltaic Modules**							
Deskripsi Data	50 Wp	80Wp	100 Wp	130Wp	200Wp	250Wp	300Wp
A. Data Elektrikal							
1. Peak Power Watt-(WP)	+3%	+3%	+3%	+3%	+3%	+3%	+3%
2. Power Output Tolerance-P (%)	18.40	19.20	18.70	26.00	37.00	48.00	50.59
3. Maximum Power Voltage-Vmp (V)	2.72	4.21	5.36	5.04	5.57	5.27	5.94
4. Maximum Power Current-Imp (A)	22.00	22.20	22.50	32.00	45.00	60.00	69.04
5. Open Circuit Voltage-Voc (V)	2.93	4.99	5.78	5.43	5.93	5.68	5.83
6. Short Circuit Current-Isc (A)	>14%	>15%	>15%	>15%	>16%	>16%	>16%
7. Module Efficiency (%)							
Keterangan : Values at standard Test Conditions STC (AirMass AM 1.5, Irradiance 1000W/m²,Cell Temperature 25℃)							
B. Data Frame, Glass & Junction Box	**General Data**				**Temperatur Rating**		
Glass	High Transmission, Low Iron, Tempered Glass 3.2 mm				Nominal Operating Cell Temp. 47°C (±2°C)		
Frame	Anodized Aluminum, 10 Draining Holes in Frame				Temperature Coefficient of P -0.46%/°C		
	10 Draining Holes in Frame				Temperature Coefficient of V -0.35%/°C		
Junction Box	TUV Certified, MC4 Connector				Temperature Coefficient of I 0.03%/°C		

Tabel 2. 1 Sepesifikasi teknis modul PV tipe monocrystaline

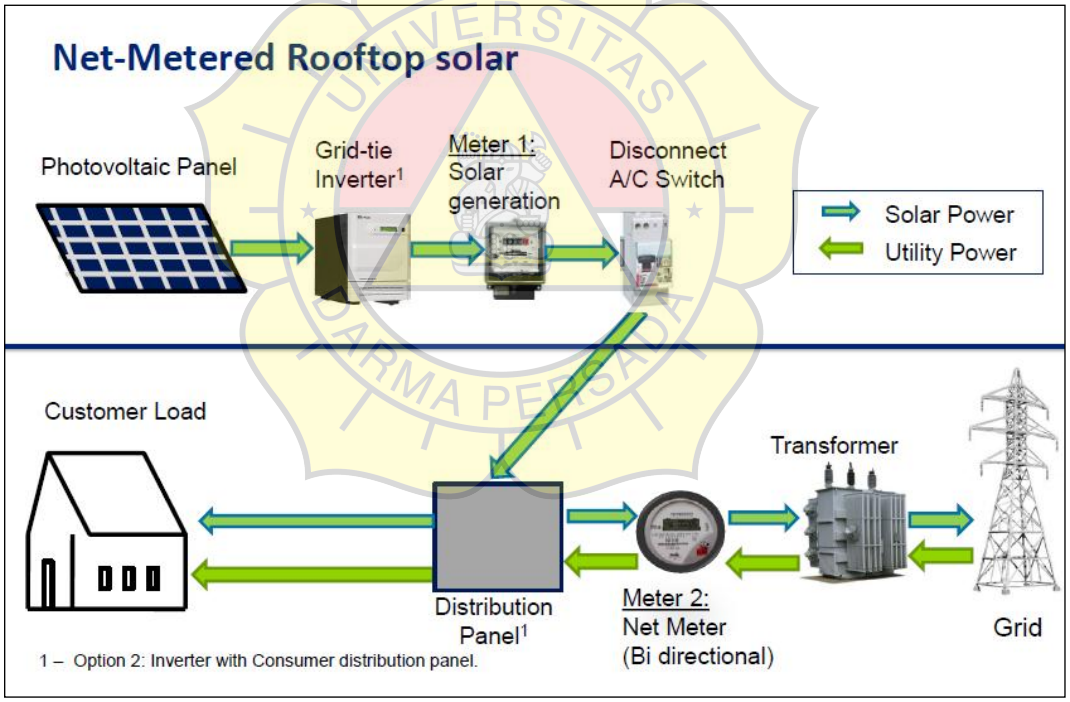
Daftar Komponen PLTS Atap **Kapasitas 1000 Wp sd 5000 Wp**				
Uraian	Type	Sepesifikasi	Qty	Unit
A.PERALATAN ELEKTRIKAL				
1. Solar Panel	Mono/Poly Cristaline	250 Wp	Set	1
2. Inverter	GTI	Up to 1.5 kw	set	1
3. Panel Junction Box	ABS	IP 65 (Outdoor Type)	set	1
4. DC Disconnect		IP 65 (Outdoor Type)	set	1
5. Panel Interkoneksi	ABS	IP 65 (Outdoor Type)	set	1
6. Kabel dan aksesories, al :				
- PV to Combiner	NYYHY	2x4mm2	m	10
- Combiner to Panel Control	NYYHY	2x4mm2	m	10
- Panel Control to Load	Twisted	2x35 mm2	m	16
- kWH Exim to Panel Control	Twisted	2x35 mm2	m	2
- Cable ducting/Pipa	Plastik	2.5 inch	m	10
- Skun,paku dan isolasi			set	1
B. Konstruksi				
- Solar Mounting	Roof top	Besi HDG	set	1

Tabel 2. 2 Daftar komponen dan peralatan PLTS Atap

2.3 Sistem kWH Meter Ekspor/Impor

Ada 3 (tiga) jenis sistem kWH meter ekspor/Impor, antara lain : (sumber : http://www.proteustechnologies.co).

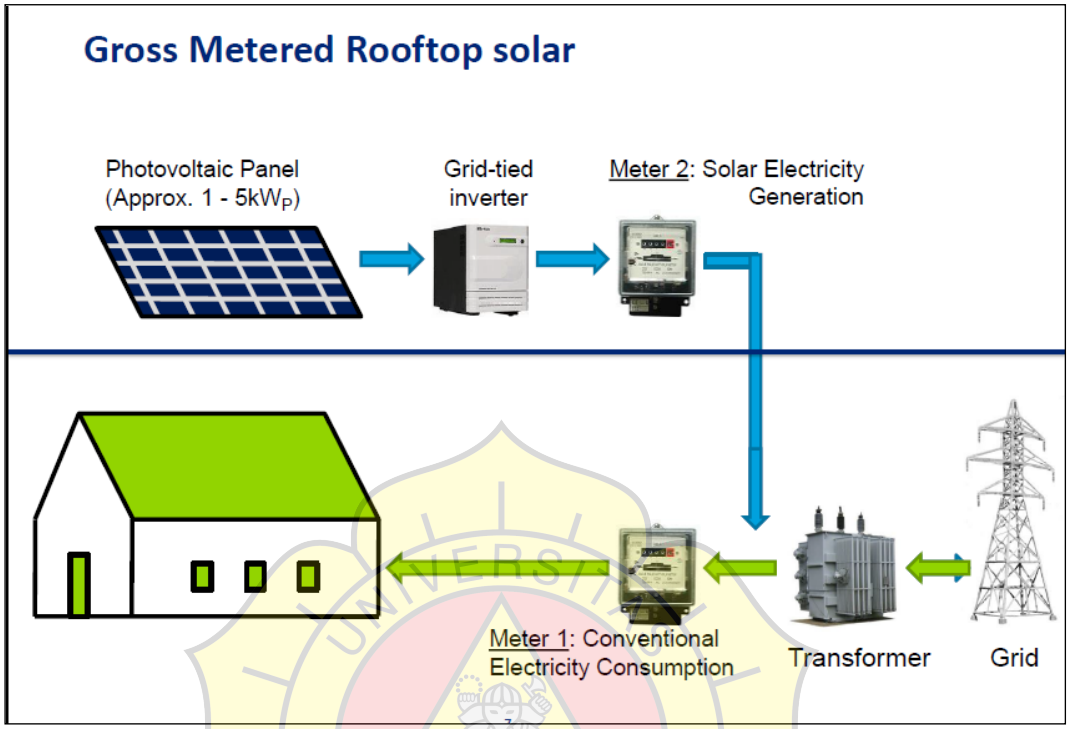
1. Net Metering yaitu energi dari PLTS Atap digunakan untuk kebutuhan konsumsi dan jika ada kelebihan akan di ekspor ke grid PLN dan Jika terjadi defisit maka akan mengimpor daya dari grid PLN. KWH meter sistem Net Metering hanya akan mencatat besarnya selisih ekspor/impor dan akan menjadi dasar perhitungan biaya listrik bulanan. Sistem ini digunakan PT. PLN dan diagram sistem Net Metering seperti tampak pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Diagram kWH meter ekspor/impor Net Metering. [11]

2. Gross Metering jika daya listrik yang dihasilkan oleh PLTS Atap diekspor seluruhnya ke grid PLN dan dicatat di metering ekspor sedangkan kebutuhan listrik untuk konsumsi di impor seluruhnya dari grid PLN dan di catat di metering Impor, tampak pada gambar 2.4.

.



Gambar 2. 4 Diagram kWH meter ekspor/impor Gross Metering [11]

Dengan sistem gross metering transaksi penjualan energi listrik ke PLN dan tagihan pemakaian listrik dari PLN proses jual dan beli energi listrik benar – benar terpisah

3. Fit in Tarif adalah tarif yang dibayarkan kepada pengembang PLTS tersentral untuk menghasilkan dan menjual daya listrik ke PLN melalui jaringan yang telah ditentukan dan disepakati bersama. Selanjutnya daya listrik yang masuk ke jaringan PLN didistribusikan ke pelanggan PLN yang lainnya.

2.4 Regulasi Pemanfaatan PLTS Atap

Selain UU nomor 30 tahun 2007 tentang Energi dan PP nomor 79 tahun 2009 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN), Regulasi dan peraturan turunan yang mendasari dari tesis ini, antara lain :

1. PERPRES nomor 22 tahun 2017 tentang RUEN dimana dalam lampirannya tertulis hal-hal sebagai berikut :
    a. Pengembangan PLTS diproyeksikan sebesar 6,5 GW pada tahun 2025 dan 45 GW pada tahun 2050 atau 22% dari potensi surya sebesar 207,9 GW.
    b. Untuk mencapai sasaran pengembangan PLTS, kegiatan yang dilakukan, antara lain :
        i. Memberlakukan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 30% dari luas atap untuk seluruh bangunan Pemerintah.
        ii. Memberlakukan kewajiban pemanfaatan sel surya minimum sebesar 25% dari luas atap bangunan rumah mewah, kompleks perumahan, apartemen melalui Izin Mendirikan Bangunan (1MB).
        iii. Memfasilitasi pendirian industri hulu hilir PLTS
2. PERMEN ESDM no. 50 tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) untuk Penyediaan Tenaga Listrik. Dalam peraturan ini jual beli energi listrik PLTS ditetapkan sebagai berikut :
    a. Jika BPP setempat < BPP nasional maka pembelian oleh PLN sebesar 100% BPP stempat.
    b. Jika BPP stempat > BPP Nasional maka Pembelian Energi listrik oleh PLN ditetapkan 85% dari BPP setempat.
3. Keputusan Menteri ESDM no. 55 tahun 2019 tentang ketentuan BPP setempat dan BPP nasional PT. PLN tahun 2018. Dalam peraturan ini memuat mengenai BPP daerah di Indonesia yang berlaku sejak tanggal 1

April 2019 s/d 31 Maret 2020 dengan asumsi 1 USD sama dengan Rp. 14.246,-..

4. PERMEN ESDM no. 49 tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem PLTS Atap oleh konsumen PT. PLN (Persero). PERMEN tersebut juga memuat batasan dalam aplikasi PLTS Atap, antara lain :

    a. Kapasitas sistem PLTS Atap dibatasi paling tinggi 100% (seratus persen) dari daya tersambung konsumen PT PLN (Persero), ditentukan dengan kapasitas total inverter.

    b. Energi listrik PLTS Atap yang diekspor dihitung berdasarkan nilai kWH ekspor yang tercatat pada meter kWH ekspor/impor dikali 65% (enam puluh lima persen).

    c. Apabila jumlah energi listrik yang diekspor lebih besar dari jumlah energi listrik yang diimpor pada bulan berjalan, selisih lebih akan diakumulasikan dan diperhitungkan sebagai pengurang tagihan listrik bulan berikutnya, dan paling lama 3 (tiga) bulan berturut-turut selanjutnya akan di buat nihil atau di nol kan (Re Set).

    d. PLTS Atap tidak dikenai biaya kapasitas (capacity charge) dan biaya pembelian energi listrik darurat (emergency energy charge) .

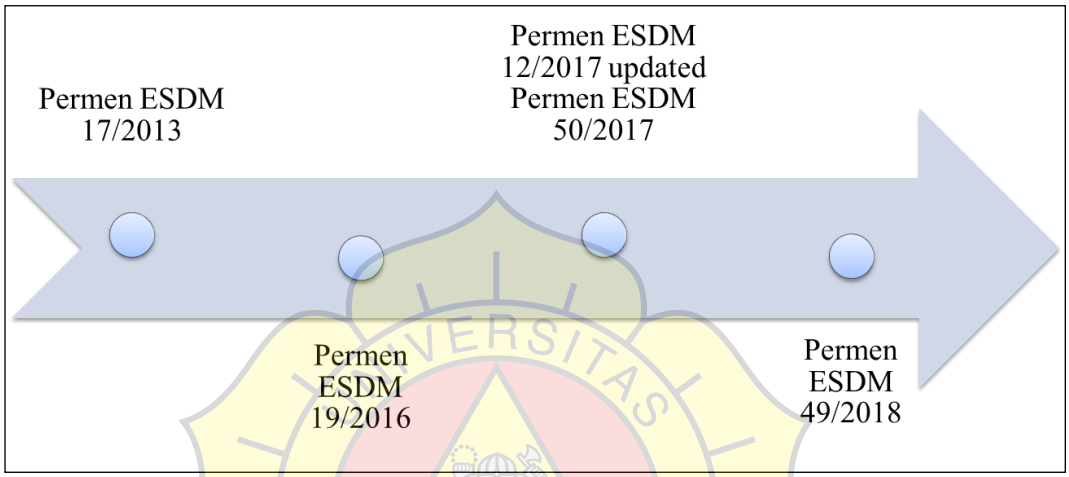
Menurut beberapa stake holder dari Pemerintah dan PT. PLN mengenai alasan faktor pengali sebesar 65% dari energi yang diekspor ke grid PLN, antara lain :

1. Listrik PLTS Atap sangat intermiten sehingga jaringan listrik PLN berfungsi sebagai penstabil sistem interkoneksi.

2. Pada siang hari produksi PLN berlebih dan biaya produksi relatif murah dibanding malam hari namun PLN masih harus menerima listrik dari PLTS Atap, sedangkan malam hari biaya produksi listrik PLN lebih mahal dibanding siang hari namun PLN tetap harus menyalurkan listrik ke pelanggan, untuk selisih tersebut perlu ada normalisasi factor yaitu setara dengan 65% dari listrik yang di ekspor ke jaringan PLN.

3. Perspektif yang lain biaya pembangkitan PLN sebelum ditambah biaya transmisi dan distribusi adalah 0,65 jadi 0,35 adalah jasa simpan ke PLN untuk mengcover biaya penyediaan jaringan termasuk susut.

Roadmap mengenai kebijakan pengembangan PLTS di Indonesia, telah mengalami berbagai perubahan, seperti terlihat pada gambar 2.5 berikut ini [12].



Gambar 2. 5 Roadmap kebijakan PLTS Atap di Indonesia s/d 2018

2.5 Studi Kelayakan Ekonomi

Untuk mengetahui kelayakan ekonomi pemasangan instalasi PLTS Atap, dengan cara membuat 3 (tiga) Parameter perhitungan dan analisa, sebagai berikut :

1. Biaya rekening per tahun
2. Penghematan Biaya rekening per tahun
3. Pengembalian biaya instalasi PLTS Atap (Pay back Period-PBP)

Biaya rekening per tahun dapat dihitung dengan mensimulasi pola pemakaian beban listrik untuk semua peralatan dari pelanggan PLN tipe R-1 dan R-2 yang menggunakan daya listrik sehingga didapatkan energi konsumsi dari pelanggan PLN R-1 dan R-2. Adapun rumus perhitungan energi konsumsi listrik, sebagai berikut :

$$E_k = \sum_a^z (PxtxD_f xU_f)$$

Dimana,

E_k	*Energi konsumsi masing-masing peralatan (kWH)*
P	*Daya Listrik masing-masing peralatan (kW)*
t	*Durasi pemakaian peralatan dalam 1 hari (Jam)*
D_f	*Demand Factor Peralatan (standard PUIL PLN nilai 0 s/d 1)*
U_f	*Utility factor dari masing-masing ruangan (nilai 0 sd 100%)*

Perhitungan biaya rekening per bulan didapat dari Energi konsumsi listrik pelanggan per bulan dikalikan TDL PLN.

$$PBRL = E_k xTDL$$

Dimana,

E_k	*Energi konsumsi masing-masing peralatan (kWH)*
PBRL	*Biaya rekening (IDR)*
TDL	*Tarif Dasar Listrik (IDR)*

Perhitungan dan simulasi biaya rekening dilakukan tanpa PLTS Atap dan dengan aplikasi PLTS Atap untuk kapasitas sambungan daya listrik yang sama.

Penghematan biaya rekening per tahun dihitung dari selisih biaya rekening per tahun tanpa PLTS Atap dikurangi dengan biaya rekening per tahun setelah aplikasi PLTS Atap. Perhitungan dilakukan untuk tipe pelanggan PLN yang sama.

Pengembalian biaya instalasi PLTS Atap (Pay Back Periode-PBP) adalah sebuah parameter yang menghitung seberapa cepat waktu yang diperlukan untuk mengembalikan suatu investasi, dalam satuan tahun, bulan dan hari.[13]

Dalam hubungan dengan PLTS Atap PBP dihitung dari perbandingan Biaya Investasi (instalasi PLTS Atap termasuk biaya SLF dan pengadaan metering KWH ekspor/impor) terhadap Biaya Penghematan Listrik Per tahun,

$$\textit{Pay Back Period}\ (\text{PBP}) = \frac{\text{Biaya Investasi}}{\text{Penghematan biaya per tahun}}$$

PBP untuk aplikasi PLTS Atap dianggap menarik bagi pelanggan PLN apabila mencapai kurang dari 8 (delapan) tahun. [12]