

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Dari penelitian tentang PLTS yang telah dilakukan terdahulu, penulis mencantumkan beberapa penelitian terdahulu untuk mendukung dan sebagai acuan bahan referensi untuk penulisan skripsi ini, diantaranya :

Muhammad Naim dan Setyo Wardoyo (2017) Akademi Teknik Sorowako, dalam jurnalnya tentang “Rancangan Sistem Kelistrikan PLTS *On-Grid* 1500 Watt Dengan *Back Up Battery* di Desa Timampu Kecamatan Towuti”. Penelitian tentang PLTS *On-Grid* 1500 Watt dengan *back up* baterai merupakan sistem kelistrikan yang terintegrasi dengan sumber kelistrikan PLN. Jaringan PLN menjadi sumber utama dan PLTS *On Grid* sebagai energi listrik tambahan untuk menyuplai beban. Energi tambahan PLTS *On-Grid* disimpan di baterai yang berguna untuk menyimpan daya yang nantinya digunakan pada saat terjadinya gangguan pada jaringan PLN. Pada jurnal ini tidak menggunakan perbandingan *software*.

Safrizal (2017) dalam jurnalnya yang berjudul “ Rancangan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Listrik Pada Gedung Fakultas Sains Dan Teknologi UNISNU Jepara “ PLTS merupakan salah satu energi alternatif pengganti energi listrik yang bersumber dari bahan bakar fosil (PLN). Pada gedung saintek dalam waktu 24 jam membutuhkan daya sebesar 383,294 kWh. Dengan daya sebesar 383,249 kWh gedung saintek membutuhkan total panel surya 325 unit, dengan spesifikasi panel surya per unit 280 wp yang disusun secara paralel 25 unit dan seri 13 unit, menggunakan *Bi-directional* inverter 45kW dan *battery* yang berkapasitas 2331 Ah, PLTS mampu menggantikan energi listrik pada gedung SAINTEK yang bersumber dari bahan bakar fosil (PLN). Dan dengan kapasitas *PV Array* 89,864 kWh, PLTS pada gedung SAINTEK dapat membangkitkan daya rata-rata harian sebesar 418,59 kWh. Pada jurnal ini tidak menggunakan perbandingan *software*.

Dede Irpan Riswandi dan Ibnu Kahfi Bactiar (2017) dalam jurnalnya yang berjudul “ Simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya 30 kWp *On-Grid* di Kampus Universitas Martim Raja Ali Haji (UMRAH) Menggunakan *Software PV*SOL* “



Penelitian ini bertujuan untuk menyimulasikan PLTS *On-Grid* 30kWp menggunakan *software PV*SOL*. Berdasarkan simulasi dengan menggunakan 3 unit *inverter* dan modul surya 135 unit, modul surya dapat menerima radiasi matahari 1502,8 kWh/m²/tahun dan membangkitkan energi 29607 kWh/tahun. Dari simulasi *software PV*SOL* keuntungan yang dapat disuplai ke *grid* PLN selama setahun sebesar 25106 kWh/tahun. Pada jurnal ini tidak menjelaskan tentang berapa panel yang dihubungkan seri dan paralel.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, maka pada penelitian kali ini akan menganalisa Saving Energy Listrik Menggunakan PLTS *On-Grid* 96 kWp. Untuk perhitungan daya output PLTS *On-Grid* 96 kWp akan dihitung secara manual berdasarkan radiasi matahari di Kampus UNISNU Jepara yang didapat dari data NASA *Power* dan juga menggunakan *software PVsyst* sebagai alat simulasi perhitungan, hasil perhitungan energy produksi PLTS tersebut nantinya dapat menjadi acuan untuk menyuplai beban dan jika ada kelebihan energi listrik yang dibangkitkan oleh PLTS akan disalurkan ke jaringan PLN dengan sistem barter kWh antara PLTS dan PLN.

2.2. Dasar Teori

Untuk melakukan penelitian diperlukan dasar teori sebagai bahan acuan. Dasar teori dapat ditentukan dari berbagai penelitian terdahulu, buku, artikel, maupun jurnal ilmiah yang berkaitan dengan penelitian.

2.2.1. PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

Merupakan suatu pembangkit listrik yang memanfaatkan energi dari sinar matahari melalui sel surya untuk dikonversi menjadi energi listrik. Faktor intensitas matahari, faktor kondisi cuaca lingkungan, faktor temperatur PV modul dan faktor lingkungan sangat berpengaruh terhadap unjuk kerja pada PLTS. Sel surya (Photovoltaic) yang mendapat penyinaran sinar matahari merupakan salah satu sumber energi yang sangat menjanjikan. Dalam keadaan puncak atau pada saat matahari tegak lurus diatas permukaan sel surya, sinar matahari yang jatuh

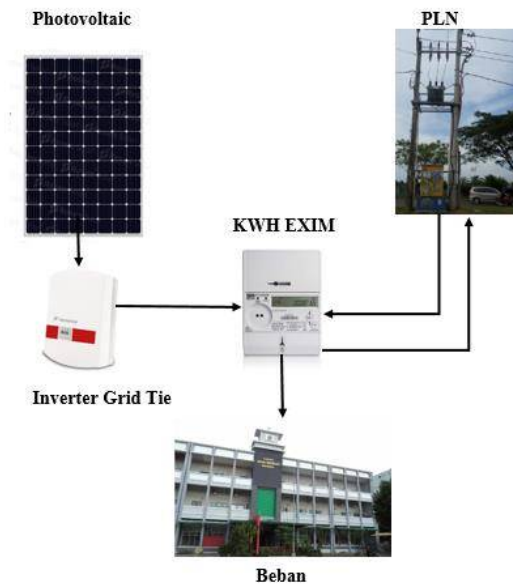
dipermukaan sel surya seluas satu meter persegi akan mampu menghasilkan energi listrik 900 sampai 1000 Watt.

Pada dasarnya PLTS adalah suatu pencatu daya yang dapat dirancang untuk mencatu daya kebutuhan listrik dari yang kecil sampai yang besar, baik secara *hybrid* maupun mandiri, baik dengan menggunakan metode desentralisasi (satu rumah pembangkit) maupun dengan menggunakan metode sentralisasi (listrik didistribusikan dengan jaringan kabel). Energi terbarukan yang energinya melimpah dengan memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energinya dan tidak menimbulkan kebisingan serta tidak mengeluarkan gas buangan atau limbah adalah PLTS, (Naim & Wardoyo, 2017).

2.2.2. PLTS *On-Grid*

PLTS *On-Grid* merupakan penerapan dari solusi energi alternatif untuk daerah-daerah yang sudah dialiri oleh jaringan listrik seperti perkotaan, perumahan, dan perkantoran. Sistem PLTS *On-Grid* menggunakan panel surya sebagai sumber utama pembangkit listrik yang mana jaringan listrik akan disalurkan ke jaringan PLN dengan sistem barter yang dapat mengurangi tagihan listrik bulanan. Untuk mendapatkan listrik yang semaksimal mungkin sesuai dengan keperluan yang digunakan PLTS *On-Grid* akan tetap terhubung dengan sistem jaringan PLN.

Pada waktu siang hari dengan intensitas matahari yang sangat tinggi maka panel surya akan mendapatkan energi dari sinar matahari yang cukup baik dan dikonversi menjadi energi listrik. Listrik yang dihasilkan oleh panel surya berupa listrik searah (DC) yang mana akan diubah menjadi listrik bolak-balik (AC) melalui alat *Grid Tie Inverter* sehingga dapat digunakan untuk berbagai macam peralatan elektronik yang ada di rumah.



Gambar 2.1 Konfigurasi PLTS *On-Grid*

Jadi pada waktu siang hari, kebutuhan energi listrik disuplai langsung oleh panel surya. Dalam keadaan tertentu jika panel surya menghasilkan energi listrik lebih besar dari yang dibutuhkan beban maka sistem transfer kWh dapat diterapkan di sistem PLTS *On-Grid* ini untuk dijual ke PLN dengan sistem barter kWh sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Akan tetapi jika suatu saat mengalami kondisi minim cahaya matahari atau pada saat malam hari sistem akan berganti menggunakan jaringan PLN. Hal ini dikarenakan sistem jaringan PLTS dan sistem jaringan PLN saling terintegrasi.

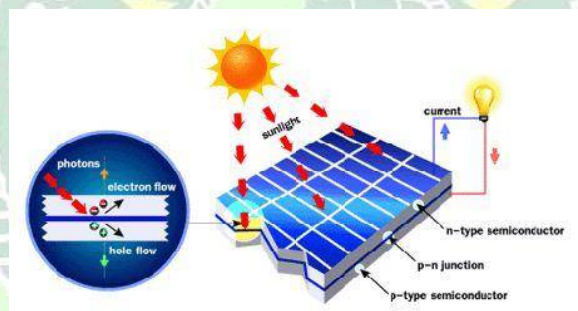
2.2.3. Komponen-komponen PLTS *On-Grid*

Adapun komponen-komponen yang digunakan dalam PLTS *On-Grid* adalah sebagai berikut :

2.2.3.1. Sel Surya (*Photovoltaic*)

Sel surya (*Photovoltaic*) adalah semikonduktor *device* berpermukaan luas yang terdiri dari sebuah rangkaian dioda tipe P dan N. Cahaya matahari yang menyinari sel surya dapat menghasilkan elektron dan *hole* yang bermuatan positif

dan negatif yang selanjutnya membentuk listrik searah, timbulnya arus listrik yang mana elektron meninggalkan sel surya dan mengalir pada rangkaian luar itulah yang biasa disebut prinsip *photovoltaic*. Panjang gelombang cahaya yang menyinari sel surya dan intensitas cahaya sangat mempengaruhi hasil dari kapasitas arus. Jumlah foton ditentukan oleh intensitas matahari, semakin besar intensitas matahari maka semakin besar foton yang dimiliki sehingga dapat menghasilkan banyaknya pasangan elektron dan hole yang dapat menghasilkan besarnya arus listrik yang mengalir. Pendeknya gelombang cahaya mengakibatkan tingginya energi foton yang dapat menghasilkan elektron yang besar dan dapat berimplikasi besarnya arus yang mengalir. Sel surya terbuat dari bahan material yang mudah berkarat dan mudah pecah, dibuat dalam bentuk panel-panel yang berukuran kisaran 10-15cm² yang dilapisi plastik atau kaca bening yang kedap air. Untuk memperoleh kapasitas daya yang besar, maka modul surya harus dihubungkan secara seri dan parallel dalam beberapa modul membentuk array,



(Safrizal, 2017).

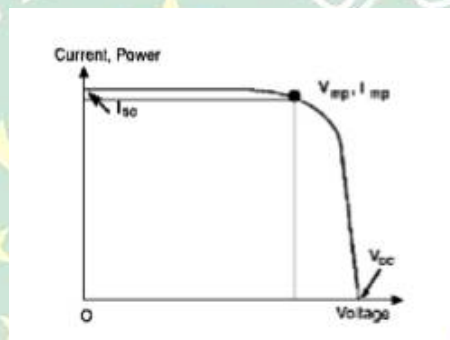
Gambar 2.2 Prinsip Kerja Panel Surya

Kapasitas daya output yang dihasilkan panel surya maximum dapat diukur dengan besaran satuan *wattpeak* (wp), yang dikonversi terhadap *watthour* (wh) tergantung intensitas cahaya matahari yang menyinari permukaan panel. Untuk mendapatkan nilai tegangan dan daya sesuai yang dibutuhkan beban, panel surya harus dihubungkan seri dan parallel, dengan aturan sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan tegangan keluaran dua kali lebih besar dari tegangan keluaran panel surya, maka dua unit panel surya harus dihubungkan secara seri.

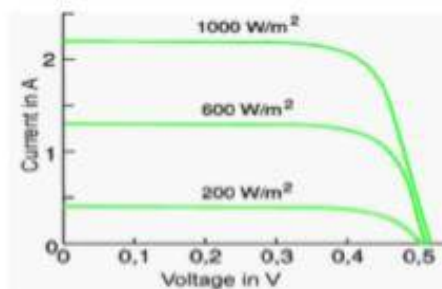
2. Untuk mendapatkan arus keluaran yang dua kali lebih besar dari arus keluaran panel, maka dua unit panel surya harus dihubungkan secara paralel.
3. Untuk mendapatkan daya keluaran yang dua kali lebih besar dari daya keluaran panel surya dengan tegangan yang sama maka dua unit panel surya harus dihubungkan secara seri dan parallel.

Total pengeluaran daya listrik dari sel surya sebanding dengan tegangan operasi dikalikan dengan arus saat ini. Sel surya dapat menghasilkan arus tegangan yang berbeda-beda, dalam hal ini berbanding terbalik dengan baterai yang menghasilkan arus dari tegangan yang konstan. Karakteristik output dari sel surya bisa dilihat dari kurva performansi, yang biasa disebut I-V curve. I-V curve menunjukkan hubungan arus dan tegangan, (Safrizal, 2017).



Gambar 2.3 Curva I-V

Gambar 2.3 menunjukkan tipikal kurva I-V. Arus (I) merupakan sumbu vertikal dan tegangan (V) merupakan sumbu horizontal. Kebanyakan kurva I-V diberikan dalam *standar Test Condition* 1000 watt per meter persegi radiasi (satu matahari puncak/*one peak sun hour*) dan 25 derajat celcius suhu solar panel.



Gambar 2.4 Karakteristik Daya yang Dihasilkan Watt/m² Kapasitas PV

Dalam perkembangannya didunia industri saat ini, panel surya dibedakan dalam beberapa jenis, yaitu :

1. Monokristal (*Monocrystalline*)

Panel surya jenis ini merupakan panel yang paling efisien yang di buat dengan teknologi terbaru dan menghasilkan daya listrik yang paling tinggi per satuan luas. Panel ini secara fisik dapat dilihat dari warna sel yang hitam gelap dan modelnya berbentuk segi delapan yang terpotong tiap sudut panel. Efisiensi dari panel *monocrystalline* berkisar sampai 15%. Memiliki kelemahan yang mana tidak berfungsi jika cahaya matahari berkurang, Efisiensinya akan berkurang drastis jika cahaya matahari yang menyinari tertutupi oleh awan (mendung).



Gambar 2.5 Panel Surya *Monocrystalline*

2. Polikristal (*Polycrystalline*)

Panel surya jenis ini merupakan panel yang efisiensinya lebih rendah dibandingkan panel *monocrystalline*, dan harganya juga lebih rendah dari tipe panel *monocrystalline*. Panel ini secara fisik berwarna biru dengan guratan-guratan yang didalamnya tampak seperti ada pecahan kaca. Tipe model *polycrystalline* ini berbeda dengan

monocrystalline yang mana tipe ini untuk menghasilkan daya listrik yang sama memerlukan luas permukaan yang lebih besar.



Gambar 2.6 Panel Surya *Polycrystalline*

3. *Thin Film Photovoltaic*

Panel surya jenis ini memiliki efisiensi kisaran 8.5 % yang memiliki dua lapisan terbuat dari mikrokristal silicon dan amorphous. Panel ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dari panel *monocrystalline* dan *polycrystalline* untuk mendapatkan daya listrik per watt . Secara fisik panel ini sangat tipis dan ringan, ketebalannya dapat diukur dengan satuan *nanometers* dan *micrometers*.



Gambar 2.7 Panel Surya *Thin Film*

2.2.3.2. *Inverter*

Inverter merupakan suatu alat pendukung pembangkit listrik tenaga surya yang berfungsi mengkonversi listrik searah (DC, *Direct Current*) menjadi listrik bolak-balik (AC, *Alternating Current*) yang biasa digunakan untuk peralatan rumah tangga. Pemilihan jenis *inverter* sangat tergantung pada kebutuhan beban dan kebutuhan sistem, apakah sistem terintegrasi dengan jaringan PLN (*grid connected*) atau sistem yang berdiri sendiri (*stand alone system*). Efisiensi *inverter* disaat pengoperasian kisaran 90% ,(Patricia Hanna J, 2012).



Gambar 2.8 *Inverter Grid Tie*

Inverter dari segi pengaplikasiannya dibagi menjadi tiga jenis, antara lain :

1. *Stand Alone Inverter*

Stand alone inverter merupakan jenis inverter yang banyak digunakan dalam sistem PLTS *Off Grid* yang bisa berfungsi tanpa terintegrasi dengan jaringan PLN. *Inverter* jenis ini harus menggunakan SCC untuk mendapatkan daya listrik yang optimal.

Cara kerja *inverter* jenis ini adalah listrik yang dihasilkan panel surya kemudian diregulasi oleh SCC yang kemudian di alirkan ke baterai. Listrik dari baterai yang berupa listrik DC di salurkan melalui *inverter* untuk dirubah menjadi listrik AC.

2. *Grid Tie Inverter*

Grid tie inverter merupakan jenis inveter yang biasa digunakan dalam sistem PLTS *On-Grid*. *Grid tie inverter* berfungsi mengkonverter arus yang dihasilkan oleh panel surya berupa arus

DC menjadi arus AC untuk mensuplai beban. Cara kerja dari jenis *inverter* ini adalah pada saat jaringan pengguna sudah terpenuhi dan masih ada kelebihan daya maka kelebihan daya tersebut akan dikirimkan ke jaringan PLN dan dapat dijual langsung ke PLN sesuai dengan ketentuan yang telah ditentukan.

3. *Battery Backup Inverter*

Battery backup inverter merupakan jenis *inverter* yang dapat melakukan *charger* dan *discharger* pada komponen yang sama. Secara fungsinya, inverter ini memiliki fungsi yang sama dengan jenis *inverter* lainnya. *Inverter* jenis ini biasa disebut dengan *smart inverter* karena didalam produknya sudah disematkan komponen SCC.

2.2.3.3. KWh Meter EXIM

KWh meter EXIM sebenarnya fungsinya sama dengan kWh meter biasa dari PLN. KWh meter EXIM memiliki tambahan fitur yang dapat memisahkan dan membaca kelebihan daya yang dikirimkan ke PLN sehingga dapat menghitung pengurangan tagihan listrik pelanggan yang mempunyai PLTS atau biasa disebut dengan *net metering*, (Yuan Perdana, Isna Wardiah, 2018).

Adapun langkah-langkah yang diperlukan untuk mendapatkan sistem net metering :

1. Pelanggan datang ke kantor PLN mengajukan permohonan.
2. PLN akan melakukan verifikasi sesuai peraturan yang ditentukan dan akan dilakukan pengujian di lokasi pelanggan.
3. Jika sudah memenuhi kriteria yang telah ditentukan oleh PLN, PLN akan menerbitkan nomor register non tagihan listrik untuk biaya kWh meter EXIM.
4. Dalam pelayanan net metering pelanggan akan dikenakan biaya



penggantian alat sesuai ketentuan dari PLN.

Gambar 2.9 KWH EXIM

2.2.4. *Software PVsyst*

Software PVsyst merupakan paket perangkat lunak yang dapat digunakan untuk proses pembelajaran, analisa data dari system PLTS secara lengkap. *Software PVsyst* dikembangkan oleh Universitas Genewa, yang terbagi ke dalam system interkoneksi jaringan (*grid connected*), system berdiri sendiri (*stand alone*), sistem pompa (*pumping*), dan jaringan arus searah untuk transportasi public (DC grid). *PVsyst* juga dilengkapi database dari sumber data meteorologi yang luas dan beragam serta data komponen-komponen PLTS. Beberapa contoh sumber data meteorologi yang dapat digunakan pada *PVsyst* yaitu bersumber dari NASA-SSE (1983-2005), EPW (untuk Kanada), MeteoNorm V 6.1 (interpolasi 1960-1990 atau 1981-000), PVGIS (untuk Eropa dan Afrika), Satel-Light (untuk Eropa), TMY2/3 dan SolarAnywhere (untuk USA), Helioclim, RetScreen, dan SolarGIS (berbayar), (Firmansyah, 2013).



Gambar 2.10 Software Pvsyst

Gambar 2.10 merupakan tampilan awal dari *software PVsyst* yang akan digunakan untuk perbandingan perhitungan energy produksi PLTS.

2.2.5. Daya

Pada sistem tenaga listrik, daya adalah sejumlah energi listrik yang diperlukan untuk melaksanakan suatu usaha. Satuan dari daya listrik (P) dilambangkan dalam satuan internasional yaitu Watt. Adapun rumus daya adalah sebagai berikut : (NEGARA, 2019)

1. Untuk satu phasa

$$P = V \times I \times \cos\theta \dots \dots \dots (2.1)$$

2. Untuk tiga phasa

$$P = V \times I \times \cos\theta \times \sqrt{3} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

P = Daya aktif

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

$\cos\theta$ = Faktor daya

$\sqrt{3}$ = Akar tiga

2.2.6. Kapasitas Komponen PLTS *On-Grid*

Jumlah panel surya yang akan digunakan tergantung pada daya (Wp) yang dibangkitkan untuk memenuhi kebutuhan energi, dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut : (Roza, Mujirudin, & Studiteknikelektro, 2019).

2.2.5.1. Kapasitas Panel Surya

Kapasitas panel surya dapat ditentukan berdasarkan spesifikasi beban harian, dengan menggunakan rumus dapat ditentukan kapasitas panel surya sebagai berikut : (Safrizal, 2017).

$$CPV = \frac{EL(\text{electric consumption})}{Q} \times FP \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

CPV	= Kapasitas PV (kWp)
EL(<i>electric consumption</i>)	= Konsumsi Energi Harian (kWh)
Q	= Radiasi matahari (kWh/m ² /hari)
FP	= Faktor penyesuaian

2.2.5.2. Kapasitas *Inverter*

Rating *inverter* harus lebih besar 25 s/d 30% dari beban puncak. Dengan menggunakan rumus dapat dihitung kapasitas *inverter* sebagai berikut :(Safrizal, 2017)

$$\text{Kapasitas Inverter} = \text{Peak load} \times \text{Safety Factor Inverter} \dots\dots\dots(2.4)$$

2.2.5.3. Total Panel Surya

Dengan menggunakan rumus dapat ditentukan berapa total panel surya yang digunakan, total seri dan paralel panel surya sebagai berikut : (Al-shetwi & Sujod, 2016).

$$N_{pv} = \frac{CPV}{P_{maxPV}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Untuk menentukan berapa panel surya yang dihubungkan seri digunakan rumus sebagai berikut :

$$N_{pvs} = \frac{V_{dc \text{ Inverter}}}{V_{\max PV}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Untuk menentukan berapa panel surya yang dihubungkan paralel/*string* digunakan rumus sebagai berikut :

$$N_{pvp} = \frac{N_{pv}}{N_{pvs}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Berdasarkan jumlah panel surya, maka dapat dihitung luas area untuk pemasangan PLTS *On-Grid* berdasarkan data dimensi dari spesifikasi panel surya. Dengan menggunakan rumus sebagai berikut :(Yuan Perdana, Isna Wardiah, 2018)

$$Ac = \text{Panjang modul} \times \text{lebar modul} \dots\dots\dots(2.8)$$

Sehingga luas area pemasangan panel surya digunakan rumus sebagai berikut :(Yuan Perdana, Isna Wardiah, 2018)

$$\text{Luas area} = Ac \times N_{pv} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

- N_{pv} = Banyaknya panel surya
- N_{pvs} = Banyaknya panel surya yang dihubungkan seri
- N_{pvp} = Banyaknya panel surya yang dihubungkan paralel/*string*
- CPV = Kapasitas PV (kWp)
- $P_{\max PV}$ = Daya Panel (Wp)
- $V_{dc \text{ Inverter}}$ = Tegangan input *inverter* (V)
- $V_{\max PV}$ = Tegangan maksimal panel surya (V)
- Ac = Luas modul surya (m²)

2.2.5.4. Efisiensi Panel Surya

Dengan menggunakan rumus dapat ditentukan efisiensi panel surya sebagai berikut : (Haerurrozi, Abdul Natsir, 2019).

$$\eta = \frac{P_{maxPV}}{PSI \times A_c} \times 100\% \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

η = Efisiensi PV (%)

P_{maxPV} = Daya Panel (W_p)

PSI = Peak solar insolasi (1000 W/m^2)

A_c = Luas modul surya (m^2)

Setelah dapat efisiensi panel surya, dihitung juga efisiensi keseluruhan dari sistem PLTS. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi dari keseluruhan sistem PLTS meliputi kotoran, bayangan, salju, ketidakcocokan, kabel, koneksi, *rating* panel surya, ketersediaan operasional (Dobos, 2014).

Tabel 2.1 Efisiensi Keseluruhan Sistem PLTS

<i>Loss Mechanism</i>	<i>Related Derate</i>
<i>Soiling</i>	0,95
<i>Shading</i>	1,0
<i>Snow</i>	1,0
<i>Mismatch</i>	0,98
<i>Wiring</i>	0,98
<i>AC Wiring</i>	0,99
<i>Connections</i>	0,995
<i>Nameplate Rating</i>	0,95
<i>Availabillity</i>	0,98
<i>Inverter</i>	0,99
Total	0,83

(sumber : *National Renewable Energy Laboratory*)

Tabel 2.1 Menunjukkan efisiensi keseluruhan sistem PLTS dengan total efisiensi 83%.

2.2.5.5. Energi Produksi PLTS

Dengan menggunakan rumus dapat ditentukan energi produksi PLTS sebagai berikut : (Yuan Perdana, Isna Wardiah, 2018).

$$PVout = Ac \times \eta \times Npv \times Q \times \eta_s \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

PVout = Energi produksi PLTS

Q = Radiasi matahari (kWh/m²/hari)

η = Efisiensi PV (%)

Ac = Luas modul surya (m²)

Npv = Banyaknya panel surya

η_s = Efisiensi sistem (%)

2.2.5.6. Saving Energy Listrik

Dengan menggunakan rumus dapat ditentukan *saving energy* listrik sebagai berikut :

$$SEL = PVout - EL(electric consumption) \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

SEL = *Saving Energy* Listrik (Kwh)

PVout = Energi produksi PLTS (Kwh)

EL(*electric consumption*) = Konsumsi energi (Kwh)