

**ANALISIS PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
SURYA OFF GRID MENGGUNAKAN SOFTWARE PVSYSY 7.2.0  
PADA STASIUN PENGISIAN SEPEDA LISTRIK TEKNIK ELEKTRO  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**SKRIPSI  
TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MISBAHUDIN**

**NIM. 175060307111026**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2021**





LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA OFF GRID MENGGUNAKAN SOFTWARE PVSYST 7.2.0 PADA STASIUN PENGISIAN SEPEDA LISTRIK TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS BRAWIJAYA

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



MISBAHUDIN

NIM. 175060307111026

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada tanggal 25 Juli 2021

Dosen Pembimbing I

Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng.  
NIP. 201201 841130 1 001

Dosen Pembimbing II

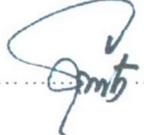
Ir. Soeprpto, MT., IPM.  
NIP. 19561020 198903 1 001



Mengetahui,  
Dekan Jurusan Teknik Elektro

Muslim, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 19741203 200012 1 001



Universitas Brawijaya		Universitas Brawijaya		Universitas Brawijaya		Universitas Brawijaya	
JUDUL SKRIPSI:							
ANALISIS PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA <i>OFF GRID</i>							
MENGUNAKAN <i>SOFTWARE</i> PVSYST 7.2.0 PADA STASIUN PENGISIAN SEPEDA							
LISTRIK TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS BRAWIJAYA							
Nama Mahasiswa	:	Misbahudin					
NIM	:	175060307111026					
Program Studi	:	Teknik Elektro					
Konsentrasi	:	Teknik Energi Elektrik					
Tim Dosen Pembimbing	:						
Ketua	:	Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng.					
Anggota	:	Ir. Soeprpto, M.T., IPM.					
Tim Dosen Penguji	:						
Dosen Penguji 1	:	Ir. Teguh Utomo, M.T.			Disetujui tanggal 25 Juli 2021		
Dosen Penguji 2	:	Lunde Ardhenta S.T., M.Sc.			Disetujui tanggal 25 Juli 2021		
Tanggal Ujian	:	21 Juli 2021					
SK Penguji	:	No. 1252 Tahun 2021					



**PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

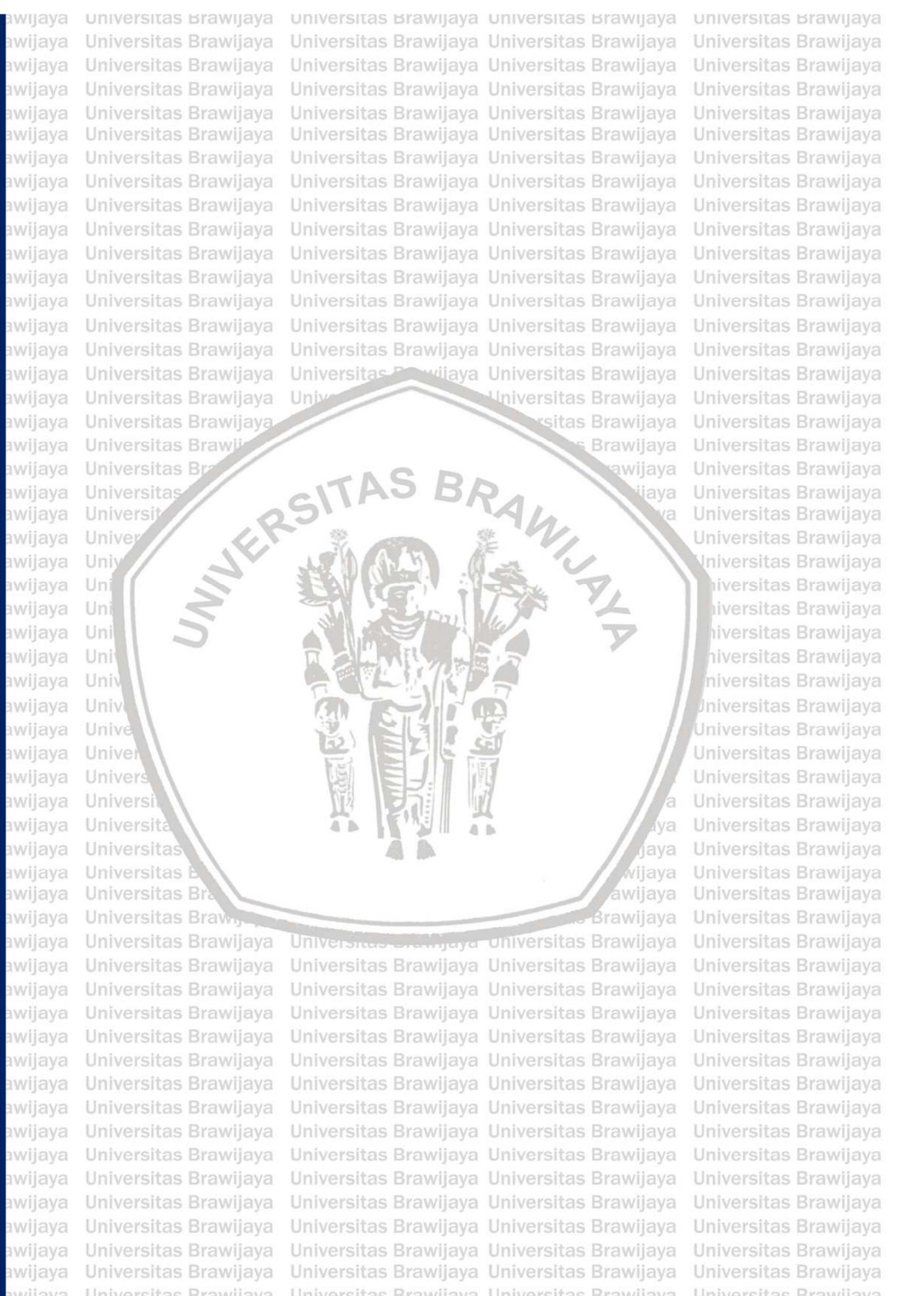
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundangundangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 21 Juli 2021

Mahasiswa,



Misbahudin  
NIM. 175060307111026



## RINGKASAN

**Misbahudin**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2021, *Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid menggunakan Software PVsyst 7.2.0 pada Stasiun Pengisian Sepeda Listrik Teknik Elektro Universitas Brawijaya*. Dosen Pembimbing: Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng. dan Ir. Soeprapto, M.T., IPM.

Kehidupan manusia saat ini tidak bisa dipisahkan dari adanya energi. Kebutuhan energi semakin hari semakin meningkat, Sementara energi tak terbarukan seperti energi fosil yang selama ini menjadi sumber energi utama di dunia ini semakin berkurang dan semakin menipis. Energi matahari merupakan salah satu sumber energi terbarukan dan merupakan sumber energi yang jumlahnya tidak terbatas. Penggunaan energi alternatif sebagai penyedia energi listrik untuk menggantikan penggunaan energi fosil sebagai bahan bakar kendaraan bermotor terus berkembang, salah satunya adalah sepeda listrik sebagai solusi untuk mengurangi konsumsi energi fosil yang saat ini menjadi penyebab pencemaran lingkungan. Stasiun pengisian sepeda listrik (SPSL) adalah suatu tempat yang digunakan untuk mengisi ulang baterai sepeda listrik. Pada SPSL ini menggunakan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *off grid* yang memanfaatkan energi sinar matahari sebagai sumber energi. Energi yang dipancarkan oleh matahari diubah menjadi energi listrik oleh modul surya kemudian energi listrik tersebut disimpan di *battery bank* dan dapat digunakan untuk mengisi ulang baterai sepeda listrik.

Lokasi perencanaan PLTS *off grid* pada SPSL Teknik Elektro Universitas Brawijaya terletak pada koordinat 7,95° LS dan 112,61° BT dengan potensi intensitas radiasi matahari rata-rata sebesar 5,33 kWh/m<sup>2</sup>/hari yang didapatkan dari *software* PVsyst 7.2.0. Penelitian ini bertujuan menghasilkan analisis energi yang dapat dihasilkan pada perencanaan PLTS *off grid* menggunakan simulasi *software* PVsyst dan perhitungan matematis. Sistem PLTS ini terdiri dari 1 unit modul surya merk GCL-P6/60-275 dengan daya nominal 275 Wp, 1 unit SCC merk PWM SC2430B dan *battery bank* dengan tegangan nominal 22,2 V kapasitas sebesar 11 Ah. Energi yang dapat dihasilkan sistem PLTS *off grid* pada SPSL dalam satu tahun berdasarkan perhitungan matematis sebesar 374,497 kWh/tahun dan berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* PVsyst 7.2.0 energi yang dapat dihasilkan sebesar 391,25 kWh/tahun. Pada hasil pengujian sistem PLTS *off grid* dapat menghasilkan daya puncak sebesar 184 W pada jam 12.00. Sementara pada hasil simulasi dengan modul surya yang sama, menghasilkan daya puncak sebesar 211 W pada jam 12.00. Sehingga selisih daya puncak antara pengujian dengan simulasi pada jam 12.00 sebesar 27 W.

**Kata kunci:** SPSL, PLTS, PVsyst, *Off grid*



## SUMMARY

**Misbahudin**, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, Juni 2021, *analysis of off grid solar power plant planning using PVsyst 7.2.0 software at SPSL Electrical Engineering Universitas Brawijaya*, Academic Supervisor: Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng. and Ir. Soeprapto, M.T., IPM.

Human life today cannot be separated from the existence of energy. Energy needs are increasing day by day, while non-renewable energy such as fossil energy which has been the main energy source in the world is decreasing and getting thinner. Solar energy is one of the renewable energy sources and is an unlimited number of energy sources. The use of alternative energy as a provider of electrical energy to use fossil energy as fuel for motor vehicles continues to grow, one of which is electric bicycles as a solution to reduce fossil energy consumption which is currently the cause of environmental pollution. An electric bicycle charging station (SPSL) is a place that is used to recharge an electric bicycle battery. This SPSL uses an off-grid solar power generation system (PLTS) that utilizes solar energy as an energy source. The energy emitted by the sun is converted into electrical energy by the solar module and then the electrical energy is stored in the battery bank and can be used to recharge the electric bicycle battery.

The planning location for off grid PLTS system at SPSL Electrical Engineering Universitas Brawijaya is located at coordinates  $7.95^{\circ}$  South Latitude and  $112.61^{\circ}$  East Longitude with an average solar radiation intensity potential of  $5.33 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$  obtained from PVsyst 7.2.0 software. This study aims to produce an energy analysis that can be generated in off grid solar power planning using PVsyst simulation software and mathematical calculations. This PLTS system consists of 1 unit of solar module brand GCL-P6/60-275 with a nominal power of 275 Wp, 1 unit of SCC brand PWM SC2430B and a battery bank with a nominal voltage of 22.2 V with a capacity of 11 Ah. The energy that can be produced by the PLTS off grid system in SPSL in one year based on mathematical calculations is 374,497 kWh/year and based on simulation results using PVsyst 7.2.0 software, the energy that can be generated is 391.25 kWh/year. In the test results, the off grid PLTS system can produce a peak power of 184 W at 12.00. While the simulation results with the same solar module, produce a peak power of 211 W at 12.00. So the difference in peak power between the test and the simulation at 12.00 is 27 W.

**Keywords:** SPSL, PLTS, PVsyst, Off grid



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off Grid* Menggunakan *Software* PVsyst 7.2.0 Pada Stasiun Pengisian Sepeda Listrik Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Muhammad Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
2. Ibu Ir. Nurussa'adah, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya
3. Ibu Rahmadwati, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
4. Ibu Dr. Ir. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc., IPM. selaku Ketua Kelompok Jabatan Fungsional Konsentrasi Teknik Energi Elektrik yang telah banyak memberi arahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
5. Bapak Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng dan Bapak Ir. Soeprpto, MT., IPM. IPM. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberi waktu, ilmu, arahan dan masukan yang baik dalam penelitian maupun tulisan.
6. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik, beserta seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang selalu membantu selama perkuliahan.
7. Keluarga besar Laboratorium Mesin Elektrik angkatan 2017 yang telah memberi segala bantuan untuk penyelesaian skripsi ini.
8. Seluruh rekan kerja Departemen Mobil Listrik Workshop Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak pelajaran berharga, dukungan, dan semangat.
9. Seluruh Keluarga Besar ELCO 2017 yang telah memberikan banyak warna yang menyenangkan dalam kehidupan perkuliahan.

Sekiranya Allah SWT membalas kebaikan semua pihak yang turut membantu skripsi ini terselesaikan. Penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna karena keterbatasan ilmu dan kendala lainnya yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan ini pada masa yang akan datang. Semoga tulisan ini dapat berguna bagi generasi yang akan datang.

Malang, Juli 2021

Penulis



**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Energi Matahari .....	5
2.2 <i>Altitude</i> dan <i>Azimuth</i> .....	5
2.3 Sistem PLTS .....	6
2.3.1 PLTS <i>Off Grid</i> .....	6
2.3.2 PLTS <i>On Grid</i> .....	7
2.3.3 PLTS Hibrida .....	8
2.4 Sel Surya .....	8
2.4.1 Karakteristik Sel Surya .....	9
2.4.2 Karakteristik V-I terhadap Perubahan Intensitas Radiasi Matahari .....	9
2.5 Modul Surya .....	10
2.6 Solar Array .....	13
2.7 Solar Charge Controller .....	13
2.8 Baterai .....	14
2.9 Perancangan Matematis PLTS <i>Off Grid</i> .....	15
2.9.1 Menentukan Kapasitas Modul Surya .....	15
2.9.2 Menghitung Energi Keluaran .....	15
2.9.3 Rasio Performansi ( <i>Performance Ratio</i> ) .....	16
2.10 PVsyst 7.2.0 .....	17

<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1 Diagram Penelitian .....	19
3.2 Studi Literatur .....	19
3.3 Pengumpulan Data .....	19
3.3.1 Spesifikasi Alat .....	20
3.4 Perancangan dan Simulasi .....	22
3.5 Analisis .....	23
3.6 Kesimpulan dan Saran .....	23
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>25</b>
4.1 Data Intensitas Radiasi Matahari di Kota Malang .....	25
4.2 Menghitung Energi Keluaran .....	26
4.3 Rasio Performansi ( <i>Performance Ratio</i> ) .....	29
4.4 Simulasi PLTS <i>Off Grid</i> menggunakan PVsyst 7.2.0 .....	29
4.5 Hasil Simulasi Modul Surya PLTS <i>Off Grid</i> .....	34
4.6 Hasil Pengujian Modul Surya PLTS <i>Off Grid</i> .....	35
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>37</b>
5.1 Kesimpulan .....	37
5.2 Saran .....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>39</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>40</b>

DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Altitude dan Azimuth .....	6
Gambar 2.2	Sistem PLTS Off Grid .....	7
Gambar 2.3	Sistem PLTS On Grid Sumber: Lechner, 175 .....	7
Gambar 2.4	Proses Konversi Energi pada Sel Surya .....	8
Gambar 2.5	Karakteristik V-I dan Daya-Tegangan dari Sel Surya .....	9
Gambar 2.6	Karakteristik V-I terhadap Perubahan Intensitas Radiasi Matahari .....	10
Gambar 2.7	Susunan Sel Surya pada Modul Surya .....	12
Gambar 2.8	Susunan Seri Paralel Modul Surya .....	13
Gambar 2.9	Kapasitas Baterai .....	14
Gambar 2.10	Tampilan Awal Software PVsyst 7.2.0 .....	17
Gambar 2.11	Tampilan Awal PLTS Stand Alone .....	18
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	19
Gambar 3.2	Modul Surya .....	20
Gambar 3.3	Datasheet Modul Surya .....	20
Gambar 3.4	SCC PWM SC2430B .....	21
Gambar 3.5	Lithium Battery Bank .....	22
Gambar 4.1	Kondisi Iklim dan Cuaca di Kota Malang .....	25
Gambar 4.2	Diagram Lingkaran Rugi-rugi Sistem PLTS .....	27
Gambar 4.3	Energi yang dihasilkan Setiap Bulannya .....	28
Gambar 4.4	Parameter Simulasi Sistem PLTS Off Grid .....	30
Gambar 4.5	Grafik Produksi Energi Listrik .....	32
Gambar 4.6	Performance Ratio and Solar Fraction .....	32
Gambar 4.7	Loss Diagram Sistem PLTS Off Grid .....	33
Gambar 4.8	Daya Keluaran Modul Surya 275 Wp terhadap waktu .....	34
Gambar 4.9	Daya yang dihasilkan oleh Modul Surya 275 Wp terhadap waktu .....	36



## DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
	Tabel 2.1 Spesifikasi Modul Surya .....	11
	Tabel 3.1 Spesifikasi SCC PWM SC2430B.....	21
	Tabel 4.1 Rugi-rugi Sistem PLTS.....	27
	Tabel 4.2 PSH Tahun 2020 .....	28
	Tabel 4.3 Hasil Produksi Energi .....	31
	Tabel 4.4 Tegangan, Arus dan Daya yang dihasilkan oleh Modul Surya.....	35





DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1	Data Spesifikasi Modul Surya GCL-P6/60-275.....	41
Lampiran 2	Hasil Simulasi PLTS Off Grid.....	42



## DAFTAR ISTILAH

<i>Altitude</i>	Sudut vertikal antara mahatari dengan permukaan bumi di suatu daerah
<i>Available Solar Energy</i>	Keseluruhan energi yang dapat dihasilkan dari sistem PLTS
<i>Azimuth</i>	Sudut horizontal yang diukur searah jarum jam dari suatu garis utara
<i>Blocking Diode</i>	Melindungi tegangan balik dari baterai ke modul surya
<i>Bypass Diode</i>	berfungsi saat salah satu sel surya pada modul surya terkena bayangan atau tidak berfungsi optimal
<i>Deep Cycle</i>	Muatan baterai jenis ini dapat mengalirkan energi secara terus menerus secara maksimal mencapai kapasitas nominal
<i>Depth of Discharge</i>	Prosentase kapasitas baterai yang telah dikosongkan (terpakai)
<i>Energy Need of the User</i>	Energi yang dibutuhkan oleh beban
<i>Energy Supplied to the User</i>	Energi yang dapat disuplai ke beban
<i>Equalization Voltage</i>	Tegangan maksimal yang dapat diterima oleh SCC ketika baterai tidak terpasang
<i>Global Horizontal Irradiation</i>	Penyinaran total intensitas radiasi matahari yang diterima pada permukaan horizontal di bumi
<i>Horizontal Diffuse Irradiation</i>	Intensitas radiasi matahari pada permukaan horizontal di bumi dari cahaya yang dihamburkan oleh atmosfer
<i>Irradiance Loss</i>	Rugi-rugi modul surya yang dipengaruhi perbedaan tingkat intensitas radiasi matahari
<i>Linke Turbidity</i>	Keadaan langit di suatu tempat, nilai ini dapat bervariasi dari 2 (langit sangat kering dan bersih) hingga 5 atau 6 (kondisi langit lembab atau tercemar)
<i>Load Disconnect</i>	Tegangan kerja minimum baterai, apabila mencapai titik tegangan tersebut, beban akan segera dimatikan secara otomatis
<i>Load Reconnect</i>	Tegangan kerja maksimum baterai, apabila mencapai titik tegangan tersebut maka beban akan terhubung kembali
<i>Loss with respect to the MPP running</i>	Rugi-rugi yang disebabkan SCC tidak dapat menyesuaikan dengan daya maksimal yang dihasilkan modul surya
<i>Maximum Power</i>	Daya maksimal keluaran modul surya
<i>Maximum Power Current</i>	Arus maksimal yang dapat dihasilkan oleh modul surya
<i>Maximum Power Voltage</i>	Tegangan maksimal yang dapat dihasilkan oleh modul surya
<i>Mismatch Loss</i>	Rugi-rugi ketidakcocokan yang disebabkan variasi tegangan dan arus dari modul surya pada sistem PLTS

<i>Module Quality Loss</i>	Rugi-rugi modul surya yang umumnya menyimpang dari spesifikasi
<i>Off Grid</i>	Sistem yang berdiri sendiri atau tidak terhubung ke jaringan listrik PLN sehingga membutuhkan baterai sebagai penyimpanan.
<i>On Grid</i>	Sistem yang tersambung ke jaringan listrik PLN
<i>Open Circuit Voltage</i>	Tegangan yang dihasilkan oleh modul surya pada saat tanpa beban
<i>Peak Sun Hour</i>	Parameter untuk menyatakan lamanya penyinaran matahari maksimum, satuan dari PSH adalah jam (hour).
<i>Performance Ratio</i>	Rasio dari jumlah energi yang dihasilkan oleh PLTS dengan memperhitungkan rugi-rugi sistem dibandingkan dengan jumlah energi yang dihasilkan PLTS tanpa adanya rugi-rugi sistem
<i>Relative Humidity</i>	Besar kandungan uap air per jumlah maksimum kandungan uap air yang berada didalam udara tersebut
<i>Short Circuit Current</i>	Arus yang melalui modul ketika hubung singkat
<i>Soiling Loss</i>	Rugi-rugi permukaan modul surya yang dipengaruhi debu
<i>Standart Test Condition (STC)</i>	Hasil dari pengujian modul surya pada kondisi yang standar, yaitu diasumsikan modul surya mendapat penyinaran matahari maksimal sebesar 1000 W/m <sup>2</sup> pada suhu lingkungan 25°C
<i>Temperature</i>	Tingkat panasnya udara di suatu tempat
<i>Unused Energy</i>	Energi yang tidak dapat digunakan akibat baterai penuh
<i>Wind Velocity</i>	Kecepatan aliran udara dari tekanan tinggi ke tekanan rendah
<i>Wiring Loss</i>	Rugi-rugi instalasi kabel



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kehidupan manusia saat ini tidak bisa dipisahkan dari adanya energi. Kebutuhan energi semakin hari semakin meningkat, Sementara energi tak terbarukan seperti energi fosil yang selama ini menjadi sumber energi utama di dunia ini semakin berkurang dan semakin menipis. Oleh karena itu, dibutuhkan sumber energi alternatif yang jumlahnya tidak terbatas.

Energi terbarukan adalah jenis sumber daya energi yang melimpah dan pembentukannya tidak membutuhkan waktu yang lama. Energi matahari merupakan salah satu sumber energi terbarukan dan merupakan sumber energi yang jumlahnya tidak terbatas. Pemanfaatan energi matahari menjadi solusi dalam pengembangan energi alternatif. Pemanfaatan energi matahari dalam menghasilkan listrik dapat diterapkan dalam kehidupan sehari-hari dengan bantuan sel surya. Sel surya merupakan sebuah peralatan semikonduktor yang mampu mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Sel surya mampu mengkonversi sinar matahari menjadi arus listrik dengan menggunakan efek fotovoltaik (Nafis, Aman, & Hadiyono, 2015).

Penggunaan energi alternatif sebagai penyedia energi listrik untuk menggantikan penggunaan energi fosil sebagai bahan bakar kendaraan bermotor terus berkembang, salah satunya adalah sepeda listrik sebagai solusi untuk mengurangi konsumsi energi fosil yang saat ini menjadi penyebab pencemaran lingkungan. Perkembangan transportasi ini mengarah pada penggunaan energi yang ramah lingkungan. Sepeda listrik ini menggunakan sumber daya baterai yang dapat diisi ulang dan termasuk dalam kendaraan yang hemat energi, ramah lingkungan dan nyaman. Namun masih banyak keresahan yang dialami para pengguna sepeda listrik salah satunya yaitu kurangnya ketersediaan stasiun pengisian sepeda listrik (Wijayanto & Widiastudi, 2016).

Stasiun pengisian sepeda listrik (SPSL) adalah suatu tempat yang digunakan untuk mengisi ulang baterai sepeda listrik. Pada SPSL ini menggunakan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *off grid* yang memanfaatkan energi sinar matahari sebagai sumber energi. Energi yang dipancarkan oleh matahari diubah menjadi energi listrik oleh modul surya kemudian energi listrik tersebut disimpan di *battery bank* dan dapat digunakan untuk mengisi ulang baterai sepeda listrik. *Battery bank* merupakan suatu hal penting dalam sistem PLTS *off grid*, hal ini dikarenakan tidak optimalnya sinar matahari yang diterima oleh panel surya sebagai akibat cuaca, musim dan hal-hal lain yang menutupi sinar matahari sehingga

tidak bisa diterima secara langsung oleh modul surya, baterai ini nantinya akan digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan dari modul surya.

Sehingga, pada penelitian ini penulis mengajukan analisis perencanaan pembangkit listrik tenaga surya *off grid* menggunakan *software* PVsyst 7.2.0 pada SPSL Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka, rumusan masalah yang dapat dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perencanaan PLTS *off grid* pada SPSL Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
2. Bagaimana perbedaan hasil simulasi PLTS *off grid* menggunakan *software* PVsyst 7.2.0 dengan hasil pengujian langsung PLTS *off grid*.

### 1.3. Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Pemilihan terkait jenis modul surya yang digunakan berasal dari ketersediaan modul surya pada gedung baru Teknik Elektro Universitas Brawijaya dengan merk GCL-P6/60-275.
2. Tidak membahas secara detail pada sistem kontrol yang digunakan dalam perancangan PLTS.
3. Tidak membahas secara detail pada analisis bayangan dalam perancangan PLTS.
4. Tidak membahas pada sistem proteksi PLTS.
5. Perancangan PLTS *off grid* disimulasikan menggunakan *software* PVsyst 7.2.0

### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perencanaan pembangkit listrik tenaga surya *off grid* pada SPSL Teknik Elektro Universitas Brawijaya berdasarkan perhitungan matematis dan hasil simulasi menggunakan *software* PVsyst 7.2.0.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diperoleh manfaat bagi penulis yaitu memberikan pengalaman bagi penulis dalam perancangan sistem PLTS *off grid* SPSL. Manfaat bagi Universitas Brawijaya adalah sebagai bahan rujukan untuk penelitian berikutnya mengenai perancangan sistem PLTS *off grid* pada SPSL sesuai kondisi dan keadaan yang diinginkan.

## 1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian ini terdiri dari lima bab, yaitu :

### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, manfaat dan tujuan penelitian, dan sistematika penulisan

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang hasil dari studi pustaka yang akan digunakan sebagai pedoman dasar dalam penelitian ini.

### BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang sumber data, bahan dan alat penelitian, serta prosedur dan langkah-langkah penelitian dengan metode simulasi.

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan data-data yang diperlukan, dengan analisis terhadap masalah yang akan diajukan sehingga diperoleh hasil dalam penelitian ini.

### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian ini dan juga saran yang diberikan dari hasil pengujian.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Energi Matahari

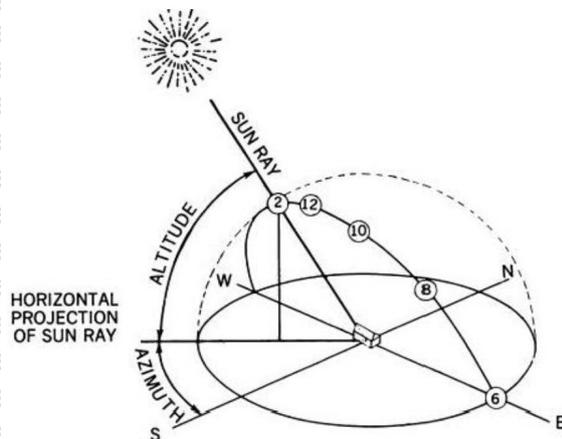
Energi merupakan kebutuhan primer yang dapat dimanfaatkan manusia bagi kehidupan. Pertumbuhan tingkat konsumsi energi dunia saat ini, diprediksi akan meningkat sebesar 70 persen antara tahun 2000 sampai 2030. Sumber energi yang berasal dari fosil, menyumbang sekitar 87,7% dari total kebutuhan dunia. Cadangan sumber energi yang berasal dari fosil diseluruh dunia diperkirakan hanya sampai 40 tahun untuk minyak bumi, 60 tahun untuk gas alam, dan 200 tahun untuk batu bara. Kondisi keterbatasan sumber energi ditengah semakin meningkatnya kebutuhan energi dunia dari tahun ketahun (pertumbuhan konsumsi energi tahun 2004 saja sebesar 4,3%), serta tuntutan untuk melindungi bumi dari pemanasan global dan polusi lingkungan membuat tuntutan untuk segera mewujudkan teknologi baru bagi sumber energi yang terbaharukan. Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi surya rata-rata sekitar 4.8 kWh/m<sup>2</sup> per hari di seluruh wilayah Indonesia. Berlimpahnya sumber energi surya ini belum dimanfaatkan secara optimal. Di sisi lain, topografi dan geografi wilayah Indonesia tidak memungkinkan kebutuhan listrik dipenuhi melalui jaringan (grid) konvensional (Ruskardi, 2015).

Energi yang memasuki atmosfer bumi diperkirakan 1 kW/m<sup>2</sup> dengan arah tegak lurus terhadap poros sinar. Dari jumlah tersebut 34% dipantulkan kemabil ke ruang angkasa, 19% diserap atmosfer yaitu oleh komponen-komponen yang terdapat di udara, dan selebihnya yaitu kurang lebih 47% atau dibulatkan menjadi 560 W/m<sup>2</sup> diserap oleh bumi (Kadir, 1994, p.5).

### 2.2. *Altitude* dan *Azimuth*

Sudut vertikal dimana sinar matahari menyentuh bumi sebagai sudut *altitude* dan merupakan sebuah hasil perhitungan fungsi lintang geografis, waktu tahunan dan waktu harian. Prinsip geometris sudut ketinggian adalah 90 derajat dikurangi posisi garis lintang atau dengan kata lain *altitude* merupakan sudut vertikal dan proyeksi sinar matahari. Sudut *altitude* menjadi konsekuensi dalam dua hal yaitu mempengaruhi iklim dan musim. Pengaruh dari perbedaan iklim dan musim yaitu terhadap besar kecilnya radiasi matahari yang diterima pada suatu tempat. *Altitude* dapat menunjukkan ketinggian matahari di langit. Sedangkan *azimuth* adalah sudut horizontal, dimana diukur dari selatan pada garis utara-selatan. Vektor pengamat (asal) ke tempat tujuan diproyeksikan tegak lurus ke bidang acuan,

sudut antara vektor proyeksi dan vektor referensi pada bidang referensi disebut *azimuth* (Lechner, 175)



Gambar 2.1 Altitude dan Azimuth

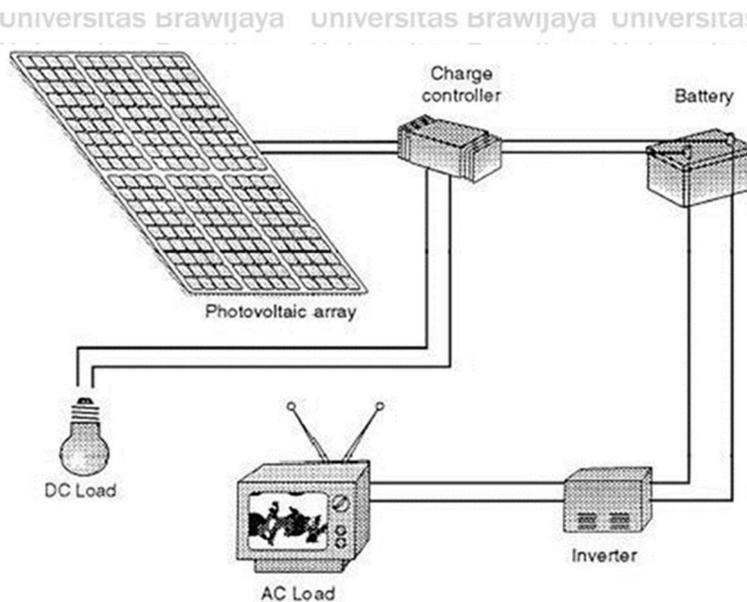
Sumber: Lechner, 175

### 2.3. Sistem PLTS

Pada umumnya sistem PLTS terdiri dari modul surya, *solar charge controller* (SCC), baterai, inverter dan beberapa komponen pendukung lainnya. Ada beberapa jenis sistem PLTS yang ada saat ini, baik untuk sistem yang tersambung ke jaringan listrik PLN (*On Grid*) maupun sistem PLTS yang berdiri sendiri atau tidak terhubung ke jaringan listrik PLN (*Off Grid*) dan PLTS hibrida (PLTS yang dikombinasikan dengan sumber energi lain seperti angin, air atau diesel).

#### 2.3.1. PLTS Off Grid

Sistem PLTS *off grid* merupakan sistem pembangkitan energi listrik yang berdiri sendiri hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan modul surya untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan dan beroperasi secara independen tanpa terhubung dengan jaringan PLN. Sistem ini membutuhkan baterai untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan di siang hari untuk memenuhi kebutuhan listrik di malam hari. Pada sistem ini, modul surya menghasilkan tegangan DC kemudian ke SCC yang akan mengatur proses pengisian baterai dan penggunaan baterai ke beban saat modul surya tidak disinari oleh matahari. Inverter berfungsi mengubah listrik DC dari SCC menjadi listrik AC ke beban.

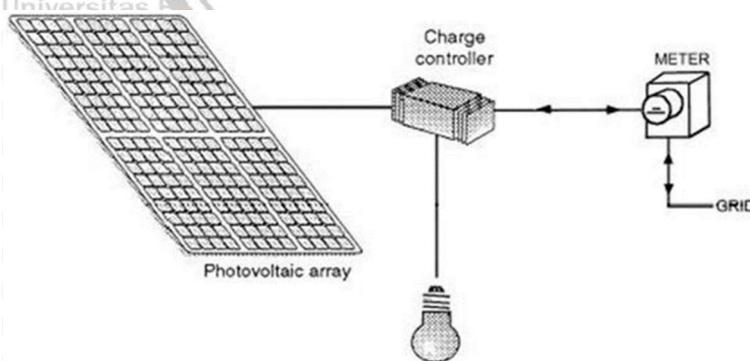


Gambar 2.2 Sistem PLTS Off Grid

Sumber: Lechner, 175

### 2.3.2. PLTS On Grid

Sistem PLTS *on grid* merupakan sistem pembangkitan energi listrik yang menggunakan modul surya untuk mengubah sinar matahari menjadi energi listrik yang dapat langsung digunakan ke beban dan selebihnya akan disalurkan ke dalam jaringan PLN. Sistem ini memiliki keunggulan lebih hemat biaya bila dibandingkan sistem *off grid*, sebab pada sistem *off grid* memerlukan komponen pembangkitan listrik yang lebih banyak tergantung dari pada permintaan beban dari konsumen. Meski demikian, disini lain sistem *on grid* harus memiliki sistem yang handal sebab pada sistem ini terjadi sistem *switching* antara PLN dan PLTS dalam kurun waktu yang telah ditentukan pada sistem kontrol, dan dengan alasan ini pula sistem *on grid* dapat dikatakan lebih rumit dan memerlukan sistem kontrol yang handal.



Gambar 2.3 Sistem PLTS On Grid

Sumber: Lechner, 175

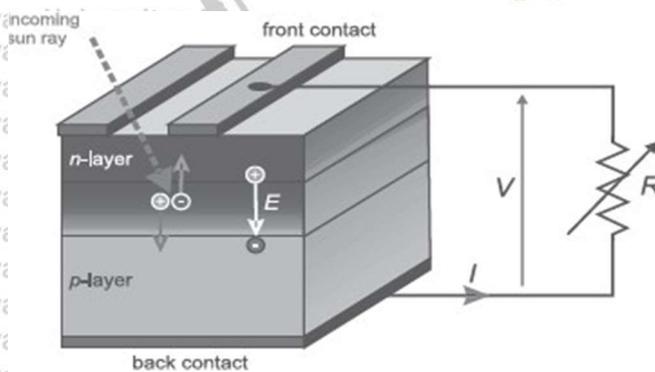
### 2.3.3. PLTS Hibrida

PLTS hibrida merupakan gabungan dari sistem *off grid* dan *on grid*. Secara umum istilah hibrida mengacu pada dua sumber pembangkit seperti angin, matahari dan genset. Sistem ini merupakan salah satu alternatif sistem pembangkit yang tepat dilakukan perancangan pada daerah-daerah yang sukar dijangkau oleh sistem pembangkit besar seperti jaringan PLN. Pada sistem hibrida ini dengan memanfaatkan PLTS sebagai sumber utama yang dikombinasikan dengan sumber energi lain seperti angin, air atau diesel.

### 2.4. Sel Surya

Sel surya merupakan komponen penting dalam konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik yang terbuat dari bahan semikonduktor, dengan luas daerah sel sekitar 10-15 cm<sup>2</sup>. Sel surya mengubah dan memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC. Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni, dan bahan semikonduktor lainnya, dengan menggunakan photo-electric effect dari bahan semikonduktor. Sel surya dapat mengumpulkan iradisi matahari dan mengkonversinya menjadi energi listrik (Hakim, 2017).

Sel surya terdiri dari persambungan bahan semikonduktor tipe p-n yang jika terkena sinar matahari maka akan terjadi aliran elektron, aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Radiasi matahari yang jatuh ke dalam semikonduktor menghasilkan elektron yang berpasangan, menyebabkan peningkatan konsentrasi muatan partikel yang membawa muatan elektrik. Kontak antara sisi-n dengan sisi-p menimbulkan adanya tegangan ketika dihubungkan dengan resistor maka arus akan mengalir melaluinya (Krauter, 2005).



Gambar 2.4 Proses Konversi Energi pada Sel Surya

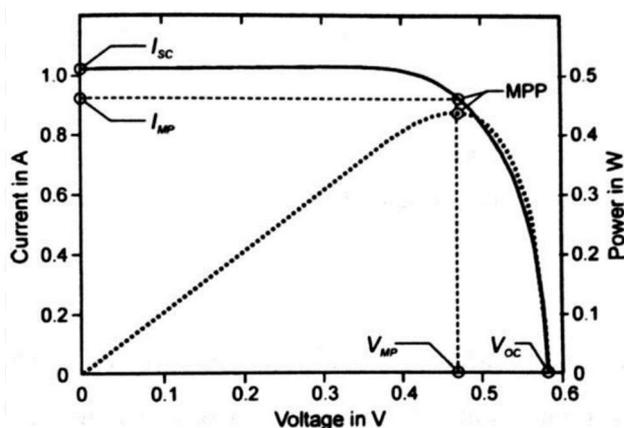
Sumber: Krauter (2006, p.22)

### 2.4.1. Karakteristik Sel Surya

Karakteristik sel surya terdiri dari tegangan hubung buka ( $V_{oc}$ ), arus hubungan singkat ( $I_{sc}$ ), efek perubahan intensitas radiasi matahari, efek perubahan suhu serta karakteristik tegangan – arus ( $V-I$  characteristic). Perubahan karakteristik dapat mempengaruhi arus dan tegangan yang dihasilkan serta efisiensi dari modul surya.

Daya maksimum adalah luas persegi panjang terbesar yang dapat dibentuk di bawah kurva arus-tegangan. Sel surya menghasilkan daya maksimum pada tegangan tertentu.

Tegangan pada daya maksimum ( $V_{MPP}$ ) lebih kecil dari tegangan sirkuit terbuka ( $V_{oc}$ ), dan arus pada daya maksimum ( $I_{MPP}$ ) lebih rendah dari arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ).



Gambar 2.5 Karakteristik V-I dan Daya-Tegangan dari Sel Surya

Sumber: Krauter (2006, p.24)

Untuk membuat perbandingan antara sel surya terhadap kondisi lingkungan, maka daya MPP diukur pada *standart test condition* (STC) dengan intensitas radiasi matahari sebesar  $1000 \text{ W} / \text{m}^2$ , suhu lingkungan  $25^\circ\text{C}$ . Daya yang dihasilkan dari modul surya di bawah kondisi cuaca nyata biasanya lebih rendah.

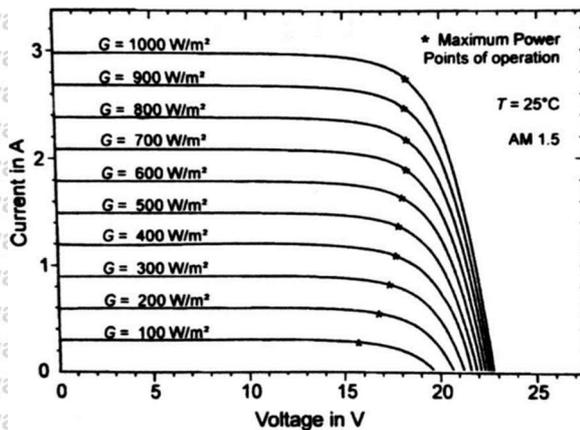
### 2.4.2. Karakteristik V-I terhadap Perubahan Intensitas Radiasi Matahari

Sel surya bekerja maksimum pada tingkat intensitas radiasi tertentu dari suatu sumber sinar matahari untuk bisa diubah menjadi keluaran berupa arus listrik dan tegangan. Sifat elektrik dari sel surya dalam menghasilkan energi listrik dapat diamati dari karakteristik sel tersebut, yaitu berdasarkan arus dan tegangan yang dihasilkan sel surya pada kondisi sinar matahari dan beban yang berbeda-beda (Wibowo, 2011).

Apabila sinar matahari yang diterima sel surya berkurang atau intensitas radiasi matahari berkurang, maka besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan juga akan menurun. Penurunan tegangan relatif lebih kecil dibandingkan penurunan arusnya, sehingga pada karakteristik V-I terhadap perubahan intensitas radiasi matahari dapat dilihat

bahwa penurunan intensitas radiasi matahari memberikan pengaruh yang besar terhadap arus yang dihasilkan. Karakteristik V-I sel surya berubah sepanjang perubahan intensitas radiasi matahari yang mengenai permukaan modul surya. Semakin besar intensitas radiasi matahari yang terkena modul maka semakin besar pula daya dan efisiensinya.

## 2.5. Modul Surya



Gambar 2.6 Karakteristik V-I terhadap Perubahan Intensitas Radiasi Matahari

Sumber: Krauter (2006, p.29)

Modul surya merupakan sekumpulan sel surya yang saling terinterkoneksi. Hal ini ditujukan untuk meningkatkan energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya. Kapasitas modul surya dibedakan dari besarnya daya maksimal yang dapat dibangkitkan oleh suatu modul surya yang disebut *watt peak* (Wp). Jenis modul surya dibedakan berdasarkan teknologi pembuatannya.

- Tipe *monocrystalline* mempunyai efisiensi yang sangat tinggi sekitar 16-17 % bahkan ada yang memiliki efisiensi hingga 20%. Selain itu dimensi dari tipe ini lebih kecil. Namun dalam proses produksinya menemui kendala pada biaya yang lebih mahal karena proses pembuatannya yang rumit. Selain itu sel surya ini kurang berfungsi dengan baik atau efisiensinya akan berkurang drastis jika cuaca berawan.
- Tipe *polycrystalline* mempunyai efisiensi yang lebih rendah dan dimensi yang lebih besar jika dibandingkan dengan tipe *monocrystalline*. Akan tetapi tipe ini dapat menghasilkan energi listrik dalam keadaan cuaca berawan dan mempunyai harga yang lebih murah sehingga banyak dipakai di pasaran.
- Tipe *thin film* mempunyai kerapatan atom yang rendah, sehingga mudah dibentuk dan dikembangkan ke berbagai macam ukuran dan potongan. Secara umum dapat diproduksi dengan biaya yang lebih murah.

Tabel 2.1 Spesifikasi Modul Surya

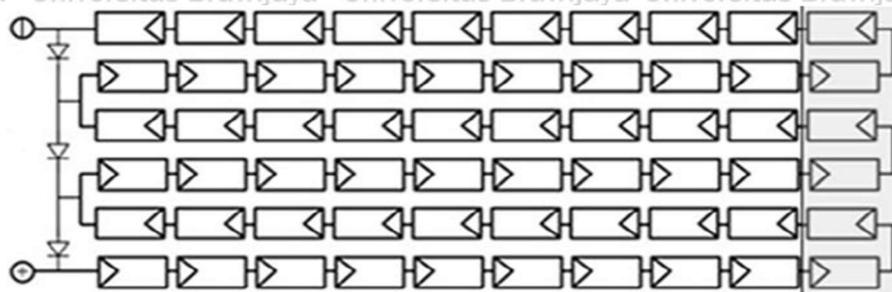
<b>Electrical Characteristics</b>	<b>GCL-P6/60-275</b>
Maximum power (Pmax)	275 Wp
Power Tolerances	3%
Open circuit voltage (Voc)	38,5 V
Short Circuit Current (Isc)	9,38 A
Maximum Power Voltage (Vmpp)	31,3
Maximum Power Current (Impp)	8,76
Maximum Temperature	85 °C
Module Efficiency	16.51%
<b>Mechanical Characteristic</b>	
Solar Cell Type	Poly 156,75×156,75mm
Number of Cells	60 Cells (6×10)
Dimensions of Module	1640×992×35mm
Weight	18,1 kg

Sumber: gclsi.com

Penjelasan spesifikasi Modul Surya:

1. *Maximum Power* Daya maksimal keluaran modul surya.
2. *Maximum Power Voltage* Tegangan maksimal yang dapat dihasilkan oleh modul surya.
3. *Maximum Power Current* Arus maksimal yang dapat dihasilkan oleh modul surya.
4. *Open Circuit Voltage* Tegangan yang dihasilkan oleh modul surya pada saat tanpa beban.
5. *Short Circuit Current* Arus yang melalui modul ketika hubung singkat.
6. *Standart Test Condition* (STC) Hasil dari pengujian modul surya pada kondisi yang standar, yaitu diasumsikan modul surya mendapat penyinaran matahari maksimal sebesar 1000 W/m<sup>2</sup> pada suhu lingkungan 25°C.

Berdasarkan spesifikasi modul surya merk GCL-P6/60-275 pada tabel 2.1 terdapat 60 sel surya dengan jenis poly 156.75×156.75mm dan susunan sel surya pada modul surya terdiri dari 6 paralel dan 10 seri dengan daya nominal sebesar 275 Wp. Susunan sel surya dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Susunan Sel Surya pada Modul Surya

Sumber: gclsi.com

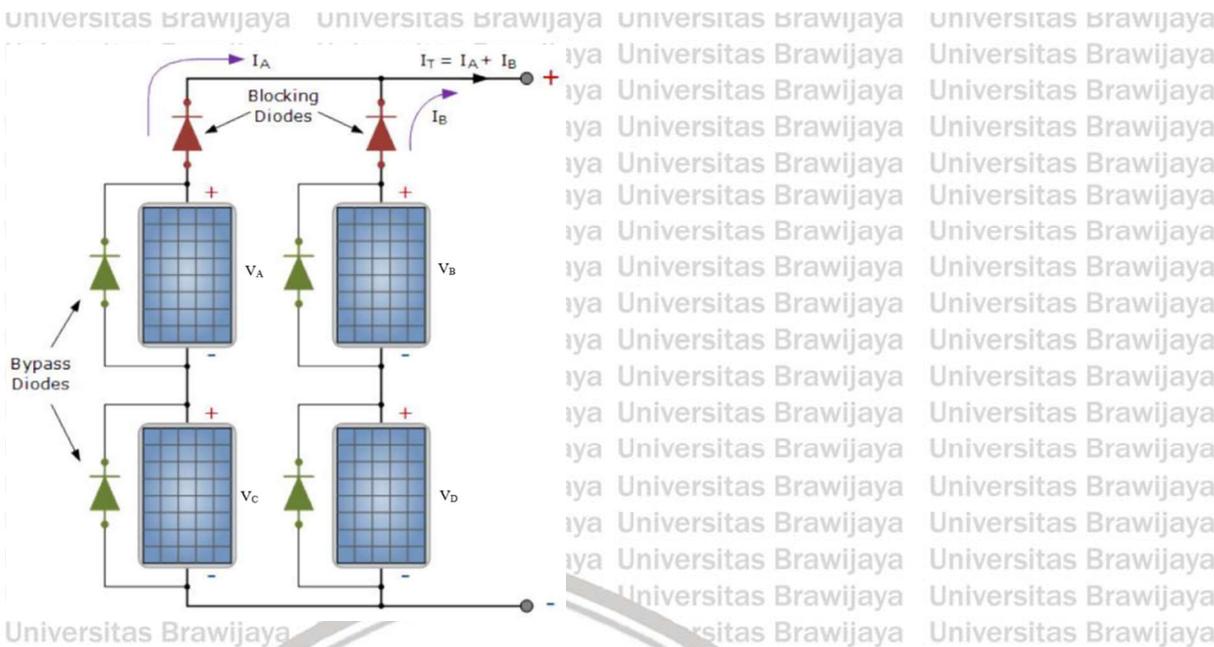
Pada modul surya, dioda memiliki peran sebagai dioda pemutus (*blocking diode*) dan dioda pelaju (*bypass diode*). Hal ini penting untuk melindungi sistem modul surya. Pada modul surya, tegangan yang dihasilkan saat matahari bersinar akan lebih besar dari tegangan baterai, sehingga tegangan dari modul surya akan mengisi baterai. Sebaliknya saat tidak ada sinar matahari, tegangan baterai akan lebih besar dibandingkan tegangan modul surya. Tegangan pada baterai ini memungkinkan akan mengirim tegangannya kembali ke modul surya. Disinilah fungsi dioda pemutus untuk melindungi tegangan balik dari baterai ke modul surya. Sedangkan untuk diode pelaju akan berfungsi saat salah satu sel surya pada modul surya terkena bayangan atau tidak berfungsi optimal. Ketika salah satu sel terkena bayangan, maka akan mengurangi produksi daya dari modul surya. Peran dioda pelaju adalah arus yang dihasilkan oleh sel surya yang terkena bayangan akan mengalir melalui dioda untuk menghindari resistansi dari sel surya sehingga akan memaksimalkan daya keluaran dari modul surya.

Modul surya disusun secara seri dan paralel untuk mendapatkan tegangan dan arus keluaran yang sesuai dengan kebutuhan sistem PLTS. Penyusunan seri akan meningkatkan tegangan tetapi arus konstan. Hal ini sesuai dengan hukum Kirchhoff II, jika modul surya dihubungkan secara seri maka tegangan total yang dihasilkan adalah penjumlahan dari tegangan yang dihasilkan oleh masing-masing modul. Penyusunan paralel akan meningkatkan arus tetapi tegangan konstan. Hal ini sesuai dengan hukum Kirchhoff I, jika modul surya dihubungkan secara paralel maka arus total yang dihasilkan adalah penjumlahan dari arus yang dihasilkan oleh masing-masing modul.

$$V_{AC} = V_A + V_C \dots\dots\dots (2-1)$$

$$V_{total} = V_{AC} = V_{BD} \dots\dots\dots (2-2)$$

$$I_{total} = I_A + I_B \dots\dots\dots (2-3)$$



Gambar 2.8 Susunan Seri Paralel Modul Surya

Sumber: janaloka.com

## 2.6. Solar Array

Sistem pembangkitan dengan kapasitas lebih besar biasanya tersusun atas beberapa modul surya yang saling terinterkoneksi satu sama lain. Kumpulan modul surya tersebut dikenal dengan istilah *solar array*.

## 2.7. Solar Charge Controller

*Solar charge controller* (SCC) adalah suatu komponen yang berfungsi untuk mengontrol pengisian baterai dan mengalirkan ke beban. Ketika tegangan baterai mencapai nilai tertinggi yang diperbolehkan, maka lampu indikator SCC menyala hijau berkedip dan ini menunjukkan bahwa baterai terisi penuh. Pada saat baterai terisi penuh SCC akan memutus aliran ke baterai dan dapat menghindari *overcharging* pada baterai. Ketika tegangan baterai mencapai nilai terendah yang diijinkan, maka SCC akan memutus aliran beban dengan indikator lampu warna merah menyala.

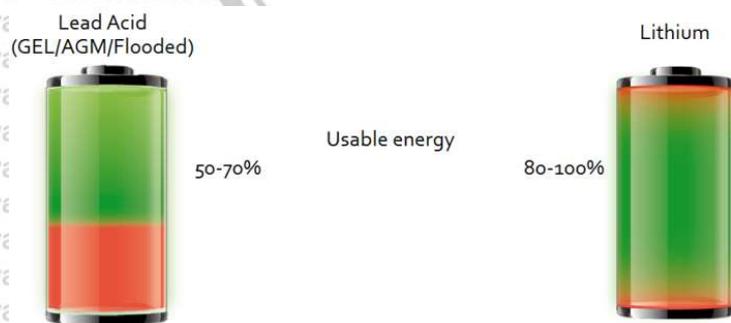
SCC akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan turun, maka baterai akan diisi kembali. SCC biasanya terdiri dari satu input (2 terminal) yang terhubung dengan keluaran modul surya, satu output (2 terminal) yang terhubung dengan baterai dan satu output (2 terminal) yang terhubung dengan beban. Arus listrik searah yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke modul surya karena pada modul surya ada dioda yang hanya melewatkan arus listrik searah dari modul surya ke baterai, bukan sebaliknya. Kapasitas arus yang mengalir pada SCC dapat ditentukan dengan

mengetahui beban maksimal yang terpasang, sedangkan untuk tegangan kerja SCC harus sesuai dengan tegangan kerja baterai dan modul surya

## 2.8. Baterai

Baterai digunakan dalam sistem PLTS *off grid* untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh modul surya di siang hari, lalu mengalirkan ke beban di malam hari atau saat cuaca berawan. Baterai bertindak sebagai penyimpan energi sementara untuk mengatasi perbedaan antara energi listrik dari modul surya dan kebutuhan energi listrik. Saat ini, baterai merupakan cara paling praktis untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya. Komponen ini merupakan salah satu komponen yang penting dan sekaligus rentan dalam sistem PLTS *off grid*. Desain yang kurang baik atau ukuran baterai yang tidak tepat dapat mengurangi umur pakai yang diharapkan, berkurangnya energi, kerusakan, hingga bahaya keselamatan pada pengguna. Baterai memiliki keterbatasan umur pakai yang bergantung pada perilaku penggunaan serta temperatur pengoperasian.

Baterai yang digunakan pada PLTS mengalami proses siklus mengisi (*charging*) dan mengosongkan (*discharging*), tergantung pada ada tidaknya sinar matahari. Kapasitas suatu baterai menyatakan berapa lama kemampuannya untuk memberikan aliran listrik, pada tegangan tertentu yang dinyatakan dalam *ampere hour* (Ah). Energi yang tersimpan dalam baterai tidak boleh sampai keadaan habis, maka ada faktor lain yang perlu diperhitungkan yaitu *depth of discharge* (DOD). Besarnya DOD pada baterai lithium ion umumnya 80%, artinya energi yang dapat diberikan hanya 80% dari kapasitas baterai, setelah itu baterai harus diisi kembali. Pengaturan dari DOD berpengaruh dalam menjaga usia pakai baterai atau *life time* dari baterai tersebut. Jika semakin besar nilai DOD maka semakin singkat usia baterai tersebut.



Gambar 2.9 Kapasitas Baterai

Sumber: id.solar-led-lights.com

Beberapa teknologi baterai yang umum dikenal adalah *lead acid*, alkalin, Ni-Fe, Ni-Cad dan Li-ion. Masing-masing jenis baterai memiliki kelemahan dan kelebihan baik dari segi

teknis maupun ekonomi. Baterai pada PLTS dikenal menggunakan *deep cycle lead acid*, artinya muatan baterai jenis ini dapat mengalirkan energi secara terus menerus secara maksimal mencapai kapasitas nominal. Baterai lithium-ion yang memiliki kepadatan energi tinggi dan siklus hidup yang panjang, menjadi pilihan terbaik sebagai penyimpan daya pada kendaraan elektrik. Seiring berjalannya waktu, *cell* baterai dapat mengalami degradasi melalui siklus pemakaian. Baterai yang telah terdegradasi tersebut masih memiliki kapasitas yang dapat digunakan dengan aman untuk keperluan penyimpanan daya dengan performa arus pengisian dan pengosongan (*c-rate*) rendah. Dengan meningkatnya tren penggunaan kendaraan elektrik seperti mobil listrik Tesla, maka ketersediaan baterai yang terdegradasi akan semakin meningkat. Selain itu, penggunaan kembali baterai yang telah terdegradasi juga dapat mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah baterai lithium-ion. Menggunakan kembali baterai lithium-ion yang telah terdegradasi, lebih efisien baik secara ekonomi maupun performa dibandingkan dengan baterai lead acid baru

## 2.9. Perancangan Matematis PLTS *Off Grid*

### 2.9.1 Menentukan Kapasitas Modul Surya

Daya yang dibangkitkan oleh modul surya dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah nilai intensitas radiasi matahari di suatu daerah. Faktor penyesuaian untuk instalasi PLTS adalah 1.1 sehingga kapasitas daya modul surya dapat dinyatakan dalam persamaan (2-4). (Bien, Kasim, & Wibowo, 2008, p.43)

$$P_{PV} = \frac{E_T}{I_r} \times F_A \dots\dots\dots (2-4)$$

dimana:

$P_{PV}$  = kapasitas modul surya yang dibutuhkan (Wp)

$E_T$  = kebutuhan energi yang harus disuplai oleh sistem (Wh)

$I_r$  = intensitas radiasi matahari ( $W/m^2$ )

$F_A$  = faktor penyesuaian

Jumlah modul surya yang digunakan:

$$\text{Jumlah modul surya} = \frac{\text{Kapasitas modul surya}}{\text{Daya modul surya yang digunakan}} \dots\dots\dots (2-5)$$

### 2.9.2 Menghitung Energi Keluaran

Energi yang diterima modul surya berdasarkan intensitas radiasi matahari tidak sepenuhnya dapat diterima oleh beban karena dipengaruhi rugi-rugi (*losses*) komponen dan sistem. Rugi-rugi keseluruhan sistem PLTS berdasarkan *software* PVsyst 7.2. sebesar 30% dengan rincian rugi-rugi permukaan modul surya yang dipengaruhi debu (*soiling*) sebesar

3%, rugi-rugi modul surya yang dipengaruhi perbedaan tingkat intensitas radiasi matahari (*irradiance*) sebesar 0,5%, rugi-rugi modul surya yang umumnya menyimpang dari spesifikasi (*module quality*) sebesar 1%, rugi-rugi modul surya yang dipengaruhi suhu lingkungan (*temperature*) sebesar 8%, rugi-rugi ketidakcocokan yang disebabkan variasi tegangan dan arus dari modul surya pada sistem PLTS (*mismatch*) sebesar 3%, rugi-rugi instalasi kabel (*wiring*) sebesar 3,5%, rugi-rugi yang disebabkan SCC tidak dapat menyesuaikan dengan daya maksimal yang dihasilkan modul surya (*loss with respect to the MPP running*) sebesar 11%. Total rugi-rugi sistem PLTS dinyatakan dalam persamaan (2-5) dan daya keluaran dari sistem PLTS dinyatakan dalam persamaan (2-6).

$$\text{Rugi - rugi PLTS} = P_{PV\ STC} \times 30 \% \dots\dots\dots (2-5)$$

$$\text{Daya keluaran PLTS} = P_{PV\ STC} - (\text{rugi - rugi PLTS}) \dots\dots\dots (2-6)$$

dimana:

$$\text{Rugi - rugi PLTS} = \text{Rugi-rugi sistem PLTS (W)}$$

$$P_{PV\ STC} = \text{Daya modul surya pada saat STC (W)}$$

$$\text{Daya keluaran PLTS} = \text{Daya keluaran sistem PLTS dengan rugi-rugi (W)}$$

Berikut ini akan dianalisis energi yang dihasilkan oleh modul surya berkaitan dengan lamanya penyinaran matahari yang disebut *peak sun hour* (PSH). Energi yang dihasilkan modul surya dalam satu hari dinyatakan dalam persamaan (2-7).

$$P_{PV} = \text{Daya keluaran PLTS} \times PSH \dots\dots\dots (2-7)$$

dimana:

$$P_{PV} = \text{Energi yang dihasilkan (Wh/hari)}$$

$$PSH = \text{Peak sun hour (h)}$$

Energi yang dihasilkan sistem PLTS selama setahun (365 hari) dinyatakan dalam persamaan (2-8).

$$E_{sistem} = P_{PV} \times 365 \dots\dots\dots (2-8)$$

dimana:

$$E_{sistem} = \text{Energi yang dihasilkan (Wh/tahun)}$$

### 2.9.3 Rasio Performansi (*Performance Ratio*)

Kelayakan PLTS ditentukan berdasarkan rasio performansi didefinisikan sebagai rasio dari jumlah energi yang dihasilkan oleh PLTS dengan memperhitungkan rugi-rugi sistem dibandingkan dengan jumlah energi yang dihasilkan PLTS tanpa adanya rugi-rugi sistem.

Sederhananya rasio performansi adalah ukuran suatu kualitas sistem dilihat dari energi

tahunan yang dihasilkan. Apabila sistem tersebut nilai rasio performansinya berkisar 70-90%, maka sistem tersebut dapat dikatakan layak. (Sivertsen, Christer, & Søyland, 2014)

Untuk menghitung energi yang dihasilkan PLTS tanpa adanya rugi-rugi sistem dinyatakan dalam persamaan (2-9) dan untuk menghitung rasio performansi terdapat pada persamaan (2-10).

$$E_{ideal} = P_{PV\ STC} \times PSH \times 365 \dots\dots\dots (2-9)$$

$$PR = \frac{E_{sistem}}{E_{ideal}} \dots\dots\dots (2-10)$$

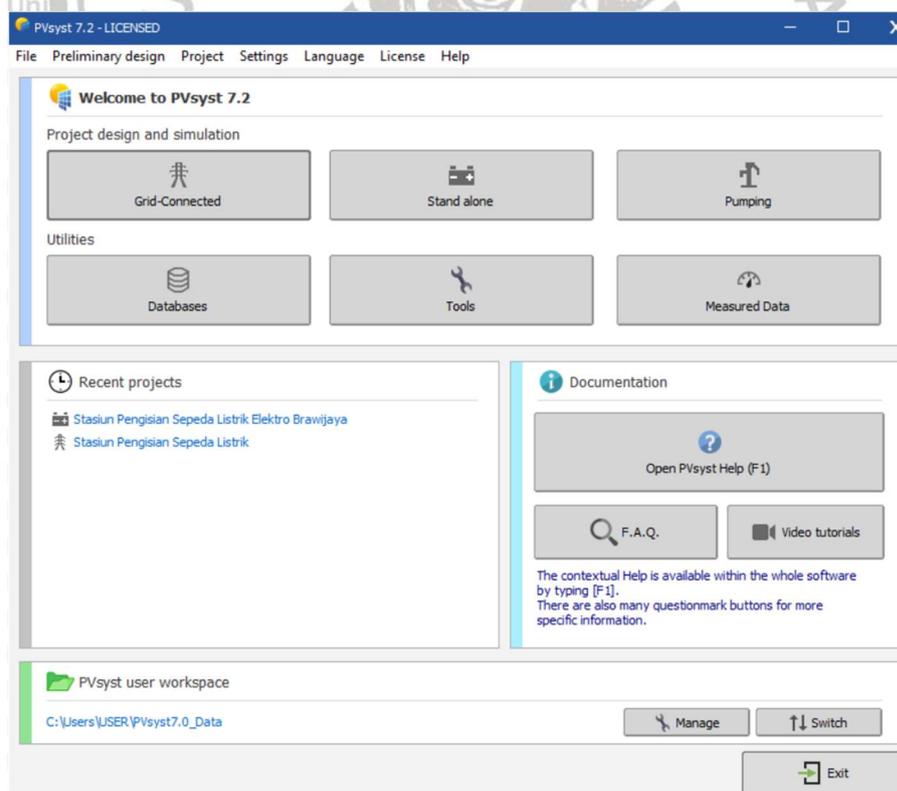
Dimana:

$PR$  = Performance Ratio

$E_{ideal}$  = Energi yang dihasilkan (Wh/tahun)

## 2.10. PVsyst 7.2.0

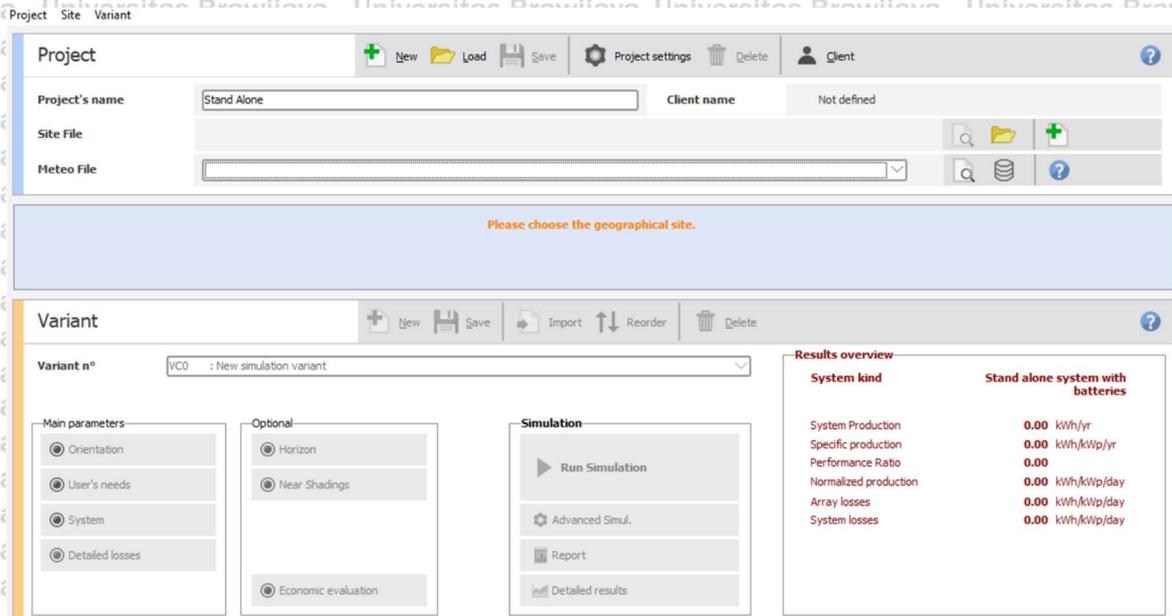
PVsyst merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), dan analisis data dari perencanaan sistem PLTS. PVsyst dikembangkan oleh Universitas Genewa, yang terbagi ke dalam sistem terinter-koneksi jaringan (*grid-connected*), sistem berdiri sendiri (*stand alone*) dan sistem pompa (*pumping*). Tampilan awal dari *software* PVsyst 7.2.0 dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Tampilan Awal Software PVsyst 7.2.0

Sumber: PVsyst 7.2.0

PVsyst juga dilengkapi database dari sumber data meteorologi yang luas dan beragam, serta data komponen PLTS. Beberapa contoh sumber data meteorologi yang dapat digunakan pada PVSyst yaitu bersumber dari Meteonorm 8 (2010-2014), NASA-SSE, PVGIS TMY. Fitur desain proyek pada *software* PVSyst digunakan untuk menganalisis potensi produksi energi dan unjuk kerja sistem PLTS. Pada fitur ini, simulasi akan dijalankan dengan cara membuat desain sistem PLTS sesuai dengan yang ingin direncanakan.



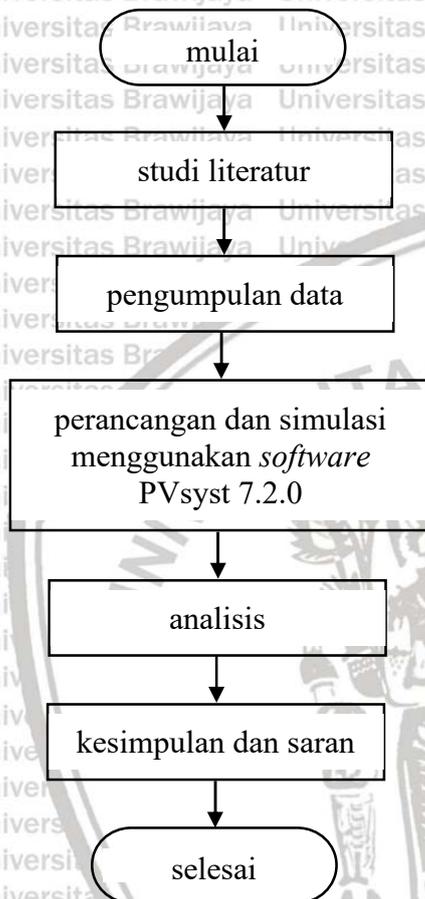
Gambar 2.11 Tampilan Awal PLTS Stand Alone

Sumber: PVSyst 7.2.0

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Penelitian

Pada penelitian ini diagram alir dari langkah penyusunan penelitian ditunjukkan oleh gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh pengetahuan dasar dan memahami konsep yang berhubungan dengan perancangan PTLs *off grid* dan analisis sistem. Studi literatur yang dilakukan meliputi pengumpulan jurnal, buku-buku dan sumber lainnya yang mendukung penyusunan penelitian ini.

### 3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan penelitian ini. Data – data yang dimaksud adalah data intensitas radiasi matahari, suhu lingkungan di Kota Malang dan data spesifikasi peralatan yang akan

digunakan sebagai acuan untuk perancangan PLTS *off grid*. Data ini dibutuhkan untuk mensimulasikan sistem PLTS *off grid* menggunakan *software* PVsyst 7.2.0.

### 3.3.1 Spesifikasi Alat

#### 1. Modul Surya

Pemilihan jenis modul surya berasal dari ketersediaan modul surya pada gedung baru Teknik Elektro Universitas Brawijaya dengan merk GCL-P6/60-275. Gambar 3.2 memperlihatkan modul surya yang akan digunakan sebagai acuan untuk perancangan sistem PLTS *off grid* dan gambar 3.3 memperlihatkan *datasheet* dari modul surya.



Gambar 3.2 Modul Surya

#### Electrical Specification (STC\*)

Maximum Power	P <sub>max</sub> (W)	270	275	280	285	290	295	300	305
Maximum Power Voltage	V <sub>mp</sub> (V)	31.20	31.40	31.60	31.80	32.20	32.40	32.60	32.80
Maximum Power Current	I <sub>mp</sub> (A)	8.65	8.76	8.86	8.96	9.01	9.10	9.20	9.30
Open Circuit Voltage	V <sub>oc</sub> (V)	38.30	38.50	38.70	38.90	39.70	40.00	40.30	40.60
Short Circuit Current	I <sub>sc</sub> (A)	9.29	9.38	9.46	9.54	9.69	9.74	9.79	9.84
Module Efficiency	(%)	16.6	16.9	17.2	17.5	17.8	18.1	18.4	18.7
Power Output Tolerance	(W)	0~+5							

\* Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Module Temperature 25°C, Air Mass 1.5

Gambar 3.3 Datasheet Modul Surya

Sumber: gclsi.com

## 2. SCC

Gambar 3.4 merupakan SCC jenis PWM SC2430B yang digunakan pada perancangan PLTS *off grid* dan tabel 3.1 merupakan spesifikasi SCC



Gambar 3.4 SCC PWM SC2430B

Tabel 3.1 Spesifikasi SCC PWM SC2430B

Model	PWM SC2430B	
Rated Voltage	12V	24V
Rated Load	10A	10A
Load Disconnect	11.1V	22.2V
Load Reconnect	12.6V	25.2V
Equalization Voltage	14.8V	29.6V
Boost Voltage	14.4V	28.8V
Float Voltage	13.7V	27.4V
Temp Comp. (mV/°C)	-30mV	-60mV
Working Temperature	-35°C ~ +55°C	
Size	14×8.9×2.7cm	

## 3. iv Battery Bank

*Battery bank* yang digunakan merupakan susunan dari baterai lithium ion 18650. Kapasitas masing-masing baterai sebesar 2,2 Ah. Dengan konfigurasi 5 paralel, menghasilkan *battery bank* dengan kapasitas 11Ah. Tegangan nominal masing-masing baterai sebesar 3,7 V. Dengan konfigurasi 6 seri, menghasilkan *battery bank* dengan tegangan nominal 22,2V.



Gambar 3.5 Lithium Battery Bank

### 3.4 Perancangan dan Simulasi

Pada sistem PLTS *off grid*, siang hari modul surya akan mengkonversi energi sinar matahari menjadi energi listrik. Kemudian energi listrik dialirkan ke baterai melalui SCC, SCC berfungsi untuk mengatur proses *charge* dan *discharge* pada baterai, serta mengalirkan energi listrik ke beban. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan secara matematis energi yang dihasilkan oleh PLTS kemudian hasil perhitungan ini dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan *software* PVsyst 7.2.0.

Pada simulasi PLTS *off grid* menggunakan *software* PVsyst 7.2.0 sebagai perangkat utama guna mendapatkan potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari perancangan ini. Langkah-langkah simulasi menggunakan *software* PVsyst 7.2.0.

1. Menggunakan menu *project – stand alone* dan memasukkan nama proyek kemudian menentukan koordinat lokasi (garis lintang dan garis bujur) untuk mendapatkan data iklim dan cuaca yang didalamnya terdapat data intensitas radiasi matahari dan suhu lingkungan.
2. Menggunakan menu *orientation* untuk menentukan sudut kemiringan dan sudut azimuth dari modul surya.
3. Menggunakan menu *system* untuk menentukan komponen dari sistem. Pertama menentukan modul surya dari direktori PVsyst, PVsyst memiliki daftar modul surya yang ingin digunakan oleh perancangan. Modul surya yang dipilih terdapat daya yang dapat dihasilkan (Wp), nama pabrik, dan lain-lain. Kemudian menentukan SCC, PVsyst memiliki daftar spesifikasi SCC yang ingin digunakan oleh perancangan dan menentukan jenis dan kapasitas baterai.
4. Menggunakan menu *user's needs* untuk menentukan beban harian.
5. Menggunakan menu *simulation* untuk menjalankan simulasi setelah semua parameter dipilih dan menggunakan menu *result* untuk menampilkan hasil simulasi.

### 3.5 Analisis

Analisis dilakukan dengan perhitungan secara matematis energi yang dihasilkan oleh PLTS kemudian hasil perhitungan ini dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan *software* PVsyst 7.2.0. Simulasi yang dilakukan pada *software* PVsyst 7.2.0 akan mendapatkan jumlah produksi energi listrik setiap tahunnya dan jika terdapat kesalahan dalam pemilihan komponen dan datasheet, maka akan dikoreksi oleh *software* PVsyst 7.2.0 dan akan memberikan rekomendasi penanganan yang sesuai dengan standar yang diberlakukan pada *software* PVsyst 7.2.0.

### 3.6 Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini akan dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan dari analisis Bab IV. Lalu tahap selanjutnya, penulis akan memberikan saran bagi pembaca yang akan melakukan studi pengembangan dari penelitian ini ataupun bahan pendukung penelitian selanjutnya.





## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan dalam bab ini dibagi menjadi beberapa sub-bab mulai dari perencanaan matematis PLTS *off grid* hingga simulasi menggunakan *software* PVsyst 7.2.0 sistem PLTS *off grid* pada SPSL Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

#### 4.1. Data Intensitas Radiasi Matahari di Kota Malang

Lokasi perencanaan PLTS *off grid* pada SPSL Teknik Elektro Universitas Brawijaya terletak pada koordinat 7,95° LS dan 112,61° BT (Google Maps, 2021). Pada penelitian ini untuk mengetahui nilai intensitas radiasi matahari maka data yang didapatkan adalah data dari *software* PVsyst 7.2.0 yang sudah terhubung dengan *Meteonorm* 8.0 seperti pada gambar 4.1. *Global horizontal irradiation* adalah penyinaran total intensitas radiasi matahari yang diterima pada permukaan horizontal di bumi. *Horizontal diffuse irradiation* adalah intensitas radiasi matahari pada permukaan horizontal di bumi dari cahaya yang dihamburkan oleh atmosfer. *Temperature* adalah tingkat panasnya udara di suatu tempat. *Wind velocity* adalah kecepatan aliran udara dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. *Linke turbidity* adalah keadaan langit di suatu tempat, nilai ini dapat bervariasi dari 2 (langit sangat kering dan bersih) hingga 5 atau 6 (kondisi langit lembab atau tercemar). *Relative humidity* adalah besar kandungan uap air per jumlah maksimum kandungan uap air yang berada didalam udara tersebut.

Site: **Kertorahayu (Indonesia)**

Data source: **Meteonorm 8.0 (2010-2014), Sat=100% (Modified by user)**

	Global horizontal irradiation	Horizontal diffuse irradiation	Temperature	Wind Velocity	Linke turbidity	Relative humidity
	kWh/m <sup>2</sup> /day	kWh/m <sup>2</sup> /day	°C	m/s	[-]	%
January	5.34	2.45	29.4	1.80	4.554	80.8
February	5.10	2.70	29.3	1.89	4.526	81.5
March	4.86	2.67	29.6	1.30	4.440	80.9
April	5.23	2.39	29.8	1.30	4.460	80.2
May	4.89	2.05	29.3	1.61	4.318	76.5
June	4.82	1.93	30.5	1.80	4.146	76.3
July	5.23	1.91	30.0	2.20	3.953	72.7
August	5.61	2.23	30.1	2.30	4.105	69.8
September	5.97	2.33	29.5	2.20	4.312	69.7
October	6.12	2.62	29.6	2.00	5.124	69.4
November	5.41	2.55	29.8	1.41	5.573	75.5
December	5.32	2.58	30.1	1.30	4.984	79.0
<b>Year</b>	<b>5.33</b>	<b>2.37</b>	<b>29.7</b>	<b>1.8</b>	<b>4.541</b>	<b>76.0</b>

Global horizontal irradiation year-to-year variability 5.1%

Gambar 4.1 Kondisi Iklim dan Cuaca di Kota Malang

Sumber: *Meteonorm* 8.0 PVsyst 7.2.0

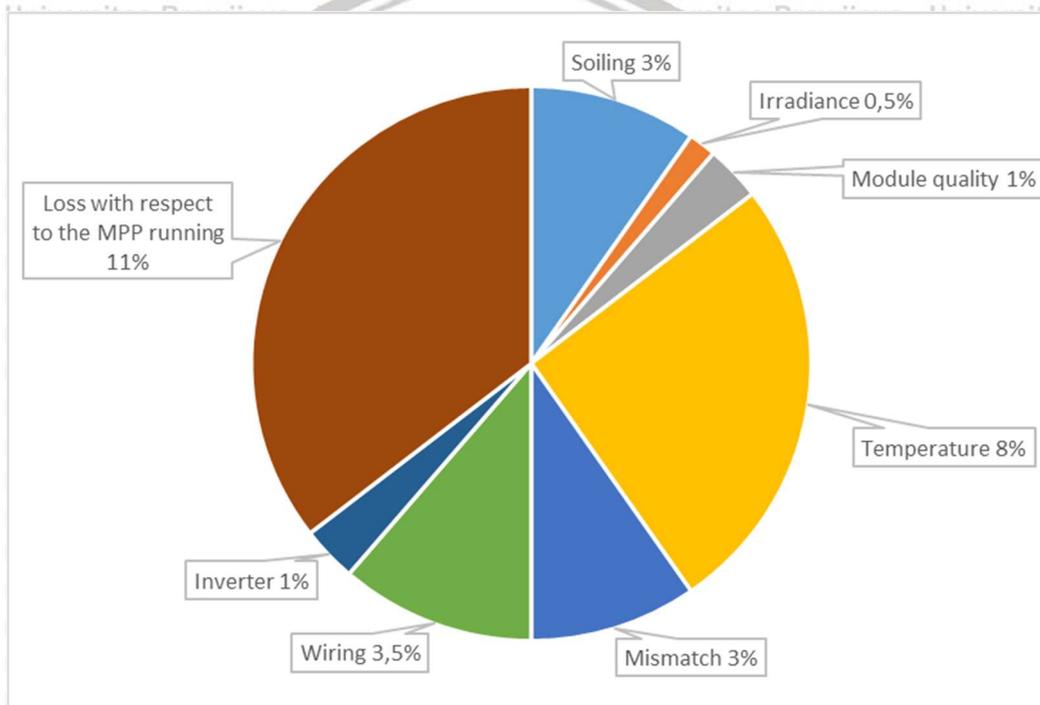
Dari gambar 4.1 dapat diketahui bahwa intensitas radiasi mahatari terendah terdapat pada bulan Juni sebesar  $4,82 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ , intensitas radiasi mahatari tertinggi terdapat pada bulan Oktober sebesar  $6,12 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$  dan intensitas radiasi mahatari rata-rata sebesar  $5,33 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ . Suhu lingkungan terendah terdapat pada bulan Februari dan Mei sebesar  $29,3^\circ\text{C}$ , suhu lingkungan tertinggi terdapat pada bulan Agustus dan Desember sebesar  $30,1^\circ\text{C}$  dan suhu lingkungan rata-rata sebesar  $29,7^\circ\text{C}$ .

#### 4.2. Menghitung Energi Keluaran

Dalam perancangan ini, modul surya yang digunakan jenis *polycrystalline* merk GCL-P6/60-275. Pada modul surya ini terdapat 60 sel surya dengan jenis poly  $156,75 \times 156,75 \text{ mm}$  dan susunan sel surya pada modul surya terdiri dari 6 paralel dan 10 seri dengan daya nominal sebesar 275 Wp yang memiliki spesifikasi seperti pada gambar 3.3. Energi yang diterima modul surya berdasarkan intensitas radiasi mahatari tidak sepenuhnya dapat diterima oleh beban karena dipengaruhi rugi-rugi (*losses*) komponen dan sistem. Rugi-rugi keseluruhan sistem PLTS berdasarkan *software* PVsyst 7.2.0 sebesar 30% dengan rincian rugi-rugi permukaan modul surya yang dipengaruhi debu (*soiling*) sebesar 3%, rugi-rugi modul surya yang dipengaruhi perbedaan tingkat intensitas radiasi mahatari (*irradiance*) sebesar 0,5%, rugi-rugi modul surya yang umumnya menyimpang dari spesifikasi (*module quality*) sebesar 1%, rugi-rugi modul surya yang dipengaruhi suhu lingkungan (*temperature*) sebesar 8%, rugi-rugi ketidakcocokan yang disebabkan variasi tegangan dan arus dari modul surya pada sistem PLTS (*mismatch*) sebesar 3%, rugi-rugi instalasi kabel (*wiring*) sebesar 3,5%, rugi-rugi yang disebabkan SCC tidak dapat menyesuaikan dengan daya maksimal yang dihasilkan modul surya (*loss with respect to the MPP running*) sebesar 11%. Tabel 4.1 adalah tabel rugi-rugi pada sistem PLTS yang menggunakan modul surya dengan kapasitas 275 Wp.

Tabel 4.1 Rugi-rugi Sistem PLTS

Jenis rugi-rugi	Besarnya nilai rugi-rugi	Daya (W)
Soiling	3%	8,25
Irradiance	0,5%	1,37
Module quality	1%	2,75
Temperature	8%	22,00
Mismatch	3%	8,25
Wiring	3,5%	9,63
Inverter	1%	2,75
Loss with respect to the MPP running	11%	30,25
Total Rugi-rugi	30%	82,50



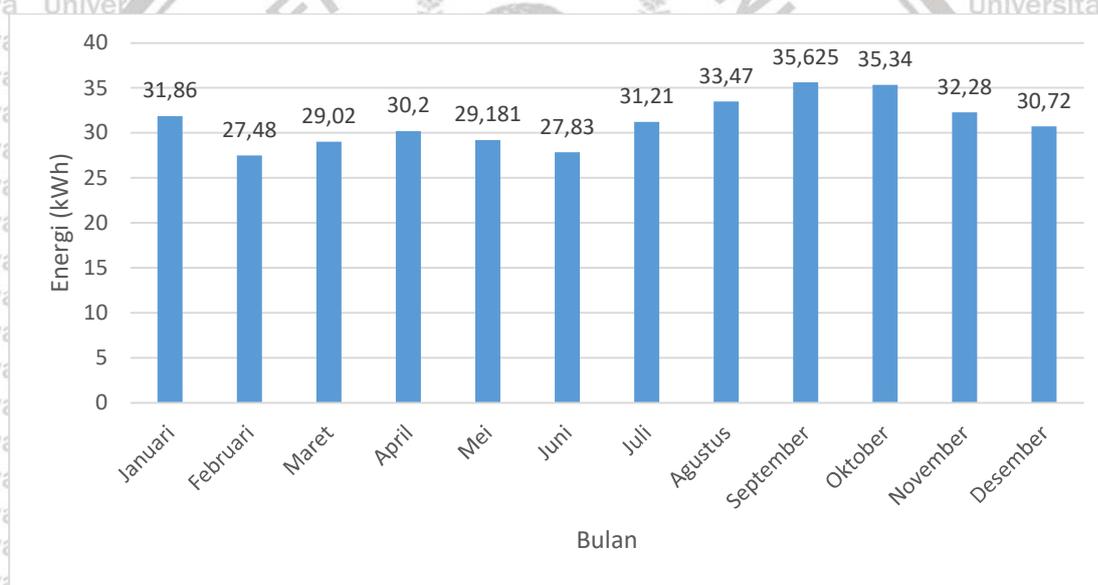
Gambar 4.2 Diagram Lingkaran Rugi-rugi Sistem PLTS

Berikut ini akan dianalisis energi yang dihasilkan oleh modul surya berkaitan dengan lamanya penyinaran matahari yang disebut *peak sun hour* (PSH). PSH adalah parameter untuk menyatakan perbandingan lamanya penyinaran matahari maksimum per hari terhadap intensitas radiasi matahari yang nilainya  $1 \text{ kW/m}^2$ , satuan dari PSH adalah jam (*hour*). Rata-rata PSH di Kota Malang Jawa Timur dengan titik koordinat  $7,95^\circ \text{ LS}$  dan  $112,61^\circ \text{ BT}$  adalah sebesar 5,12 h. (Global Solar Atlas, 2021) Berdasarkan gambar 4.1 nilai intensitas radiasi matahari perbulan dibagi dengan  $1 \text{ kW/m}^2$  maka didapatkan PSH seperti pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 PSH Tahun 2020

Bulan	PSH (h)
Januari	5,34
Februari	5,10
Maret	4,86
April	5,23
Mei	4,89
Juni	4,82
Juli	5,23
Agustus	5,61
September	5,97
Oktober	6,12
November	5,41
Desember	5,32
Rata-rata	5,33

Tabel 4.2 menjelaskan nilai PSH setiap bulan pada tahun 2020 sehingga energi yang dihasilkan setiap bulannya terdapat pada gambar 4.2.



Gambar 4.3 Energi yang dihasilkan Setiap Bulannya

Pada gambar 4.3 menunjukkan jumlah energi tertinggi yang dapat dihasilkan terdapat pada bulan September dan Oktober yang disebabkan oleh tingginya nilai PSH pada bulan tersebut. Untuk menghitung daya keluaran dengan memperhitungkan rugi-rugi dari sistem PLTS terdapat pada persamaan (2-6).

$$\begin{aligned} \text{Daya keluaran PLTS} &= 275 - 82,5 \\ &= 192,5 \text{ W} \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4.2 nilai PSH rata-rata sebesar 5,33 h sehingga energi rata-rata yang dihasilkan PLTS dengan memperhitungkan rugi-rugi sistem dalam satu hari terdapat pada persamaan (2-7).

$$\begin{aligned} P_{PV} &= 192,5 \times 5,33 \\ &= 1.026,02 \text{ Wh/hari} \end{aligned}$$

Untuk menghitung energi yang dihasilkan PLTS dengan memperhitungkan rugi-rugi sistem selama satu tahun (365 hari) terdapat pada persamaan (2-8).

$$\begin{aligned} E_{sistem} &= 1.026,02 \times 365 \\ &= 374,497 \text{ kWh/tahun} \end{aligned}$$

#### 4.3. Rasio Performansi (*Performance Ratio*)

Kelayakan PLTS ditentukan berdasarkan rasio performansi didefinisikan sebagai rasio dari jumlah energi yang dihasilkan oleh PLTS dengan memperhitungkan rugi-rugi sistem dibandingkan dengan jumlah energi yang dihasilkan PLTS tanpa memperhitungkan rugi-rugi sistem. Sederhananya rasio performansi adalah ukuran suatu kualitas sistem dilihat dari energi tahunan yang dihasilkan. Apabila sistem tersebut nilai rasio performansinya berkisar 70-90%, maka sistem tersebut dapat dikatakan layak. (Sivertsen, Christer, & Søyland, 2014) Untuk menghitung energi yang dihasilkan PLTS tanpa memperhitungkan rugi-rugi sistem terdapat pada persamaan (2-9).

$$\begin{aligned} E_{ideal} &= 275 \times 5,33 \times 365 \\ &= 534,998 \text{ kWh/tahun} \end{aligned}$$

Untuk menghitung rasio performansi terdapat pada persamaan (2-10).

$$\begin{aligned} PR &= \frac{374,497}{534,998} \\ &= 0,69 \approx 69\% \end{aligned}$$

#### 4.4. Simulasi PLTS *Off Grid* menggunakan PVsyst 7.2.0

Pada gambar 4.4 memperlihatkan parameter simulasi sistem PLTS *off grid*, yaitu modul surya yang digunakan adalah GCL-P6/60-275 dengan daya nominal 275 Wp sebanyak 1 unit. SCC yang digunakan adalah PWM SC2430B. Baterai yang digunakan adalah Cell Li LCO UR18650ZTA. Kapasitas masing-masing baterai sebesar 2,2 Ah. Dengan konfigurasi 5 paralel, menghasilkan *battery bank* dengan kapasitas 11Ah. Tegangan nominal masing-masing baterai sebesar 3,7 V. Dengan konfigurasi 6 seri, menghasilkan *battery bank* dengan tegangan nominal 22,2V. Pada SPSEL Teknik Elektro Universitas Brawijaya beban sepeda listrik yang digunakan sebesar 22,2 V dengan kapasitas 7,7 Ah. Berdasarkan persamaan (2-

7) didapatkan energi yang dapat dihasilkan setiap harinya sebesar 1.026,02 Wh/hari maka jumlah sepeda listrik yang dapat diisi oleh SPSL ini adalah.

$$\text{Jumlah sepeda listrik} = \frac{1.026,02 \text{ Wh}}{22,2 \text{ V} \times 7,7 \text{ Ah}} \dots \dots \dots (4-1)$$

$$= 6,002 \approx 6 \text{ Sepeda listrik}$$

Dengan produksi energi harian sebesar 1.026,02 Wh/hari maka jumlah sepeda listrik yang dapat diisi oleh SPSL ini sebanyak 6 sepeda listrik.

General parameters			
<b>Stand alone system</b>		<b>Stand alone system with batteries</b>	
<b>PV Field Orientation</b>			
Orientation		Sheds configuration	
Fixed plane		No 3D scene defined	
Tilt/Azimuth		Models used	
14 / 0 °		Transposition Hay	
		Diffuse Perez, Meteonorm	
		Circumsolar separate	
<b>User's needs</b>			
Daily household consumers			
Constant over the year			
Average		1.0 kWh/Day	
<b>PV Array Characteristics</b>			
<b>PV module</b>		<b>Battery</b>	
Manufacturer GCL		Manufacturer Panasonic	
Model GCL-P6/60-275		Model Cell Li LCO UR18650ZTA	
(Original PVsyst database)		Technology Lithium-ion, LCO	
Unit Nom. Power 275 Wp		Nb. of units 5 in parallel x 6 in series	
Number of PV modules 1 Unit		Discharging min. SOC 52.1 %	
Nominal (STC) 275 Wp		Stored energy 0.1 kWh	
Modules 1 String x 1 In series		<b>Battery Pack Characteristics</b>	
At operating cond. (50°C)		Voltage 22 V	
Pmpp 249 Wp		Nominal Capacity 11 Ah (C10)	
U mpp 28 V		Temperature Fixed 20 °C	
I mpp 8.8 A			
<b>Controller</b>		<b>Battery Management control</b>	
Manufacturer generic		Threshold commands as SOC calculation	
Model PWM SC2430B		Charging SOC = 0.98 / 0.75	
Technology MP Series transistor		Discharging SOC = 0.52 / 0.75	
Temp coeff. -6.0 mV/°C/Elem.			
<b>Total PV power</b>			
Nominal (STC) 0 kWp			
Total 1 modules			
Module area 1.7 m <sup>2</sup>			
Cell area 1.5 m <sup>2</sup>			

Gambar 4.4 Parameter Simulasi Sistem PLTS Off Grid

Sumber: PVsyst 7.2.0

Pada tabel 4.3 menunjukkan adanya *available solar energy* ( $E_{Avail}$ ) yaitu keseluruhan energi yang dapat dihasilkan dari sistem PLTS sebesar 391,25 kWh/tahun. *Unused energy* ( $E_{Unused}$ ) adalah energi yang tidak dapat digunakan akibat baterai penuh sebesar 76,445 kWh/tahun. *Energy supplied to the user* ( $E_{User}$ ) adalah energi yang dapat disuplai ke beban sebesar 236,78 kWh/tahun. *Energy need of the user* ( $E_{Load}$ ) adalah energi yang dibutuhkan oleh beban sebesar 381,06 kWh/tahun.

Tabel 4.3 Hasil Produksi Energi

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	$E_{Avail}$ kWh	$E_{Unused}$ kWh	$E_{Miss}$ kWh	$E_{User}$ kWh	$E_{Load}$ kWh	SolFrac ratio
January	165.6	142.8	30.34	4.880	12.65	19.71	32.36	0.609
February	142.7	128.2	27.12	4.864	12.01	17.22	29.23	0.589
March	150.8	140.8	29.56	5.559	13.63	18.73	32.36	0.579
April	156.8	153.4	32.45	6.402	11.66	19.66	31.32	0.628
May	151.6	155.3	32.85	6.640	12.39	19.97	32.36	0.617
June	144.6	151.9	32.27	6.015	11.13	20.19	31.32	0.645
July	162.1	169.8	36.14	6.974	10.45	21.92	32.36	0.677
August	174.1	175.0	37.54	7.079	10.15	22.21	32.36	0.686
September	179.0	171.1	36.60	7.583	11.26	20.06	31.32	0.640
October	189.6	173.0	36.96	7.518	11.68	20.68	32.36	0.639
November	162.4	141.7	29.75	7.061	13.92	17.40	31.32	0.556
December	164.9	141.6	29.67	5.868	13.35	19.01	32.36	0.587
Year	1944.0	1844.5	391.25	76.445	144.28	236.78	381.06	0.621

#### Legends

GlobHor Global horizontal irradiation

GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

$E_{Avail}$  Available Solar Energy

$E_{Unused}$  Unused energy (battery full)

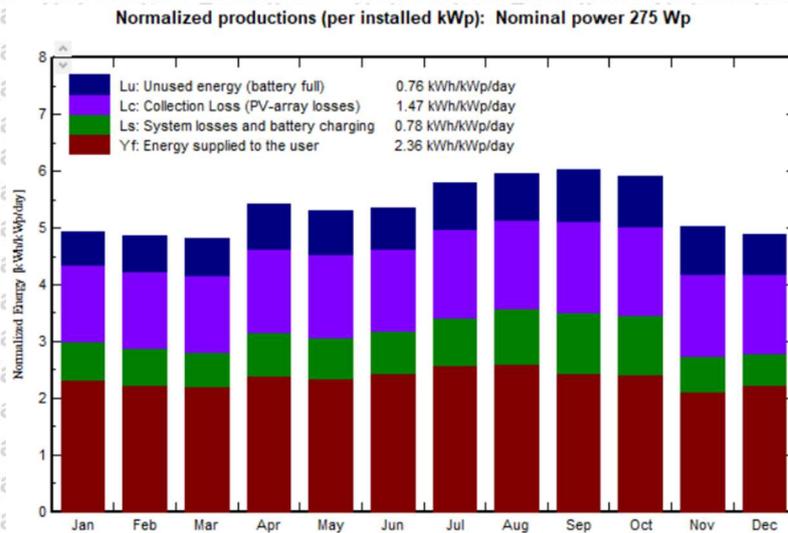
$E_{Miss}$  Missing energy

$E_{User}$  Energy supplied to the user

$E_{Load}$  Energy need of the user (Load)

SolFrac Solar fraction ( $E_{Used} / E_{Load}$ )

Pada gambar 4.5 menunjukkan produksi energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS *off grid* dalam 1 tahun di setiap bulannya.  $L_u$  (*unused energy*) adalah nilai energi yang diproduksi pada PLTS dimana energi tersebut tidak dapat digunakan akibat baterai penuh sebesar 0,76 kWh/kWp/hari.  $L_c$  (*collection loss*) adalah rugi-rugi pada modul surya mencakup instalasi kabel, *module quality* dan *mismatch*, sebesar 1,47 kWh/kWp/hari.  $L_c$  didapatkan dari hasil perbandingan antara energi yang seharusnya dibangkitkan oleh modul surya tanpa adanya rugi-rugi ( $Y_r$ ) dengan energi yang diproduksi oleh modul surya dengan memperhitungkan rugi-rugi ( $Y_a$ ).  $L_s$  (*system losses*) adalah rugi-rugi sistem PLTS dan pengisian baterai sebesar 0,78 kWh/kWp/hari.  $Y_f$  (*Energy supplied*) adalah energi yang dapat disuplai ke beban sebesar 2,36 kWh/kWp/hari.

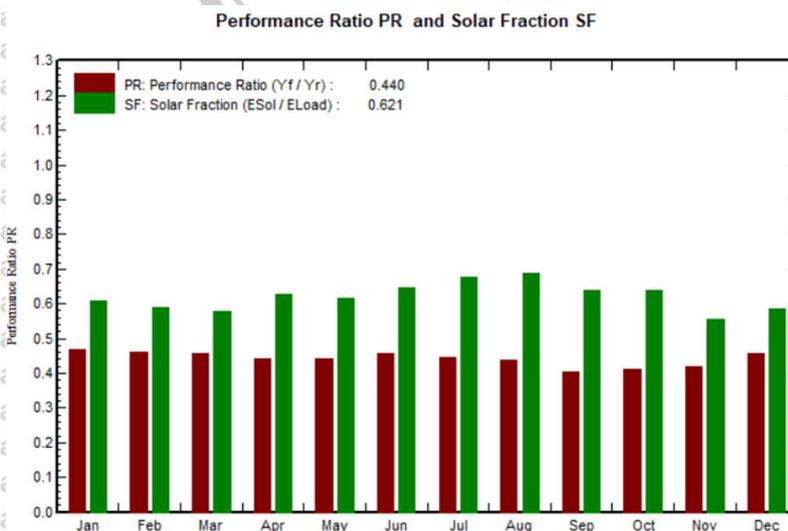


Gambar 4.5 Grafik Produksi Energi Listrik

Gambar 4.5 menunjukkan jumlah energi tertinggi yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS ini terdapat pada bulan September dan Oktober yang disebabkan oleh tingginya intensitas radiasi matahari pada bulan September sebesar  $5,97 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$  dan pada bulan Oktober sebesar  $6,12 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$  sedangkan jumlah energi terendah yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS ini terdapat pada bulan Maret yang disebabkan oleh rendahnya intensitas radiasi matahari pada bulan Maret sebesar  $4,86 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ .

Pada gambar 4.6 menunjukkan *performance ratio* (PR) sebesar 0,44 atau dengan persentasi sebesar 44%. PR adalah perbandingan antara energi yang disuplai ke beban (Yf) dengan energi yang seharusnya dibangkitkan oleh modul surya tanpa adanya rugi-rugi (Yr).

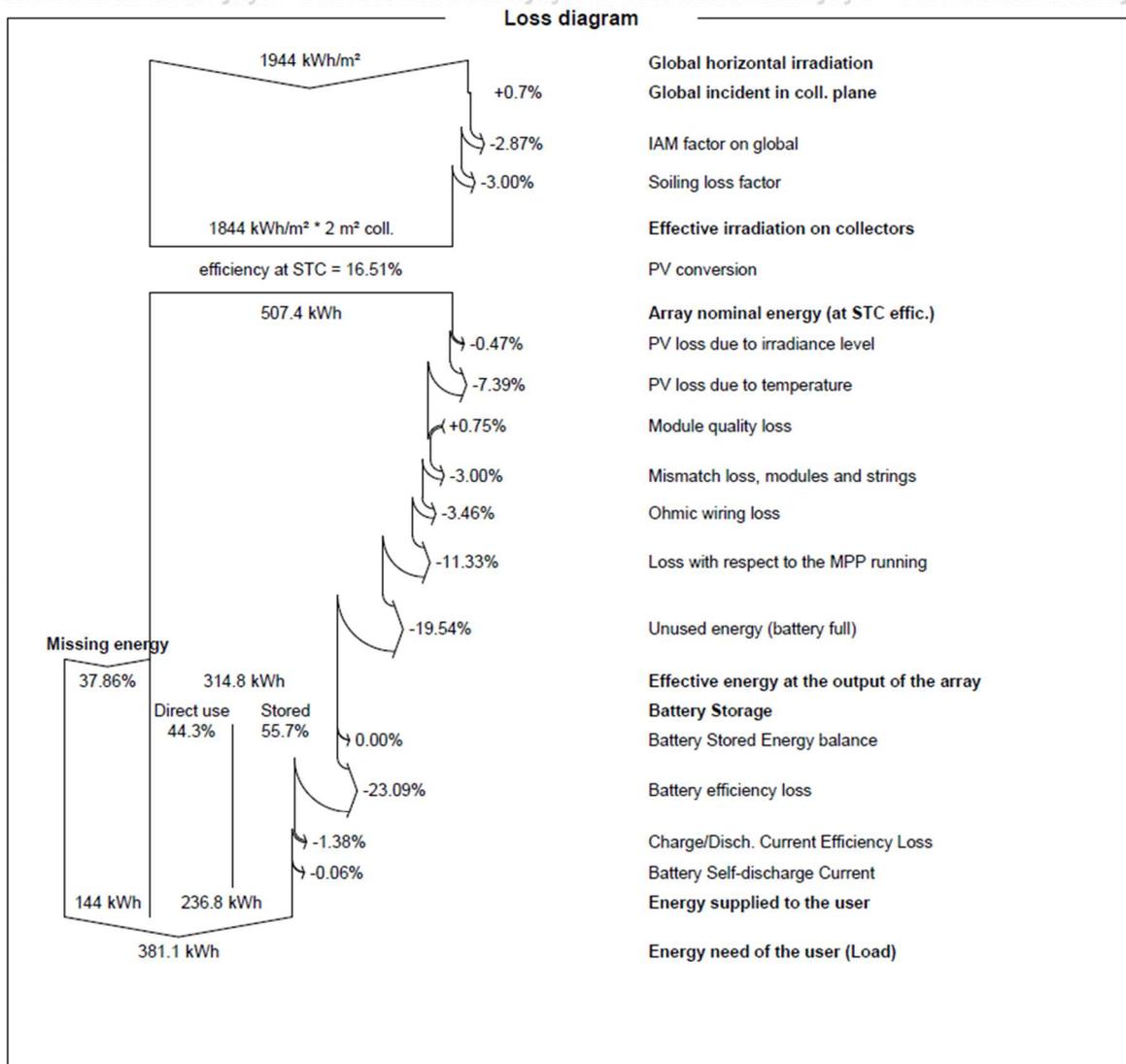
*Solar fraction* (SF) sebesar 0,621 atau dengan persentasi sebesar 62,1%. SF adalah perbandingan antara jumlah energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS dengan total energi yang dibutuhkan oleh beban.



Gambar 4.6 Performance Ratio and Solar Fraction

Gambar 4.6 menunjukkan *performance ratio* (PR) tertinggi terdapat pada bulan Januari dan Desember yang disebabkan oleh energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS dapat disuplai ke beban dan PR terendah terdapat pada bulan September dan Oktober yang disebabkan oleh energi yang dihasilkan sistem PLTS tertinggi tetapi tidak dapat disuplai ke beban. *Solar fraction* (SF) tertinggi terdapat pada bulan Agustus yang disebabkan oleh tingginya intensitas radiasi matahari pada bulan Agustus 5,62 kWh/m<sup>2</sup>/hari dan SF terendah terdapat pada bulan Maret yang disebabkan oleh rendahnya intensitas radiasi matahari pada bulan Maret sebesar 4,86 kWh/m<sup>2</sup>/hari.

Pada gambar 4.7 merupakan *loss diagram* dari sistem PLTS *off grid*.



Gambar 4.7 Loss Diagram Sistem PLTS Off Grid

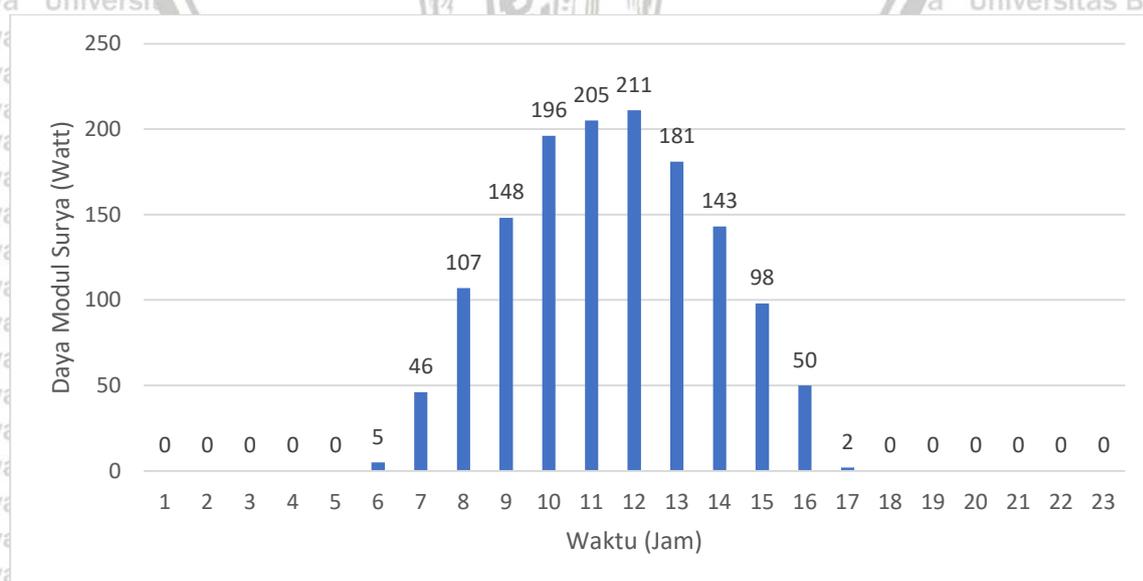
Energi yang dapat dikonversi oleh satu modul surya jenis GCL-P6/60-275 dengan daya nominal 275 Wp dan efisiensi 16,51% adalah sebesar 507,4 kWh/tahun. Rugi-rugi modul surya yang dipengaruhi perbedaan tingkat intensitas radiasi matahari sebesar 0,47%, rugi-

rugi modul surya yang dipengaruhi oleh suhu lingkungan sebesar 7,39%, rugi-rugi modul surya yang umumnya menyimpang dari spesifikasi sebesar 0,75%, rugi-rugi ketidakcocokan sebesar 3%, rugi-rugi instalasi kabel sebesar 3,46%, rugi-rugi pada saat daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya tetapi tidak dapat dimaksimalkan oleh SCC sebesar 11,33%, rugi-rugi akibat baterai penuh sebesar 19,34% dan rugi-rugi efisiensi baterai sebesar 23,09%.

Pada *loss diagram* terdapat *loss with respect to the MPP running* sebesar 11,33% yang disebabkan oleh SCC yang digunakan adalah SCC dengan teknologi PWM sehingga SCC tidak dapat memaksimalkan daya yang dapat dihasilkan oleh modul surya. *Unused energy* sebesar 19,34% yang disebabkan oleh kapasitas *battery bank* yang tidak dapat menyimpan secara keseluruhan energi yang dihasilkan 1 unit modul surya selama 1 hari.

#### 4.5. Hasil Simulasi Modul Surya PLTS *Off Grid*

Pada sub bab ini membahas tentang simulasi modul surya berdasarkan intensitas radiasi matahari di Kota Malang. Pada simulasi ini tidak membahas terkait pemilihan jenis modul surya karena komponen tersebut berasal dari ketersediaan modul surya pada gedung baru Teknik Elektro Universitas Brawijaya dengan merk GCL-P6/60-275. Pada gambar 3.3 dijelaskan bahwa modul surya 275 Wp memiliki Voc sebesar 38,5 V serta tegangan pada saat daya maksimum atau  $V_{MPP}$  31,4 V. lalu dijelaskan pula bahwa modul surya memiliki arus hubung singkat ( $I_{SC}$ ) sebesar 9,38 A serta arus pada saat daya maksimum ( $I_{MPP}$ ) sebesar 8,76 A. Semua data modul surya diatas adalah data performa pada saat *standart test condition* (STC) yaitu intensitas radiasi matahari 1000 W/m<sup>2</sup> dan suhu 25°C.



Gambar 4.8 Daya Keluaran Modul Surya 275 Wp terhadap waktu

Sumber: PVsyst 7.2.0

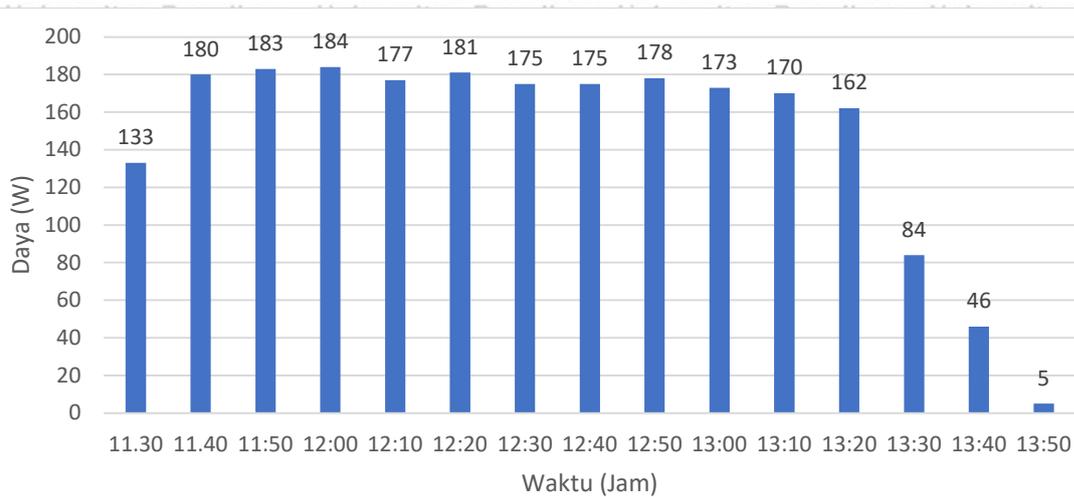
Gambar 4.8 merupakan hasil simulasi daya keluaran dari modul surya terhadap waktu pada tanggal 26 Mei 2021. Dari data diatas dapat dilihat bahwa daya yang dihasilkan modul surya tertinggi berada pada pukul 12.00 siang dengan nilai 211 W yang disebabkan oleh intensitas radiasi matahari tertinggi terdapat pada pukul 12.00 sedangkan daya yang dihasilkan modul surya terendah berada pada pukul 17.00 sore dengan nilai 2 W.

#### 4.6. Hasil Pengujian Modul Surya PLTS Off Grid

Pengujian ini dilakukan pada tanggal 26 Mei 2021 menggunakan modul surya 275 Wp, SCC jenis PWM SC2430B dan *battery bank* dengan tegangan nominal 22,2 V kapasitas sebesar 11 Ah. Pengujian ini dimulai pukul 11.30 untuk mengetahui daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh modul surya. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.4 dan gambar 4.8 merupakan grafik daya yang dihasilkan oleh modul surya terhadap waktu.

Tabel 4.4 Tegangan, Arus dan Daya yang dihasilkan oleh Modul Surya

Waktu (jam)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
11:30	21,20	6,31	133,77
11:40	24,10	7,47	180,02
11:50	24,18	7,59	183,52
12:00	24,37	7,59	184,96
12:10	24,36	7,29	177,58
12:20	24,71	7,35	181,61
12:30	24,83	7,05	175,05
12:40	23,80	7,36	175,16
12:50	25,21	7,10	178,99
13:00	25,62	6,77	173,44
13:10	25,76	6,61	170,27
13:20	25,70	6,34	162,93
13:30	34,45	2,45	84,40
13:40	34,02	1,38	46,94
13:50	34,76	0,17	5,90



Gambar 4.9 Daya yang dihasilkan oleh Modul Surya 275 Wp terhadap waktu

Pada hasil pengujian sistem PLTS *off grid* menggunakan modul surya jenis GCL-P6/60-275 dengan daya nominal 275 Wp, SCC jenis PWM SC2430B dan *battery bank* 22,2 V 11 Ah. Pengujian ini dimulai pukul 11.30-13.50 untuk mengetahui daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh modul surya. pukul 11.30 menghasilkan daya sebesar 133 W, pukul 12.00 menghasilkan daya puncak sebesar 184 W dan pukul 13.50 daya yang dihasilkan oleh modul surya menjadi konstan sebesar 5 W akibat *battery bank* telah terisi penuh.

Setelah melakukan simulasi modul surya PLTS *off grid* pada SPSL didapatkan daya puncak pada pukul 12.00 sebesar 211 W dan pengujian modul surya PLTS *off grid* pada SPSL didapatkan daya puncak pada pukul 12.00 sebesar 184 W sehingga selisih daya puncak pada pukul 12.00 sebesar 27 W.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Perancangan sistem PLTS *off grid* pada SPSL Teknik Elektro Universitas Brawijaya terdiri dari 1 unit modul surya merk GCL-P6/60-275 dengan daya nominal 275 Wp, 1 unit SCC merk PWM SC2430B dan *battery bank* yang digunakan merupakan susunan dari baterai lithium ion 18650. Kapasitas masing-masing baterai sebesar 2,2 Ah. Dengan konfigurasi 5 paralel, menghasilkan *battery bank* dengan kapasitas 11Ah. Tegangan nominal masing-masing baterai sebesar 3,7 V. Dengan konfigurasi 6 seri, menghasilkan *battery bank* dengan tegangan nominal 22,2V. Energi yang dapat dihasilkan sistem PLTS *off grid* pada SPSL dalam satu tahun berdasarkan perhitungan matematis sebesar 374,497 kWh/tahun dan berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* PVsyst 7.2.0 energi yang dapat dihasilkan sebesar 391,25 kWh/tahun.
2. Pada pengujian sistem PLTS *off grid* pada SPSL menggunakan 1 unit modul surya jenis GCL-P6/60-275 dengan daya nominal 275 Wp, SCC jenis PWM SC2430B dan *battery bank* dengan tegangan nominal 22,2 V kapasitas sebesar 11 Ah. Hasil pengujian ini menghasilkan daya puncak sebesar 184 W pada pukul 12.00. Sementara pada hasil simulasi dengan modul surya yang sama, menghasilkan daya puncak sebesar 211 W pada pukul 12.00. Sehingga selisih daya puncak antara pengujian dengan simulasi pada pukul 12.00 sebesar 27 W.

#### 5.2 Saran

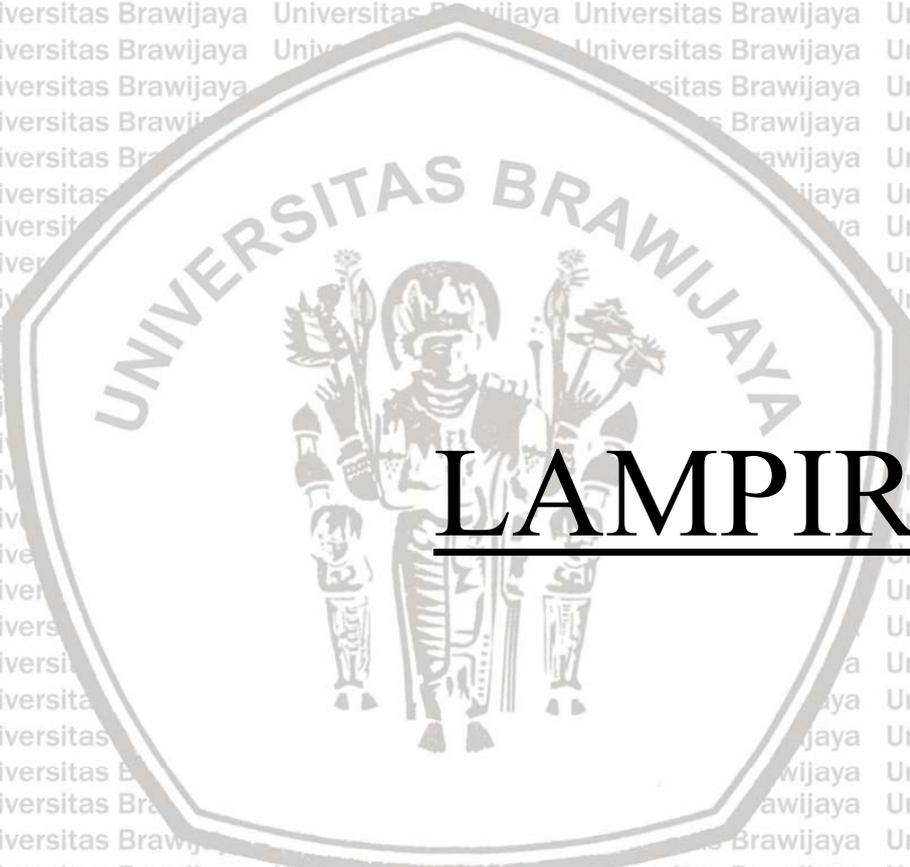
Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini, energi yang dapat dihasilkan setiap harinya jika menggunakan 1 unit modul surya jenis GCL-P6/60-275 dengan daya nominal 275 Wp adalah sebesar 1.026 Wh. Perancangan PLTS *off grid* sebaiknya menggunakan *battery bank* yang dapat menyimpan energi sebesar 1.026 Wh sehingga kapasitas *battery bank* menjadi 22,2 V 46 Ah dan jika menggunakan hari otonomi (hari ketika tidak adanya sinar matahari) sebanyak 3 hari maka kapasitas *battery bank* menjadi 22,2 V 138 Ah.
2. Perancangan pada PLTS sebaiknya menambahkan analisis bayangan, karena PLTS erat kaitannya dengan lingkungan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Bien, L. E., Kasim, I., & Wibowo, W. (2008). *Perancangan Sistem Hidrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Jala-jala Listrik PLN untuk Rumah Perkotaan*.
- Kadir, Abdul, Prof, Ir. (1994). *Energi : Suatu Perkembangan, Listrik Pedesaan di Indonesia*, UI Press, Jakarta.
- Krauter, S. C. W. (2006). *Solar Electric Power Generation - photovoltaic energy systems: modeling of optical and thermal performance, electrical yield, energy balance, effect on reduction of greenhouse gas emissions*. Berlin : Springer.
- Nafeh, A. E.-S. (2009). *Design and Economic Analysis of a Stand-Alone PV System to Electrify a Remote Area Household in Egypt*. Kairo: The Open Renewable Energy Journal.
- Nafis, S., Aman, M., & Hadiyono, A. (2015). *Analisis Keekonomian Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada Sistem Ketenagalistrikan Nias*.
- Sivertsen, Christer, J., & Søyland, P. (2014). *Design and Installation of a Grid-Connected PV System. Faculty of Engineering and Science*. Kristiansand: Department of Engineering Sciences, University of Agder.
- Ramadhani, B. (2018). *Instalasi Pembangkit Listrik Dos & Don'ts*. Jakarta: Energising Development (EnDev) Indonesia.
- Tetra Tech ES, Inc. (2018). *Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik (PLTS) Terpusat Indonesia Clean Energy Development II*. Jakarta: Tetra Tech ES, Inc.
- The German Energy Society. (2008). *Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installer, Architects and engineers. 2nd*. London: Earthscan.
- Wijayanto, S., & Widiastuti, I. (2016). *Pompa Air Bertenaga Hibrid untuk Irigasi Tanaman Buah Naga*. VANOS Journal of Mechanical Engineering Education.



# LAMPIRAN



# Lampiran 1 Data Spesifikasi Modul Surya GCL-P6/60-275

## GCL-P6/60 GCL-P6/60H

## GCL-Jupiter Series Polycrystalline Module

270-305W

### Electrical Specification (STC\*)

	270	275	280	285	290	295	300	305
Maximum Power	P <sub>max</sub> [W]	270	275	280	285	290	295	300
Maximum Power Voltage	V <sub>mp</sub> [V]	31.20	31.40	31.60	31.80	32.20	32.40	32.80
Maximum Power Current	I <sub>mp</sub> [A]	8.65	8.76	8.86	8.96	9.01	9.10	9.30
Open Circuit Voltage	V <sub>oc</sub> [V]	38.30	38.50	38.70	38.90	39.70	40.00	40.60
Short Circuit Current	I <sub>sc</sub> [A]	9.29	9.38	9.46	9.54	9.69	9.74	9.79
Module Efficiency	(%)	16.6	16.9	17.2	17.5	17.8	18.1	18.4
Power Output Tolerance	(W)	0~+5						

\* Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Module Temperature 25°C, Air Mass 1.5

### Electrical Specification (NOCT\*)

	201.02	204.45	207.90	211.39	215.92	219.60	222.57	226.75
Maximum Power	P <sub>max</sub> [W]	201.02	204.45	207.90	211.39	215.92	219.60	222.57
Maximum Power Voltage	V <sub>mp</sub> [V]	28.80	29.00	29.20	29.40	29.70	30.00	30.60
Maximum Power Current	I <sub>mp</sub> [A]	6.98	7.05	7.12	7.19	7.27	7.32	7.41
Open Circuit Voltage	V <sub>oc</sub> [V]	35.60	35.80	36.00	36.10	36.90	37.20	37.70
Short Circuit Current	I <sub>sc</sub> [A]	7.50	7.57	7.64	7.70	7.83	7.87	7.95

\* Irradiance 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s

### Mechanical Data

Solar Cell Type	Poly 156.75x156.75mm
Number of Cells	60 Cells (6x10)
Dimensions of Module L*W*H (mm)	1640x992x35mm [64.56 x 39.05 x 1.38 inches]
Weight (kg)	18.1kg
Glass	High transparency solar glass 3.2mm (0.13 inches)
Backsheet	White
Frame	Silver, anodized aluminium alloy
J-Box	IP68 Rated
Cable	4.0mm <sup>2</sup> (0.006 inches <sup>2</sup> ), 900mm [35.4 inches]
Number of diodes	3
Wind/ Snow Load	2400Pa/5400Pa*
Connector	MC4 Compatible

\* For more details please check the installation manual of GCLSI

### Temperature Ratings

Nominal Operating Cell Temperature [NOCT]	45±2°C
Temperature Coefficient of I <sub>sc</sub>	+0.050%/°C
Temperature Coefficient of V <sub>oc</sub>	-0.30%/°C
Temperature Coefficient of P <sub>max</sub>	-0.39%/°C

### Maximum Ratings

Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1000V DC
	1500V DC-[H]
Max Series Fuse Rating	15A

### Packaging Configuration

Module per box	30 pieces
Module per 40' container	840 pieces

### Optional

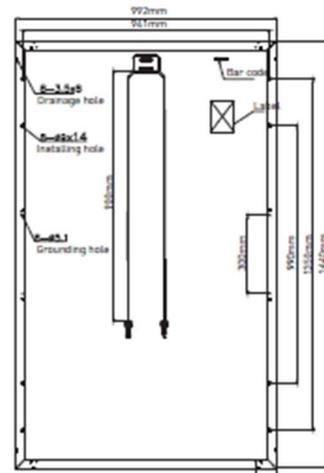
Connector:  Original MC4



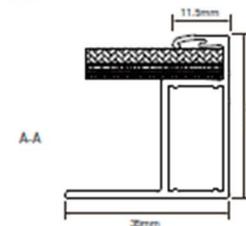
Contact Us for More Information

website: en.gclsi.com email: gclsales@gclsi.com

### Module Dimension

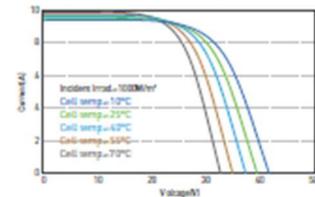


Back View

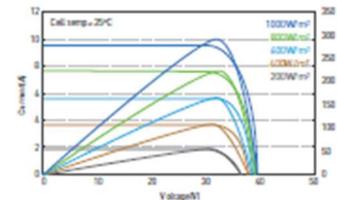


A-A

### U-I Curve at Different Temperature (290W)



### U-I/P-U Curve at Different Irradiation (290W)



CAUTION: READ INSTALLATION MANUAL BEFORE USING THE PRODUCT

## Lampiran 2 Hasil Simulasi PLTS *Off Grid*

General parameters			
<b>Stand alone system</b>		<b>Stand alone system with batteries</b>	
<b>PV Field Orientation</b>		<b>Sheds configuration</b>	<b>Models used</b>
Orientation		No 3D scene defined	Transposition Hay
Fixed plane			Diffuse Perez, Meteonorm
Tilt/Azimuth	14 / 0 °		Circumsolar separate
<b>User's needs</b>			
Daily household consumers			
Constant over the year			
Average	1.0 kWh/Day		

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Battery</b>	
Manufacturer	GCL	Manufacturer	Panasonic
Model	GCL-P6/60-275	Model	Cell Li LCO UR18650ZTA
(Original PVsyst database)		Technology	Lithium-ion, LCO
Unit Nom. Power	275 Wp	Nb. of units	5 in parallel x 6 in series
Number of PV modules	1 Unit	Discharging min. SOC	52.1 %
Nominal (STC)	275 Wp	Stored energy	0.1 kWh
Modules	1 String x 1 In series	<b>Battery Pack Characteristics</b>	
At operating cond. (50°C)		Voltage	22 V
Pmpp	249 Wp	Nominal Capacity	11 Ah (C10)
U mpp	28 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	8.8 A		
<b>Controller</b>		<b>Battery Management control</b>	
Manufacturer	generic	Threshold commands as	SOC calculation
Model	PWM SC2430B	Charging	SOC = 0.98 / 0.75
Technology	MP Series transistor	Discharging	SOC = 0.52 / 0.75
Temp coeff.	-8.0 mV/°C/Elem.		
<b>Total PV power</b>			
Nominal (STC)	0 kWp		
Total	1 modules		
Module area	1.7 m <sup>2</sup>		
Cell area	1.5 m <sup>2</sup>		

Array losses			
<b>Array Soiling Losses</b>		<b>Thermal Loss factor</b>	
Loss Fraction	3.0 %	Module temperature according to irradiance	
		Uc (const)	29.0 W/m <sup>2</sup> K
		Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s
<b>Serie Diode Loss</b>		<b>Module Quality Loss</b>	
Voltage drop	0.7 V	Loss Fraction	-0.8 %
Loss Fraction	2.2 % at STC		
<b>Strings Mismatch loss</b>		<b>IAM loss factor</b>	
Loss Fraction	0.5 %	ASHRAE Param: IAM = 1 - bo(1/cosi - 1)	
		bo Param.	0.05
		<b>DC wiring losses</b>	
		Global array res.	53 mΩ
		Loss Fraction	1.5 % at STC
		<b>Module mismatch losses</b>	
		Loss Fraction (Fixed voltage)	2.5 %

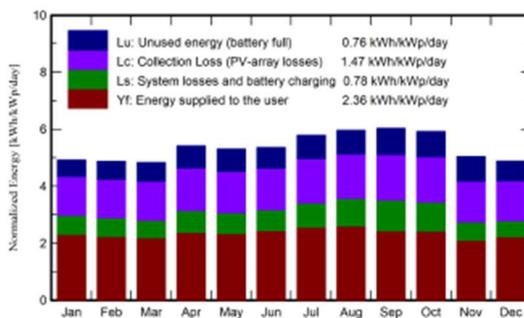
## Main results

## System Production

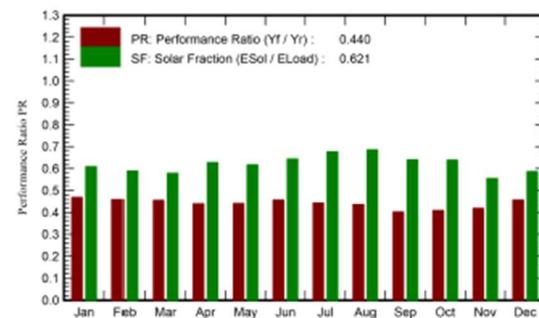
Available Energy	391.2 kWh/year
Used Energy	236.8 kWh/year
Excess (unused)	76.4 kWh/year
<b>Loss of Load</b>	
Time Fraction	53.5 %
Missing Energy	144.3 kWh/year

Specific production	1423 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR	43.98 %
Solar Fraction SF	62.14 %
<b>Battery aging (State of Wear)</b>	
Cycles SOW	72.6 %
Static SOW	90.0 %
Battery lifetime	3.6 years

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	165.6	142.8	30.34	4.880	12.65	19.71	32.36	0.609
February	142.7	128.2	27.12	4.864	12.01	17.22	29.23	0.589
March	150.8	140.8	29.56	5.559	13.63	18.73	32.36	0.579
April	156.8	153.4	32.45	6.402	11.66	19.66	31.32	0.628
May	151.6	155.3	32.85	6.640	12.39	19.97	32.36	0.617
June	144.6	151.9	32.27	6.015	11.13	20.19	31.32	0.645
July	162.1	169.8	36.14	6.974	10.45	21.92	32.36	0.677
August	174.1	175.0	37.54	7.079	10.15	22.21	32.36	0.686
September	179.0	171.1	36.60	7.583	11.26	20.06	31.32	0.640
October	189.6	173.0	36.96	7.518	11.68	20.68	32.36	0.639
November	162.4	141.7	29.75	7.061	13.92	17.40	31.32	0.556
December	164.9	141.6	29.67	5.868	13.35	19.01	32.36	0.587
Year	1944.0	1844.5	391.25	76.445	144.28	236.78	381.06	0.621

## Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	E_User	Energy supplied to the user
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E_Load	Energy need of the user (Load)
E_Avail	Available Solar Energy	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)
EUnused	Unused energy (battery full)		
E_Miss	Missing energy		