



**ANALISIS PENGGUNAAN PANEL SURYA SEBAGAI
CATU DAYA PADA BTS PT. TELKOMSEL DI PULAU
GILIGENTING MADURA**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ALIEF NASRUDDIN JAYA SAPUTRA

NIM. 135060300111021

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2017



LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS PENGGUNAAN PANEL SURYA SEBAGAI
CATU DAYA PADA BTS PT. TELKOMSEL DI PULAU
GILIGENTING MADURA
SKRIPSI
TEKNIK ELEKTRO KOSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik



ALIEF NASRUDDIN JAYA SAPUTRA
NIM. 135060300111021

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 31 Mei 2017

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Unggul Wibawa, M.Sc.
NIP. 19630106 198802 1 001

Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.
NIP. 19680122 199512 2001

RINGKASAN

Alief Nasruddin Jaya Saputra, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, April 2017, *Analisis Penggunaan Panel Surya Sebagai Catu Daya Pada BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligenting Madura*, Dosen Pembimbing: Unggul Wibawa dan Rini Nur Hasanah.

Skripsi ini membahas tentang perbandingan sistem panel surya terpasang dengan sistem panel surya terhitung yang sesuai dengan kebutuhan energi beban harian pada BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligenting Madura. Sistem panel surya yang dihitung digunakan untuk mencatu 100 % kebutuhan energi beban harian. Kapasitas dari modul surya, baterai, *charger controller* dan *inverter* yang digunakan pada sistem panel surya harus sesuai dengan kebutuhan beban yang ada. Perhitungan dilakukan dengan cara menghitung kebutuhan energi beban harian yang ada pada BTS. Beban yang ada pada BTS berupa beban DC dan beban AC. Kebutuhan energi beban harian yang ada pada BTS PT.Telkomsel adalah 27.616,58 Wh. Setelah diketahui kebutuhan energi beban harian maka didapatkan nilai dari kapasitas modul surya, baterai, *charger controller* dan *inverter* yang sesuai dengan kebutuhan berturut-turut adalah 7.337,73 Wp, 1.818 Ah, 135,9 A dan 178 W. Energi harian yang dihasilkan oleh sistem panel surya terpasang dengan menggunakan nilai radiasi matahari terendah pada bulan Desember sebesar 59.616 Wh dan untuk nilai radiasi matahari tertinggi pada bulan April sebesar 98.784 Wh. Karena sistem panel surya akan dijadikan catu daya utama untuk memenuhi kebutuhan energi beban harian maka perlu dihitung lama waktu *backup* baterai yang terpasang. Dengan nilai kapasitas muatan baterai terpasang sebesar 4.600 Ah maka untuk lama waktu *backup* dari baterai agar dapat memenuhi kebutuhan beban ketika tidak ada sinar matahari dengan nilai DOD (*Depth of Discharge*) dari baterai yaitu 80 % adalah 8 hari dan untuk nilai DOD 20 % adalah 2 hari. Dari hasil perhitungan kebutuhan energi beban harian dan sistem panel surya terhitung maka sistem panel surya yang terpasang sudah cukup untuk memenuhi seluruh kebutuhan energi beban harian dan dapat menjadi catu daya utama pada BTS.PT Telkomsel di Pulau Giligenting.

Kata kunci: BTS, energi harian, panel surya, catu daya

SUMMARY

Alief Nasruddin Jaya Saputra, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, April 2017, **Analysis of Solar Photovoltaic Utilization as Power Supply on BTS Telkomsel Corporation in Giligenting Island Madura**. Academic Supervisor: Unggul Wibawa dan Rini Nur Hasanah.

This thesis discusses the comparison of solar photovoltaic system installed with solar photovoltaic system accounting for the total energy loads demand of the daily loads on the BTS Telkomsel corporation in Giligenting island Madura. Solar photovoltaic system was calculated in order to supply 100% of the daily loads requirement. The capacities of solar modules, batteries, charger controllers and inverter used in solar photovoltaic system must according with the requirements of the existing loads. The first calculation proses is calculating the total energy demand of the daily loads on the BTS. The loads in BTS consists AC (alternating current) and DC (direct current) loads. Total energy loads demand of the daily loads on the BTS telkomsel corporation is 27,616.58 Wh. After the daily demand of energy needs was known, then calculating capacity of the solar module, batteries, charger controller and inverter are needs 7,337.73 Wp, 1,818 Ah, 135.9 A and 178 W. The daily energy result by the solar photovoltaic system installed by using solar radiation values are lowest in December is 59,616 Wh and for the highest solar radiation value in April is 98,784 Wh. Since the system of solar panels will be used as the main power supply filled the total energy loads demand of the daily loads to be calculated backup time battery installed. With the value of the battery capacity installed of 4,600 Ah then for a long time from the battery backup so that it can filled the loads when there is no sunlight in a day. With a value of DOD (Depth of Discharge) of a battery that 80% is 8 days and for 20% DOD value is 2 days. From the results of the calculation of the total energy loads demand of the daily loads and a system of solar panels solar photovoltaic system then calculated that the attached is enough to filled the entire total energy loads demand of the daily loads and can be the main power supply on BTS Telkomsel corporation in Giligenting Isand Madura.

Keywords: *BTS, daily energy, solar photovoltaic, power supply*

PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT dengan rahmat dan hidayah-Nya skripsi berjudul “Analisis Penggunaan Panel Surya Sebagai Catu Daya Pada BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligenting Madura” dapat terselesaikan. Dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada yang telah berkenan memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung kepada:

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Ali Mustofa S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ir. Unggul Wibawa, M.Sc. dan Ibu DR. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. atas segala bimbingan, kritik, dan saran yang telah diberikan.
4. Ibu Endah Budi S. S.T, M.T. selaku dosen pembimbing akademik beserta seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang selalu membantu penulis selama perkuliahan.
5. Bapak Ahmad Fathor Rassyid, S.T. selaku Alumni dan Sebagai Pembimbing pada PT.Telkomsel bagian Core and Power Performance Assurance Jawa Timur.
6. Keluarga tercinta Ayah Drs. Waji, Ibu Sukasih, S.Pd., Adik Putri Rizki Amalia Waji dan Nufal Fahmi Ghazia serta Lekna atas segala macam dukungan yang telah diberikan kepada penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.
7. Seluruh teman-teman Inti di Kepengurusan Eksekutif Mahasiswa Teknik Elektro periode 2016/2017.
8. Seluruh teman-teman di Departemen Eksternal Eksekutif Mahasiswa Teknik Elektro periode 2016/ 2017.
9. Seluruh teman-teman Spectrum 2013, terutama teman-teman kelas A dan konsentrasi Teknik Energi Elektrik (POWER) yang telah berbagi suka dan duka dari awal probinmaba hingga empat tahun menjalani perkuliahan.
10. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terimakasih banyak atas semua bantuannya.



Pada akhirnya, disadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun. Dan diharapkan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi bagi masyarakat.

Malang, Juni 2017

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Sistematika Pembahasan	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 <i>Base Transceiver Station</i>	5
2.2 Sumber Energi <i>Base Transceiver Station</i>	6
2.2.1 Sumber Energi Perusahaan Listrik Negara (PLN)	7
2.2.2 Sumber Energi dari Generator Set	7
2.2.3 Sumber Energi Baru Terbarukan	8
2.3 Sel Surya	10
2.3.1 Karakteristik Sel Surya	12
2.3.2 Tipe dari Panel Surya	14
2.3.2.1 Terhubung dengan jala jala PLN	14
2.3.2.2 Berdiri Sendiri (<i>Stand Alone</i>)	15
2.3.3 Rangkaian Panel Surya	16
2.3.4 Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi	17
2.4 Baterai	18
2.5 <i>Battery controller</i>	21
2.6 <i>Inverter</i>	22
2.7 Perhitungan Pada Sistem Panel Surya	22
2.7.1 Menentukan Kebutuhan Beban	22
2.7.2 Menentukan Kapasitas Modul	23
2.7.3 Menentukan Rangkaian Modul	23
2.7.4 Menentukan Daya Total modul	24



2.7.5 Menentukan Energi Modul Surya	24
2.7.6 Menentukan Kapasitas Baterai	24
2.7.7 Menentukan Kapasitas <i>Battery controller</i>	25
2.7.8 Menentukan Kapasitas <i>Inverter</i>	25
2.7.9 Menentukan Lama Waktu <i>Backup</i> Baterai	25
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Objek Penelitian	27
3.2 Lokasi Penelitian	27
3.3 Data Penelitian	28
3.4 Pengambilan Data	28
3.5 Metode Analisis Data	28
3.6 Pengambilan Kesimpulan	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Lokasi BTS	31
4.2 Kebutuhan Energi Beban Harian	32
4.3 Perhitungan Sistem Panel Surya Berdasarkan Kebutuhan Beban	35
4.3.1 Perhitungan Daya Modul Surya	36
4.3.2 Perhitungan Arus <i>Battrey Controller</i>	37
4.3.3 Perhitungan Muatan Baterai	38
4.3.4 Perhitungan Kapasitas Daya <i>Inverter</i>	39
4.4 Sistem Panel Surya Terpasang	40
4.4.1 Modul Surya	40
4.4.2 Baterai	42
4.4.3 <i>Battery Controller</i>	43
4.4.4 <i>Inverter</i>	45
4.5 Perbandingan Sistem Panel Surya Berdasarkan Kebutuhan Beban dan Terpasang	45
4.6 Analisis Energi yang Dihasilkan Panel Surya Berdasarkan Radiasi Matahari.....	46
4.7 Analisis Lama Waktu Cadang Baterai	48
BAB V PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	55



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Hal.
Tabel 2.1	Efisiensi Bahan Panel Surya	15
Tabel 2.2	Spesifikasi Baterai Isi Ulang	19
Tabel 4.1	Data Beban pada BTS PT. Telkomsel	33
Tabel 4.2	Suhu, Kelembaban dan Kecepatan Angin pada Pulau Giligenting	38
Tabel 4.3	Spesifikasi Modul Surya Terpasang	40
Tabel 4.4	Spesifikasi Baterai	42
Tabel 4.5	Spesifikasi Inverter	45
Tabel 4.6	Perbandingan Sistem Panel Surya	46
Tabel 4.7	Lama Waktu Modul Mendapatkan Sinar Matahari	48



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Hal.
Gambar 2.1	<i>Base Transceiver Station</i>	5
Gambar 2.2	Konsumsi energi di dunia tahun 2008	8
Gambar 2.3	Berbagai Macam Energi Baru Terbarukan	9
Gambar 2.4	Kristal silikon solar sel	10
Gambar 2.5	Susunan Panel Surya	11
Gambar 2.6	Macam macam bahan sel surya	11
Gambar 2.7	Grafik Arus terhadap Tegangan dan Daya terhadap Tegangan sel surya ...	13
Gambar 2.8	Skema sistem panel surya terhubung dengan Jala jala PLN	14
Gambar 2.9	Sistem Panel Surya <i>Stand Alone</i>	15
Gambar 2.10	Hubungan Seri Modul Surya	16
Gambar 2.12	Hubungan Pararel Modul Surya	17
Gambar 2.10	Radiasi Global	17
Gambar 2.11	Nilai radiasi perhari	18
Gambar 2.12	Baterai <i>Lead-Acid</i>	20
Gambar 2.14	<i>Battery Controller</i>	21
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 4.1	Letak BTS PT. Telkomsel	31
Gambar 4.2	Denah BTS PT. Telkomsel	32
Gambar 4.3	Menara BTS PT. Telkomsel	33
Gambar 4.4	Pengukuran Arus dan Tegangan Beban	33
Gambar 4.5	Kebutuhan Energi Beban Harian	34
Gambar 4.6	Sistem Panel Surya Terpasang	35
Gambar 4.7	Radiasi Matahari Pulau Giligenting	36
Gambar 4.8	Modul Surya Yingli	41
Gambar 4.9	Panel Surya Pada BTS PT. Telkomsel	41
Gambar 4.10	Baterai Sonnenshien A602/2300	43
Gambar 4.11	<i>Controller Flexmax 80</i>	43
Gambar 4.12	<i>Junction Box Controller</i>	44
Gambar 4.13	<i>Inverter Intwlligent SP-600</i>	45
Gambar 4.14	Energi Harian yang Dihasilkan Panel Surya	48



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Hal
Lampiran 1.	Log Alarm Rectifier BTS PT.Telkomsel	56
Lampiran 2.	Datasheet Modul Surya	57
Lampiran 3.	Datasheet Baterai	58
Lampiran 4.	Datasheet Inverter	59
Lampiran 5.	Pengukuran Arus dan Tegangan Beban	60
Lampiran 6	Tegangan Keluaran Panel Surya Saat tidak berbeban	61



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem telekomunikasi bergerak adalah salah satu teknologi komunikasi yang tumbuh dengan cepat dan sangat diminati pada pasar global untuk beberapa tahun ke belakang (Wang, 2004:535). Penggunaan *handphone* memiliki banyak dampak positif bagi pengguna, pekerjaan, pertumbuhan di sektor produksi dan ekonomi (Asif, 2015:35). Salah satu pendukung komunikasi bergerak adalah perangkat BTS (*Base Transceiver Station*). BTS merupakan tempat beradanya perangkat-perangkat yang berhubungan langsung dengan *handphone* pelanggan (*mobile station*) yang berfungsi sebagai pengirim dan penerima sinyal (Indrawan, 2013:32).

Permintaan terhadap pentingnya komunikasi memaksa perusahaan komunikasi membangun banyak BTS untuk memenuhi kebutuhan pelanggan karena keandalan dan ketersediaan dari perusahaan telekomunikasi harus mencakup segala area termasuk daerah yang tidak teraliri oleh listrik contohnya, pegunungan, gurun, dan lainnya. Setiap BTS memiliki beban yang berbeda-beda tergantung dari kebutuhan pelanggan di daerah tersebut (Hossam, 2016:355). Pada umumnya perangkat BTS membutuhkan energi listrik arus searah secara kontinyu, peralatan tersebut diletakkan pada ruangan tertutup yang disebut dengan *shelter* (Poetro, 2012:20).

Banyak dari BTS yang berada di pedesaan dan daerah terpencil tanpa pasokan listrik dari pemerintah menggunakan generator set sebagai sumber energi utama (Otasowie, 2015:50). Penggunaan generator set dapat menghasilkan polutan berupa gas CO₂ yang tidak ramah terhadap lingkungan. Saat ini banyak perusahaan telekomunikasi yang sadar akan pentingnya menjaga lingkungan. Penggunaan catu daya ramah lingkungan menjadi solusi yang tepat untuk permasalahan tersebut (Belfqih, 2009:1). Karena PT.Telkomsel sebagai penyedia jasa telekomunikasi sadar akan hal tersebut maka PT.Telkomsel membangun panel surya sebagai tambahan catu daya pada BTS yang berada di Pulau Giligenting Desa Aenganyar Madura pada tahun 2010.

Dengan menggunakan energi baru terbarukan sebagai alternatif catu daya, maka lebih efektif daripada menggunakan generator set. Dapat dilihat dalam kurun waktu 25-30

tahun dari jangka waktu pemakaian, tidak menimbulkan polusi dan ramah terhadap lingkungan (Otasowie, 2015:50). Setelah terpasang panel surya waktu penggunaan generator set menjadi berkurang dalam kurun waktu satu bulan, generator set hanya dipakai satu kali dan dalam jangka waktu yang relatif singkat, hal ini dapat dilihat pada *log alarm rectifier* BTS PT.Telkomsel. Karena waktu penggunaan generator set yang sudah berkurang maka dipertimbangkan untuk melakukan penarikan generator set untuk dialokasikan ke tempat lain yang membutuhkan.

Karena latar belakang tersebut maka diperlukan suatu analisis mengenai penggunaan panel surya sebagai catu daya utama pada BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligenting Jawa Timur menggantikan peran PLN dan genset dan mengetahui lama waktu *cadang* baterai yang ada pada BTS.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang diatas maka rumusan masalah yang disusun adalah :

1. Berapa kebutuhan energi beban harian pada BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligenting Madura.
2. Berapa kapasitas daya modul surya, muatan baterai, arus *battery controller*, daya *inverter* sesuai dengan kebutuhan beban.
3. Berapa energi harian yang dapat dihasilkan oleh panel surya terpasang pada BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligenting.
4. Berapa lama waktu *cadang* baterai pada BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligenting Madura.

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada skripsi ini diabatasi pada hal hal sebagai berikut :

1. Objek BTS yang diteliti adalah BTS PT. Telkomsel di Desa Aenganyar Pulau Giligenting Madura.
2. Analisis yang digunakan adalah dengan menghitung kebutuhan energi beban harian yang terpasang pada BTS.
3. Untuk mengetahui energi yang dihasilkan panel surya maka menggunakan nilai dari radiasi matahari yang diambil dari NASA.
4. Hanya membahas panel surya sebagai catu daya utama pada BTS PT.Telkomsel.
5. Panel surya yang digunakan pada keadaan STC (*Standard Test Condition*).

6. Tidak mengukur daya keluaran pada modul surya.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah dapat memberikan rekomendasi kepada PT. Telkomsel untuk menjadikan panel surya sebagai catu daya utama dalam memenuhi kebutuhan beban menggantikan peran PLN dan generator set pada BTS PT. Telkomsel di Pulau Giligenting Madura.

1.5 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan skripsi dengan judul “Analisis Penggunaan Panel Surya Sebagai Suplai Daya pada BTS PT. Telkomsel di Pulau Giligenting Madura” adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas dasar teori yang digunakan sebagai landasan teori dalam penelitian yang dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Membahas tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini seperti, studi literatur, obyek penelitian, variabel penelitian, pengumpulan data, analisis, serta penarikan kesimpulan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Melaukan perhitungan dan analisis data.

BAB V PENUTUP

Membahas tentang kesimpulan dan saran sehingga penelitian ini dapat menjadi rekomendasi bagi PT. Telkomsel untuk ditindaklanjuti.

DAFTAR PUSTAKA

Memaparkan tentang sumber sumber literatur yang digunakan dalam penelitian.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Base Transceiver Station

BTS (*Base Transceiver Station*) merupakan suatu alat pada jaringan telekomunikasi seluler yang terhubung langsung dengan pelanggan melalui perangkat *interface* antara pelanggan dan MSC (*Mobile Switching Centre*) serta berfungsi sebagai penerima dan pemancar gelombang radio (Poetra, 2012: 30).



Gambar 2,1 Base Transceiver Station

Sumber : Belfqih (2009:1)

Pada gambar 2.1 menunjukkan sebuah BTS yang pada umumnya memiliki konfigurasi bangunan/ komponen sebagai berikut: (Abdussamad, 2008:2)

- a. Menara, merupakan sebuah bangunan yang digunakan untuk menempatkan peralatan antenna sebagai hubungan komunikasi lewat udara. Fungsi menara

sangat penting yaitu untuk menjamin besar daerah yang dapat tercakup oleh jaringan telekomunikasi seluler.

- b. Antena, merupakan perangkat telekomunikasi yang sangat penting untuk memancarkan sinyal. Pada menara komunikasi selular antenna terbagi menjadi 2 macam yaitu antena BTS dan antena untuk *microwave*.
- c. Pagar, yang berfungsi sebagai proteksi terhadap gangguan luar seperti sambaran petir, pencurian serta menjadi pembatas antara area dengan lingkungan sekitar.
- d. *Shelter*, yang berfungsi sebagai tempat bersifat semi permanen untuk menempatkan perangkat radio serta perangkat penunjang lain. *Shelter* ini harus memberikan perlindungan bagi perangkat didalamnya, baik dari faktor internal dan faktor eksternal.
- e. Elektrikal, yang berfungsi sebagai sistem utama untuk menunjang perangkat radio yang memiliki fungsi utama untuk memberikan suplai daya untuk setiap perangkat elektrik pada *site*, yang termasuk dari sistem kelistrikan antara lain sistem *alarm*, sistem pengamanan perangkat (*Grounding system*) dan *air conditioner* atau sistem pendingin.
- f. Genset dan rumah genset, genset digunakan sebagai *cadang* suplai daya jika terjadi gangguan pada PLN. Genset dapat dipakai sebagai sumber utama ketika berada pada *remote area* yang belum terjangkau distribusi listrik dari PLN, serta untuk menjaga kontinuitas dari perangkat BSC dan MSC.

2.2 Sumber Energi Base Transceiver Station

Pada bidang industri telekomunikasi, listrik merupakan kebutuhan dasar yang sangat mempengaruhi pelaksanaan dari suatu proses operasional suatu sistem yang ada (Abdussamad,2008:2). Besarnya kebutuhan energi suatu BTS bergantung pada seberapa pentingnya suatu BTS pada wilayah tersebut dan jumlah peralatan yang terpasang pada BTS (Indrawan, 2013:32). Catu daya pada BTS umumnya digunakan untuk peralatan telekomunikasi, *air conditioner*, lampu dan radio *backhaul* (Saxena, 2013:69).

Secara keseluruhan catu daya pada dunia telekomunikasi terdiri dari dua tipe, yaitu: (Wang, 2004,535)

- a. Catu daya utama: dipergunakan saat operasi normal.
- b. Catu daya darurat : ketika sumber utama tidak dapat beroperasi, perangkat didisain dengan set baterai untuk mengatasi masalah tersebut.

2.2.1 Sumber Energi Perusahaan Listrik Negara (PLN)

PLN merupakan sumber listrik termurah di Indonesia dibandingkan dengan sumber listrik lainnya. Nilai TDL (tarif daftar listrik) pada bulan Oktober 2016, tercatat bahwa untuk pelanggan 1.300 VA- 200 kVA dikenakan tarif Rp 1.579,74 per kWh. Ada berapa keuntungan jika menggunakan sumber listrik dari PLN dibandingkan dengan menggunakan generator set yaitu: (Saxena, 2001:2)

- a. Nilai OPEX dari PLN yang rendah
- b. Perawatan yang lebih murah
- c. Lebih rendah nilai emisinya.

Di Indonesia masih banyak daerah yang belum teraliri aliran listrik, atau daerah yang kurang akan pasokan listrik. Oleh karena itu untuk daerah tersebut PLN belum dapat menjadi suplai energi utama dikarenakan keandalan sistem yang belum memadai.

2.2.2 Sumber Energi dari Generator Set

Generator adalah sumber energi listrik yang menggunakan magnet untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Secara sederhana generator bekerja ketika suatu gaya gerak listrik terinduksi di dalam konduktor yang memotong atau dipotong oleh medan magnet. Jumlah tegangan yang diinduksikan pada penghantar saat penghantar bergerak pada medan magnet bergantung pada: (Abdussamad, 2008:4)

- a. Kekuatan medan magnet. Makin kuat medan magnet makin besar tegangan yang diinduksikan.
- b. Kecepatan pada penghantar yang memotong fluks. Bertambahnya kecepatan penghantar menambah besarnya tegangan yang diinduksikan.
- c. Sudut pada tempat penghantar memotong fluks. Tegangan maksimum diinduksikan apabila konduktor memotong pada 90° dan tegangan yang lebih rendah diinduksikan apabila sudut itu kurang dari 90° .
- d. Panjang penghantar pada medan magnet. Jika penghantar digulung menjadi kumparan yang terdiri dari beberapa lilitan, panjang efektif bertambah dan tegangan yang diinduksikan akan bertambah.

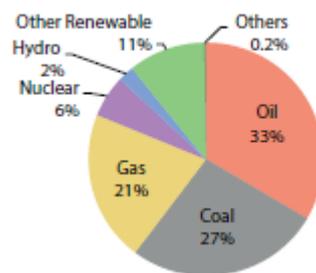
Penggunaan generator set di Indonesia sebagai catu daya untuk BTS di *remote area* menjadi suatu pilihan yang paling banyak dilakukan karena mudah dalam instalasi dan pemakaian. Seharusnya pemakaian generator set dapat dikurangi karena menggunakan

bahan bakar fosil dan dapat menghasilkan polutan berupa CO₂. Ada beberapa pertimbangan jika ingin menggunakan generator set diantaranya (Saxena, 2013:72) :

- a. Biaya dari distribusi
- b. Keamanan
- c. Pencurian bahan bakar
- d. Pencurian komponen generator set
- e. Biaya perawatan
- f. Jadwal perawatan
- g. Kualitas dari oli dan bahan bakar yang digunakan.

2.2.3 Sumber Energi Baru Terbarukan

Dalam buku panduan energi yang terbarukan disebutkan bahwa energi terbarukan adalah sumber-sumber energi yang tidak dapat habis secara alamiah. Energi terbarukan berasal dari elemen- elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah besar. Menurut IEA *World Energy Outlook 2013* permintaan energi global akan tumbuh sekitar sepertiga dari tahun 2011-2013, permintaan kenaikan energi dapat berdampak pada ekonomi. Permintaan yang banyak tetapi penyedia sedikit maka akan membuat harga menjadi mahal karena terbatasnya produksi (Jager, 2014:9). Dapat dilihat pada gambar 2.3 bahwa konsumsi sumber energi dunia yang ada di tahun 2008, 33% berasal dari bahan baku minyak, 27% batu bara, 21% gas, 6% nuklir, 2% air dan hanya 11% yang memanfaatkan energi baru terbarukan.



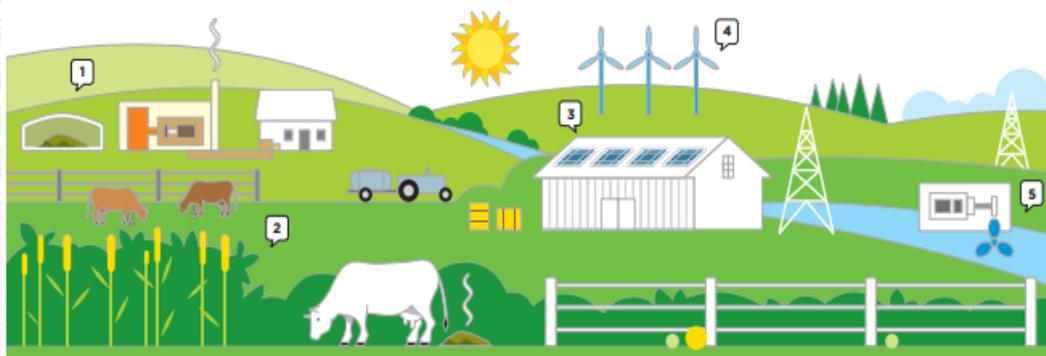
Gambar 2.2 Konsumsi Energi di Dunia Tahun 2008
Sumber: Jager (2014:9)

Seiring dengan kebutuhan energi dunia, kebutuhan energi Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat, hal ini disebabkan oleh pertumbuhan ekonomi dan industri. Kebijakan pengembang teknologi saat ini harus berwawasan lingkungan, salah satu sumber energi

yang dapat digali adalah tenaga surya, energi yang dipancarkan oleh matahari ke bumi ± 20.000 kali energi yang dibutuhkan oleh dunia (Wibawa, 2008:26). Pemanfaatan energi surya mempunyai berbagai keuntungan yaitu (Surindra, 2011:74) :

- a. Energi ini tersedia dengan jumlah yang besar di Indonesia
- b. Sangat mendukung kebijakan energi nasional tentang penghematan, diversifikasi dan pemerataan energi
- c. Memungkinkan dibangun di daerah terpencil karena tidak memerlukan transmisi energi maupun transportasi sumber energi.

Energi surya merupakan sumberdaya alternatif yang prospektif karena energi surya merupakan sumber energi yang dapat diperbarui dan tidak menimbulkan polusi. Potensi energi surya di Indonesia yang berada di jalur khatulistiwa memungkinkan penggunaan secara langsung dalam bangunan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Selain energi surya masih banyak sumber energi lain yang dapat dikembangkan untuk energi baru terbarukan seperti yang ada pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Berbagai Macam Energi Baru Terbarukan
Sumber : Contaned Energy Indonesia

Dari gambar 2.3 dapat dilihat berbagai macam energi baru terbarukan diantaranya:

1. Pembangkit biomassa
2. Biomassa
3. Pembangkit tenaga surya
4. Pembangkit tenaga bayu
5. Pembangkit tenaga air

Dengan menggunakan energi baru terbarukan sebagai suplai daya pada BTS dapat secara signifikan mengurangi operasi OPEX dan emisi gas buang dari CO₂ dibandingkan dengan menggunakan catu daya dari fosil dan generator set. Menurut buku panduan energi yang

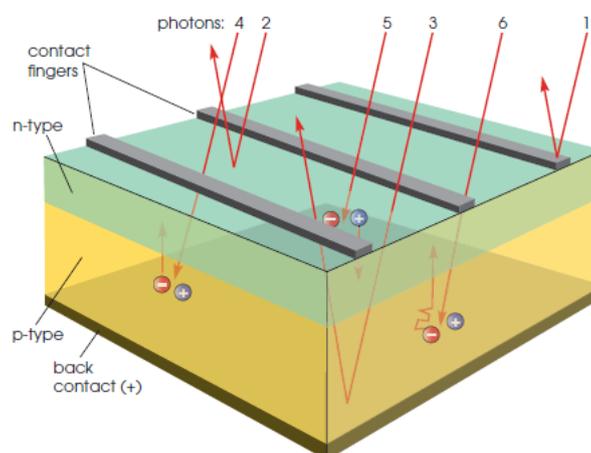
terbarukan ada beberapa manfaat yang didapat ketika memakai energi baru terbarukan yaitu:

- a. Selalu tersedia
- b. Tersedia secara melimpah
- c. Tidak akan habis
- d. Ramah lingkungan
- e. Tidak memerlukan biaya perawatan yang banyak
- f. Lebih murah dibanding dengan energi konvensional dalam jangka waktu panjang
- g. Beberapa teknologi cocok digunakan pada daerah yang belum teraliri listrik oleh PLN.

2.3 Sel Surya

Sel surya merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Penggunaan panel surya sebagai salah satu pembangkit tenaga listrik dewasa ini semakin sering kita jumpai, diantaranya sebagai pengisi baterai sepeda listrik, pemanas air, dan juga sebagai pembangkit tenaga listrik yang akan dihubungkan langsung ke jala-jala PLN dan digunakan sebagai suplai sumber pada BTS pada daerah yang belum terdapat jaringan PLN (Kurniawan, 2010:1).

Sel surya tersusun dari dua lapisan semikonduktor dengan muatan yang berbeda. Lapisan atas sel surya bermuatan negatif sedangkan lapisan bawahnya bermuatan positif. Ketika cahaya mengenai permukaan sel surya maka beberapa foton dari cahaya akan diserap oleh atom semikonduktor untuk membebaskan elektron dari ikatan atomnya sehingga menjadi elektron yang bergerak bebas. Adanya perpindahan elektron inilah yang menyebabkan terjadinya arus listrik (Quaschnig, 2005:50).

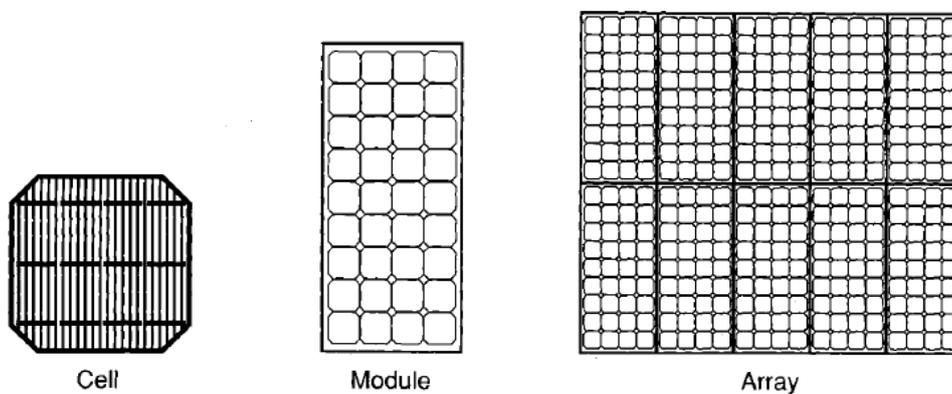


Gambar 2.4 Kristal silikon solar sel

Sumber: Lynn (2010:36)

Sel surya dalam keadaan tidak mendapat sinar memiliki prinsip sama seperti dioda (Wibawa, 2008:27). Kinerja sel surya yang terbaik ditunjukkan oleh karakteristik arus tegangan. Oleh karena itu penting untuk mengetahui tegangan output (V) dan arus keluaran (I) dan bagaimana mereka bervariasi untuk hubungan satu sama lain. Daya (P) yang diproduksi oleh sel surya adalah produk dari tegangan (V) dan arus (I) untuk karakteristik operasi tertentu.

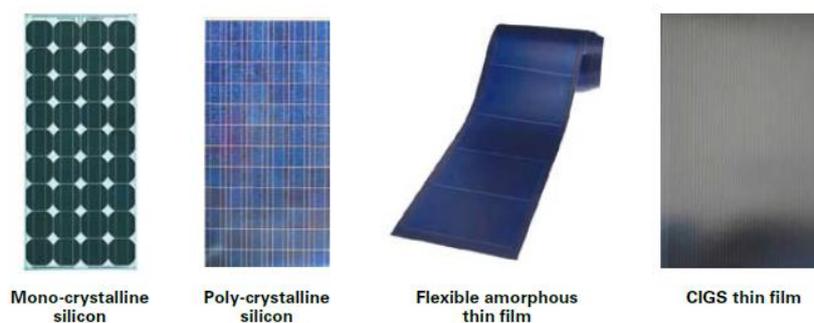
Dari gambar 2.5 terlihat bahwan jika sejumlah sel surya yang dihubungkan satu sama lain dan dipasang pada struktur pendukung atau frame dapat disebut dengan modul photovoltaik. Sejumlah modul sel surya yang dihubungkan satu sama lain disebut dengan *array*.



Gambar 2.5 Susunan Panel Surya

Sumber: Patel, (2000:140)

Modul surya biasanya dirancang untuk memasok listrik pada tegangan tertentu, seperti pada umumnya sistem 12 volt. Arus yang dihasilkan secara langsung tergantung pada seberapa banyak cahaya yang mengenai modul. Dalam gambar 2.6 terlihat beberapa bahan yang digunakan sebagai dasar dari sel surya.



Gambar 2.6 Macam macam bahan sel surya

Sumber : Energy Market Authority,(2016:8)

Sel surya terbuat dari bahan semi konduktor yang peka terhadap cahaya yang menggunkan foton untuk menghasilkan arus listrik. Ada 2 jenis teknologi bahan yang digunakan dalam membuat sel surya yaitu silicon dan *thin film* atau yang biasa disebut film tipis. Jika dilihat dari tabel 2.1 terlihat bahwa efisiensi dari berbagai macam bahan tersebut berbeda-beda.

Tabel 2.1
Efisiensi Bahan Panel Surya

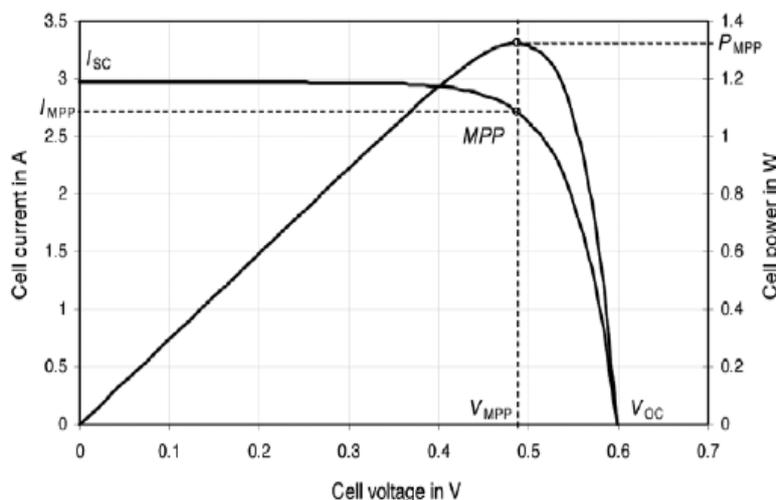
Technology	Module Efficiency
Mono-crystalline Silicon	12.5-15%
Poly-crystalline Silicon	11-14%
Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)	10-13%
Cadmium Telluride (CdTe)	9-12%
Amorphous Silicon (a-Si)	5-7%

Sumber : Energy Market Authority, (2016:8)

Menurut buku yang berjudul Handbook for solar photovoltaic (PV) menyebutkan bahwa keunggulan teknologi *crystalline* terletak pada efisiensi konversi yang relatif tinggi serta basis instalasi besar atas peralatan produksi. Namun, teknologi ini juga memiliki kekurangan karena memerlukan tenaga kerja yang sangat banyak, bahan yang sangat banyak, dan keterbatasan bentuk fisiknya (terbuat dari sel yang keras dan kaku dipotong dari potongan yang lebih besar). Bahan-bahan ini memiliki keunggulan, yakni ideal untuk produksi secara otomatis, menggunakan sedikit bahan, dan bisa juga disimpan pada berbagai bahan dan memiliki bentuk yang unik dan tidak biasa. Kekurangan dari teknologi ini mencakup kurangnya pengalaman memproduksinya serta efisiensi konversi yang rendah (hingga baru-baru ini, ketika teknologi CIS dan CdTe telah memulai melakukan pendekatan kepada efisiensi konversi teknologi *crystalline*).

2.3.1 Karakteristik Sel Surya

Sel surya menghasilkan arus, dan arus ini beragam tergantung pada tegangan yang dihasilkan oleh sel surya. Karakteristik tegangan-arus biasanya menunjukkan hubungan tersebut. Penjelasan tentang karateristik sel surya dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Grafik Arus terhadap Tegangan dan Daya terhadap Tegangan sel surya
Sumber: Quaschnig, (2005 : 138)

Pada gambar 2.7 menunjukkan hubungan antara tegangan dan arus pada sel surya serta nilai daya keluaran modul surya. Ketika tegangan sel surya sama dengan nol atau digambarkan sebagai arus arus *short circuit* (I_{sc}) atau arus hubung singkat yang sebanding dengan radiasi terhadap sel surya. Jika arus sel surya sama dengan nol, sel surya tersebut digambarkan sebagai rangkaian terbuka. Tegangan sel surya kemudian menjadi tegangan *open circuit* (V_{oc}) atau tegangan hubung buka.

Nilai I_{mpp} adalah nilai Arus maksimal pada saat sel surya diberi beban, V_{mpp} adalah nilai tegangan maksimal ketika sel surya diberi beban. Hubungan antara V_{mpp} dan I_{mpp} membuat nilai M_{pp} (*Maximum Power Point*) yaitu nilai Titik operasi yang menunjukkan daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya. Nilai V_{mpp} dan I_{mpp} selalu dibawah nilai I_{sc} dan V_{oc} . Oleh karena itu, daya maksimum sel surya dan efisiensi sel surya menurun dengan peningkatan temperatur Pada kebanyakan sel surya, peningkatan temperatur dari $25^{\circ}C$ mengakibatkan penurunan daya sekitar 10% (Quaschnig,2005:138).

Besar nilai dari daya yang dihasilkan oleh panel surya ketika pada kondisi sebenarnya biasana lebih rendah dibanding dengan daya pada keadaan STC (*Standard Test Condition*). Untuk mendapatkan nilai daya yang dihasilkan oleh panel surya atau P_{mpp} dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2-1 (Quaschnig, 2005:140)

$$P_{mpp} = FF \times V_{oc} \times I_{sc} \quad (2-1)$$

Yang dimana FF adalah nilai *fill factor* yang dapat dicari dengan persamaan 2-2 (Quaschnig, 2005:140)

$$FF = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2-2)$$

Sehingga dapat dicari nilai efisiensi dari panel surya yaitu perbandingan antara daya listrik maksimum sel surya dengan daya pancaran (*radiant*) pada bidang panel surya (Quaschnig, 2005:140)

$$\eta = \frac{FF \times V_{oc} \times I_{sc}}{E \times A} \times 100\% \quad (2-3)$$

Seperti yang dapat dilihat pada tabel 2.1, terdapat berbagai macam bahan memiliki efisiensi yang berbeda beda.

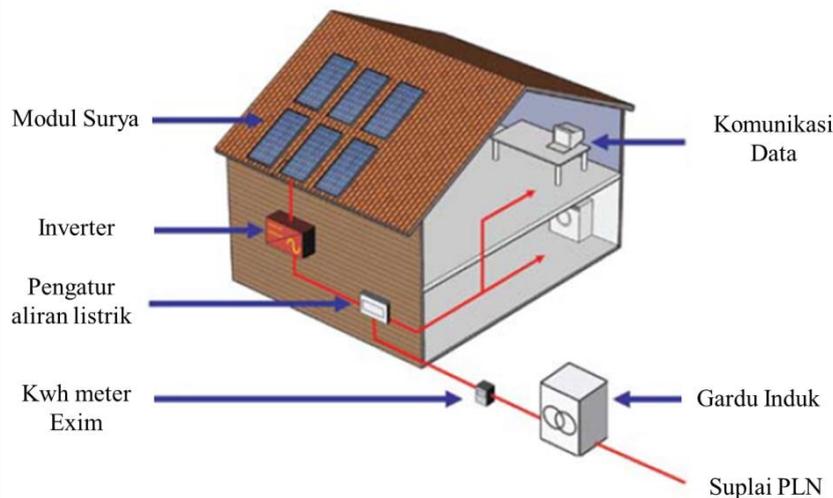
2.3.2 Tipe dari Panel Surya

Sistem panel surya dapat diklasifikasikan berdasarkan pemakaian aplikasi tersebut.

Ada dua tipe dari sistem panel surya yaitu terhubung dengan jala jala PLN dan berdiri sendiri (*stand alone*).

2.3.2.1 Terhubung dengan jala jala PLN

Pada gambar 2.8 menunjukkan ilustrasi sistem panel surya yang terhubung dengan jala-jalan PLN.



Gambar 2.8 Skema sistem panel surya terhubung dengan Jala jala PLN
Sumber : Energy Market Authority, (2016:5)

Tegangan yang dihasilkan oleh panel surya adalah berupa tegangan searah (*DC current*) sedangkan tegangan yang ada pada PLN adalah berupa arus bolak-balik (*AC Current*). Oleh karena itu dibutuhkan *inverter* untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC yang dapat langsung dihubungkan dengan kWh meter *export import* (exim).

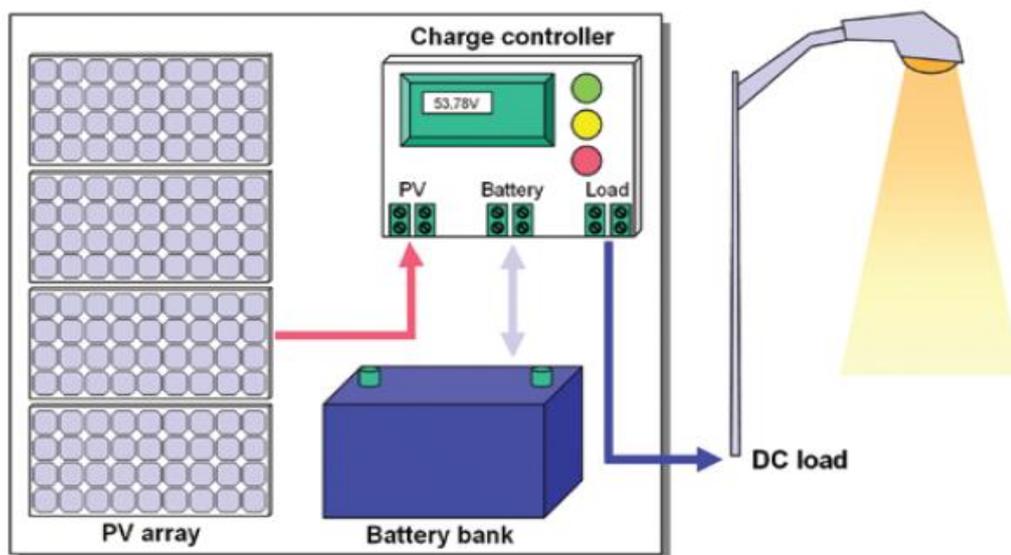
Sesuai dengan pasal 5 Peraturan Direksi PLN nomer 0733.K/DIR.2013 tentang transaksi energi listrik dijelaskan bahwa :

1. PLN memasang jenis kWh meter *export import* (exim) untuk pelanggan PLN yang memanfaatkan energi listrik dari fotovoltaik, selain dari listrik PLN.
2. Energi listrik yang diterima PLN dari fotovoltaik akan di offset dengan energi listrik yang dikirim PLN ke pelanggan.
3. Dalam hal energi yang diterima oleh PLN dari fotovoltaik sebagaimana dimaksud pada ayat (2) lebih besar daripada energi yang dikirim PLN, maka selisihnya menjadi deposit kWh untuk diperhitungkan pada bulan-bulan berikutnya, demikian seterusnya.
4. Pelanggan tetap dikenakan rekening minimum sesuai daya tersambung dengan PLN.

Jadi sesuai dengan pasal tersebut, bagi pemilik sistem panel surya yang memiliki kelebihan energi yang dihasilkan, dapat mengirimkan kelebihan energy tersebut ke jala-jala PLN, yang selisih tersebut akan menjadi deposit kWh yang dapat digunakan pada bulan berikutnya.

2.3.2.2 Berdiri Sendiri (*Stand Alone*)

Pada gambar 2.9 menunjukkan tentang skema panel surya dengan tipe *stand alone*, tipe ini biasanya digunakan pada daerah yang belum terdistribusi listrik dari PLN seperti pedesaan, pegunungan, dan pulau pulau lepas pantai

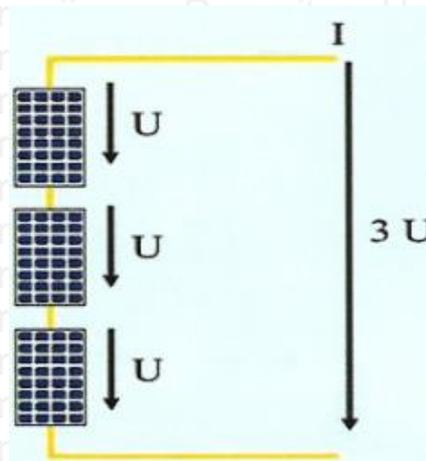


Gambar 2.9 Sistem Panel Surya *Stand Alone*
Sumber: Energy Market Authority, (2016:6)

Banyak juga sistem seperti ini digunakan pada PJU (Penerangan Jalan Umum) atau *traffic light*. Menurut buku handbook for solar photovoltaic (PV) menyebutkan bahwa sistem *stand alone* mengharuskan penggunaan baterai yang dapat diisi ulang seperti tipe baterai *lead-acid*, *nickel-cadmium* dan *lithium-ion* sebagai tempat penyimpanan energi dari panel surya yang berlebih pada siang hari untuk digunakan saat malam hari. Peralatan dasar yang harus ada pada sistem *stand alone* adalah modul surya, baterai, *battery controller*, dan inverter.

2.3.3 Rangkaian Panel Surya

Sel surya biasanya tidak dioperasikan secara individual karena menghasilkan tegangan yang rendah. Sel surya disusun secara seri dan paralel menjadi modul surya. Banyak modul surya digunakan pada tegangan 12V (Quaschnig, 2005:141). Jika modul dihubungkan secara seri dapat menghasilkan tegangan yang besar, terlihat seperti gambar 2.10.



Gambar 2.10 Hubungan Seri Modul Surya

Sumber: Kaub (2016:30)

Hubungan modul yang dipasang secara seri menghasilkan tegangan 3 kali lipat. Seperti persamaan dibawah ini

$$U = \sum_{n=1}^n U \quad (2-4)$$

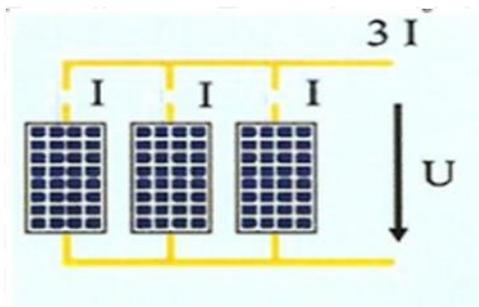
n adalah jumlah modul yang dipasang secara seri. Adapun jumlah arus yang dihasilkan dari hubungan ini sama seperti hukum *kirchhoff* (Quaschnig, 2005:141) yaitu bernilai sama seperti persamaan (2-4).

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = I_n \quad (2-5)$$

Hubungan paralel menghasilkan tegangan yang sama tetapi arus total adalah penjumlahan dari arus dari masing-masing modul (Quaschnig, 2005:141). Dapat dilihat pada gambar 2.12 dan menimbulkan persamaan :

$$I = \sum_{n=1}^n I \quad (2-6)$$

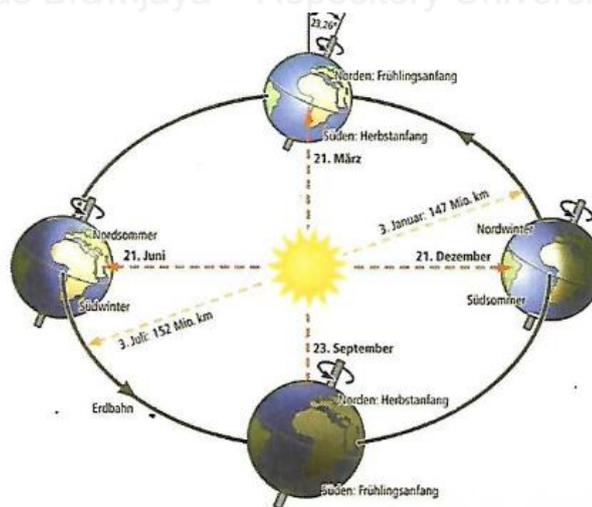
$$U = U_1 = U_2 = U_3 = U_n \quad (2-7)$$



Gambar 2.12 Hubungan Pararel Modul Surya
Sumber: Kaub (2016: 30)

2.3.4 Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi

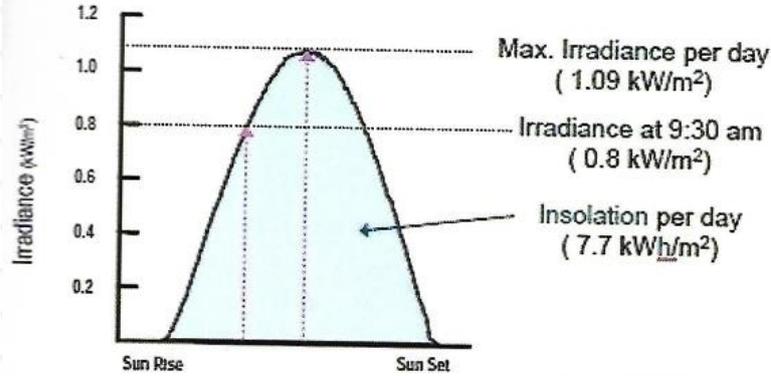
Radiasi harian matahari atau bias dilambangkan dengan E_0 . Nilai E_0 frukuatif berkisar antara 1325 W/m^2 dan 1420 W/m^2 . Nilai rata-rata E_0 dapat disebut dengan konstanta solar, yaitu 1367 W/m^2 . Kejadian radiasi tenaga surya di bumi disebut dengan radiasi global. Nilai tahunan dari radiasi global bervariasi tergantung dari lokasi (Kaub,2016:6).



Gambar 2.10 Radiasi Global
Sumber: Kaub (2016:6)

Pada gambar 2.10 dapat dilihat perbedaan radiasi matahari tergantung dari bulan dalam waktu satu tahun. Pada cuaca yang baik nilai dari radiasi global adalah 1000 W/m^2 merata

pada seluruh permukaan bumi. Untuk daerah yang terik nilai radiasi global dapat mencapai 1400 W/m^2 dalam waktu yang singkat. Sesuai yang ditunjukkan pada gambar 2.11 bahwa radiasi maksimum per hari adalah $1,09 \text{ kW/m}^2$.



Gambar 2.11 Nilai radiasi perhari
Sumber: Kaub (2016:11)

Nilai radiasi maksimum yang biasa digunakan adalah bernilai 1000 W/m^2 . Nilai radiasi matahari akan naik pada pukul 09:30 senilai 0,8 dari nilai radiasi maksimum. Semakin tinggi nilai radiasi matahari maka semakin besar daya keluaran pada panel surya (Kaub, 2016:12).

2.4 Baterai

Sistem panel surya *stand alone* sangat membutuhkan baterai sebagai tempat cadangan energi ketika energi dari panel surya di siang hari berlebih. Beberapa tipe baterai yang banyak dijumpai di pasaran yaitu : *nickel –cadmium*, *nickel–metal-hydride* dan *lithium – ion* (Lynn, 2010:137). Baterai jenis *nikel-cadmium* lebih sedikit digunakan dalam sistem panel surya karena memiliki efisiensi yang rendah serta biaya yang tinggi, sedangkan baterai dengan jenis asam timbal memiliki efisiensi yang tinggi dan biaya yang rendah oleh karena itu baterai jenis ini banyak digunakan pada sistem panel surya, jenis baterai asam timbal akan menjadi perangkat penyimpanan pada sistem panel surya yang diperkirakan akan digunakan dalam tahun-tahun berikutnya terutama untuk ukuran menengah dan besar (Hanna, 2012:21).

Pada tabel 2.2 akan ditunjukkan beberapa jenis baterai yang dapat diisi ulang disertai dengan berbagai macam keterangan pendukung.

Tabel 2.2
Spesifikasi Baterai Isi Ulang

	<i>Lead-acid</i>	<i>NiCd</i>	<i>NIMH</i>	<i>NaS</i>
Positive electrode	PbO ₂	NiOOH	NiOOH	S
Negative electrode	PbO	Cd	metals	Na
Electrolyte	H ₂ SO ₄ +H ₂ O	KOH+H ₂ O	KOH+H ₂ O	β-Al ₂ O ₃
Energy density (Wh/l)	10–100	80–140	100–160	150–160
Energy density (Wh/kg)	25–35	30–50	50–80	100
Cell voltage (V)	2	1.2	1.2	2.1
Charge/discharge cycles	500–1500	1500–3000	about 1000	about 1500
Operating temperature (°C)	0–55	–20 to 55	–20 to 45	290–350
Self-discharge rate (%/month)	5–15	20–30	20–50	0
Wh efficiency	70–85%	60–70%	60–85%	80–95%

Sumber: (Quaschnig, 2005:158)

Pada umumnya kapasitas baterai dinyatakan dengan Ah (*Ampere hour*). Nilai Ah pada baterai menunjukkan arus yang dapat dilepaskan dikalikan dengan waktu dari pelepasan arus tersebut. Nilai dari Wh (*Watt hour*) adalah jumlah estimasi daya yang dapat disuplai dari baterai ke beban ketika baterai terisi oleh muatan (Lynn, 2010: 175).

Ada suatu ketentuan yang membatasi kedalaman pengosongan maksimum yang diberlakukan untuk baterai. Tingkat kedalaman pengosongan baterai DOD (*depth of discharge*) biasanya dinyatakan dalam presentase. Misalnya suatu baterai memiliki nilai DOD 80%, hal ini berarti bahwa hanya 80% dari energi listrik yang tersedia yang dapat diberikan dan sisanya sebesar 20% tetap berada di dalam baterai sebagai cadangan. 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 (Hanna, 2012:21).

Dari gambar 2.12 dapat dilihat contoh dari baterai *lead-acid* yang sering digunakan sebagai baterai pada BTS PT. Telkomsel di *remote area*.



Gambar 2.12 Baterai *Lead-Acid*
Sumber: Sonnenschien

Selain itu ada beberapa konsep umum dalam baterai yaitu (Hansen, 2000:16) :

- a. Kapasitas nominal dari baterai, adalah jumlah dari *Ampere hour* (Ah) yang maksimal dapat diambil dalam baterai dalam jumlah tertentu.
- b. *State of Charge* (SOC), adalah perbandingan antara kapasitas nominal dan kapasitas yang ada. Biasanya nilai dari SOC, $0 < \text{SOC} < 1$. jika nilai $\text{SOC} = 1$ baterai secara total dalam kondisi diisi, tetapi jika nilai $\text{SOC} = 0$ baterai dalam kondisi tidak terisi.
- c. Pengisian atau pengosogan, adalah parameter yang menghubungkan hubungan dari kapasitas nominal dengan dan arus pengisian maupun pengosongan dituliskan dalam jam. Contohnya, waktu pengisian 30 jam untuk baterai dengan kpsitas 150 Ah, berarti arus untuk pengosongan adalah 5A.
- d. Efisiensi, adalah perbandingan antara kapasitas baterai (Ah atau energi) saat kondisi pengosongan dibagi dengan jumlah dari kapasitas pengisian yang dibutuhkan untuk memulihkan keadaan seperti semula.
- e. *Lifetime*, adalah jumlah dari siklus pengisian/ pengosongan dari baterai dapat mempertahankan sebelum kehilangan 20% dari kapasitas nominalnya.

2.5 *Battery controller*

Battery controller digunakan untuk mengatur aliran energi yang ada pada sistem panel surya, baterai dan beban dengan mengumpulkan informasi tentang tegangan baterai serta mengetahui nilai tegangan dan arus maksimum yang dapat diterima oleh baterai. Ada dua operasi utama pada *battery controller* yaitu (Hansen, 2000: 22) :

1. Kondisi normal, ketika tegangan baterai berubah ubah anantara tegangan minimum dan maksimum.
2. *Overcharge* atau *over discharge*, kondisi ini dimana tegangan baterai sudah mencapai titik maksimum.

Untuk melindungi baterai terhadap kelebihan muatan energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat terputus dari sistem ketika tegangan terminal naik dari nilai rata-rata yang disebut tegangan *threshold*. Ketika arus yang dibutuhkan oleh beban kurang dari arus yang diberikan oleh panel surya maka *battery controller* akan terhubung kembali dengan baterai ketika tegangan menurun pada nilai tertentu hal ini dapat diselesaikan dengan menggunakan *switch* dengan *hysteresis cycle* (Hansen, 2000:22).

Dari gambar 2.14 dapat dilihat salah satu *battery controller* yang banyak digunakan pada BTS PT.Telkomsel. *Battery controller* harus ditempatkan pada tempat yang kokoh dan tempat yang dingin serta dapat terhindar dari sinar matahari dan hujan, dan penempatan biasanya dekat dengan baterai agar memudahkan dalam pengontrolan (Wade, 2003:32).



Gambar 2.14 *Battery Controller*
Sumber: *Outback Power System*

2.6 *Inverter*

Inverter adalah suatu *device* yang mengubah tegangan DC (*Dirrect Current*) menjadi tegangan AC (*Alternating Current*), tegangan masukan berupa DC dan keluaran menjadi AC. Karakteristik *inverter* ditandai dengan *power depend efficiency*. Peran *inverter* adalah untuk menjaga di sisi tegangan AC agar konstan pada nilai 220 V dan mengkonversi input daya P_{in} ke P_{out} dengan konversi yang baik. Efisiensi *Inverter* dimodelkan sebagai (Hansen, 2001 :24) :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{ac} \times I_{ac} \times \cos \alpha}{V_{dc} \times I_{dc}} \quad (2-8)$$

Dimana untuk P_{out} adalah daya keluaran dan untuk P_{in} adalah daya masukkan. Nilai V_{ac} adalah nilai tegangan bolak balik, I_{ac} adalah nilai arus bolak- balik, V_{dc} adalah nilai tegangan searah, I_{dc} adalah nilai arus searah dan untuk nilai $\cos \alpha$ adalah nilai faktor daya. Faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif dan daya semu, semakin besar nilai faktor daya maka kualitas dari sumber tegangan akan semakin baik. Untuk mengetahui nilai keluaran arus dapat dilihat pada persamaan 2-9.

$$I_{dc} = \frac{V_{ac} \times I_{ac} \times \cos \alpha}{\eta \times V_{dc}} \quad (2-9)$$

dalam sistem panel surya ada beberapa hal yang harus dimiliki oleh *inverter* diantaranya (Jäger, 2014:272):

- a. *Inverter* harus memiliki efisiensi yang tinggi karena penyaluran energi melewati *inverter* untuk masuk ke tegangan jala-jala maupun digunakan untuk daya beban.
- b. Memiliki proteksi yang baik.
- c. Memiliki nilai harmonik yang kecil, karena ini peraturan dari beberapa Negara.
- d. Harus tahan terhadap perbedaan suhu.
- e. Dirancang untuk tegangan tinggi.

2.7 Perhitungan Pada Sistem Panel Surya

Agar sistem panel surya berjalan dengan baik penentuan kapasitas modul surya, baterai, *battery controller* dan *inverter* harus cocok dengan kebutuhan energi yang dibutuhkan. Karena harga modul dan baterai relatif mahal, demi menghemat pengeluaran maka pemasangan modul dan baterai terkadang tidak sesuai dengan kebutuhan beban. Kebutuhan beban didapat dari waktu pemakaian beban dikali dengan daya dari peralatan atau beban tersebut (Wade, 2003:83). Pada sub-bab dibawah ini akan dijelaskan tentang perhitungan mulai dari penentuan beban, kapasitas modul surya, baterai, *battery controller* dan *inverter*.

2.7.1 Menentukan Kebutuhan Beban

Perhitungan panel surya dimulai dengan penentuan dari beban yang dibutuhkan dengan cari mendata beban yang dibutuhkan atau dengan pengukuran langsung (Patel, 199:240). Pengukuran langsung dilakukan dengan mengukur arus dan tegangan dapat menggunakan persamaan (2-10) (Hossam, 2016:356)

$$P_b = I_b \times V_b \quad (2-10)$$

$$E = P_b \times t \quad (2-11)$$

Setelah mengetahui daya beban yang dibutuhkan oleh beban, maka dapat diketahui kebutuhan energi beban. Kebutuhan energi beban didapat dari persamaan (2-11), dimana P_b adalah daya (watt) yang dibutuhkan oleh beban sedangkan t (jam) adalah waktu lamanya beban beroperasi (Jäger, 2014:305).

Setelah mengetahui kebutuhan beban lalu diteruskan dengan menghitung rugi-rugi sistem, rugi-rugi ini dimaksudkan untuk menggantikan kehilangan energi dari komponen panel surya. Rugi-rugi sistem yang disyaratkan adalah 20% (Jäger, 2014:306), sehingga total energi yang dibutuhkan dari persamaan (2-11) ditambahkan dengan 20% dari kebutuhan beban secara matematis dituliskan pada persamaan (2-12) :

$$E_T = E + (E \times 20\%) \quad (2-12)$$

2.7.2 Menentukan Daya Modul Surya

Untuk menentukan daya yang dibutuhkan oleh modul surya dapat menggunakan nilai radiasi matahari minimum agar panel surya dapat memenuhi kebutuhan beban setiap saat. Perlu menggunakan faktor penyesuaian seperti persamaan (2-13) (Hankins, 1991:68):

$$P_v = \frac{E_T}{\text{radiasi matahari}} \times FP \quad (2-13)$$

Nilai E_T didapat dari persamaan (2-12) sedangkan nilai radiasi matahari yang digunakan adalah nilai yang paling kecil, serta FP yaitu faktor penyesuaian sebesar 1,1.

2.7.3 Menentukan Rangkaian Modul

Modul dapat berupa rangkaian paralel dan seri untuk membentuk sebuah *array*, ketika modul dihubungkan secara seri tegangan nominal dari sistem meningkat, sedangkan jika sambungan modul secara paralel maka arus yang dihasilkan semakin tinggi. Untuk menentukan tipe rangkaian modul didapat dari persamaan (2-14) dan (2-15) (Jäger, 2014:309) :

$$M_s = \frac{V_L}{V_{nom}} \quad (2-14)$$

$$M_p = \frac{I_L}{I_{nom}} \quad (2-15)$$

Dari persamaan (2-14) didapat jumlah modul yang dipasang secara Seri (M_s), dengan membagi tegangan yang dibutuhkan beban (V_L) dibandingkan dengan tegangan nominal (V_{nom}) dari modul surya. Dari persamaan (2-15) didapat jumlah modul yang dipasang paralel (M_p), dengan membagi arus beban (I_L) dengan arus nominal pada modul surya (I_{nom}).

2.7.4 Menentukan Daya Total modul Surya

Setelah mengetahui jumlah modul dengan rangkaian seri dan paralel maka dapat dihitung daya total yang dibangkitkan modul dengan persamaan (2-16) (Jager, 2014:327):

$$P_t = (M_p \times M_s) \times P_{nom} \quad (2-16)$$

P_{nom} adalah daya nominal yang dimiliki oleh modul surya. Dengan mengalikan jumlah modul yang didapat dari persamaan sebelumnya maka didapat daya total modul (P_t).

2.7.5 Menentukan Energi Modul Surya

Penentuan energi yang dihasilkan oleh modul surya didapat dari persamaan (2-17) (Wibawa, 2008:34) :

$$E_{modul} = P_{nom} \times T_{mom} \quad (2-17)$$

T_{nom} pada persamaan (2-17) adalah lamanya modul mendapatkan radiasi global, didapat dari persamaan (2-18) (Jager, 2014:306) :

$$T_{nom} = \frac{\text{Jumlah radiasi}}{\text{radiasi global}} \quad (2-18)$$

Jumlah radiasi (kWh/m^2) di suatu daerah berbeda-beda tergantung dari letak dari daerah tersebut. Nilai dari radiasi global adalah 1000 Wh/m^2 .

2.7.6 Menentukan Muatan Baterai

Satuan energi (Wh) diubah menjadi kapasitas baterai (Ah) sesuai dengan persamaan (2-19) (Suwarno, 2012:13) :

$$A_h = \frac{E_T}{V_s} \quad (2-19)$$

Dimana E_T kebutuhan beban sudah didapat dari persamaan sebelumnya, V_s adalah tegangan sistem. Besar dari muatan baterai menandakan banyak arus yang dapat dialirkan dalam satuan waktu. Banyaknya hari agar baterai dapat mensuplai muatan yang ada biasanya adalah 3 hari dengan nilai DOD (*deep of discharge*) adalah jumlah kedalaman pengosongan baterai yang diperbolehkan, jadi penggunaan maksimum baterai adalah 80% dari jumlah maksimalnya. Jumlah muatan sebesar 20% energinya tetap tersimpan didalam baterai. Besar nilai dari *deep of discharge* (DOD) baterai pada umumnya adalah 80% sehingga dapat dicari kebutuhan total muatan baterai (Hankins, 1991:68) :

$$C_b = \frac{A_h}{DOD} \times T \quad (2-20)$$

Sehingga besar kapasitas baterai yang dibutuhkan sistem panel surya bergantung pada nilai kedalaman pengosongan serta lama waktu pengosongan.

2.7.7 Menentukan Arus Battery controller

Kapasitas arus pada *battery controller* harus cukup untuk dilewati oleh arus maksimum yang dihasilkan oleh panel. Nilainya dapat diperoleh dengan cara membagi besar daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh panel surya dengan tegangan sistem seperti persamaan (2-21) (Wade, 2003:93):

$$I_{maks} = \frac{P_{maks}}{V_s} \quad (2-21)$$

2.7.8 Menentukan Arus *Inverter*

Spesifikasi *inverter* harus sesuai dengan *battery controller* yang digunakan. Output yang dihasilkan sama seperti tegangan jala-jalan PLN yaitu 220V Kapasitas daya *inverter* dapat dihitung dengan menjumlahkan seluruh kebutuhan daya beban (Suwarno, 2012:13).

2.7.9 Menentukan Lama Waktu *Cadang* baterai

Proses *discharge* dari baterai adalah suatu proses pelepasan muatan dari baterai tersebut, lama waktu pelepasan muatan baterai dapat ditentukan dengan membagi kapasitas muatan baterai dengan arus yang dibutuhkan oleh beban (Sugiharto, 2011:288)

$$t \text{ (jam)} = \frac{\text{Kapasitas baterai}}{\text{Arus beban}} \quad (2-22)$$



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek yang diteliti adalah sistem panel surya dan beban harian yang berada pada BTS PT.Telkomsel yang terletak di Desa Aenganyar Pulau Gili Genting Kabupaten Sumenep Madura. BTS PT. Telkomsel dibangun pada tahun 2005 dengan catu daya utama dari PLN serta memiliki catu daya tambahan dari generator set. Panel surya yang berada pada BTS dibangun pada tahun 2010 sebagai tambahan catu daya, jadi pada saat ini pada BTS PT.Telkomsel memiliki tiga sumber catu daya. Tiga sumber catu daya dirasa terlalu berlebihan dan boros, oleh karena itu perlu dianalisis penggunaan panel surya dapat menjadi catu daya utama menggantikan peran dari PLN dan generator set. Adapun spesifikasi modul surya yang diteliti sebagai berikut :

1. Merek : Yingli Solar
2. Tipe : YL 200 P-26b
3. Dimensi : 1.570 / 1.140 mm
4. Jenis : Polycrystalline
5. Output Daya : 200 Wp
6. Efisiensi : 13,5 %
7. Vmpp : 26,3 V
8. Impp : 7,6 A
9. Voc : 33,3 V
10. Isc : 8,22 A

Jenis panel surya jenis ini adalah panel surya yang sering digunakan sebagai catu daya pada BTS PT.Telkomsel pada *remote area*.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada BTS PT.Telkomsel yang terletak di Desa Aenganyar Pulau Gili Genting Kabupaten Sumenep Madura.

3.3 Data Penelitian

Sumber data merupakan pendukung untuk mengerjakan dan menentukan suatu pokok permasalahan dalam suatu laporan. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data Primer. Data Primer merupakan data-data yang diperoleh dari yang diperoleh secara langsung dari tempat penelitian, selanjutnya dilakukan proses analisis dan interpretasi dalam data-data tersebut sesuai dengan tujuan penelitian. Data yang diperoleh dari penelitian ini diambil pada BTS PT.Telkomsel yang terletak di Desa Aenganyar Pulau Gili Genting Kabupaten Sumenep Madura.

3.4 Pengambilan Data

Data yang diperlukan langsung diambil dari survey lapangan, yaitu bertempat di BTS PT.Telkomsel. Data yang diperoleh akan dijadikan sebagai acuan untuk mengetahui kebutuhan beban pada BTS.PT Telkomsel, studi literatur dan survey lapangan akan menghasilkan data sekunder yang akan menjadi acuan dan bahan dalam merencanakan dan mengimplementasikan sistem.

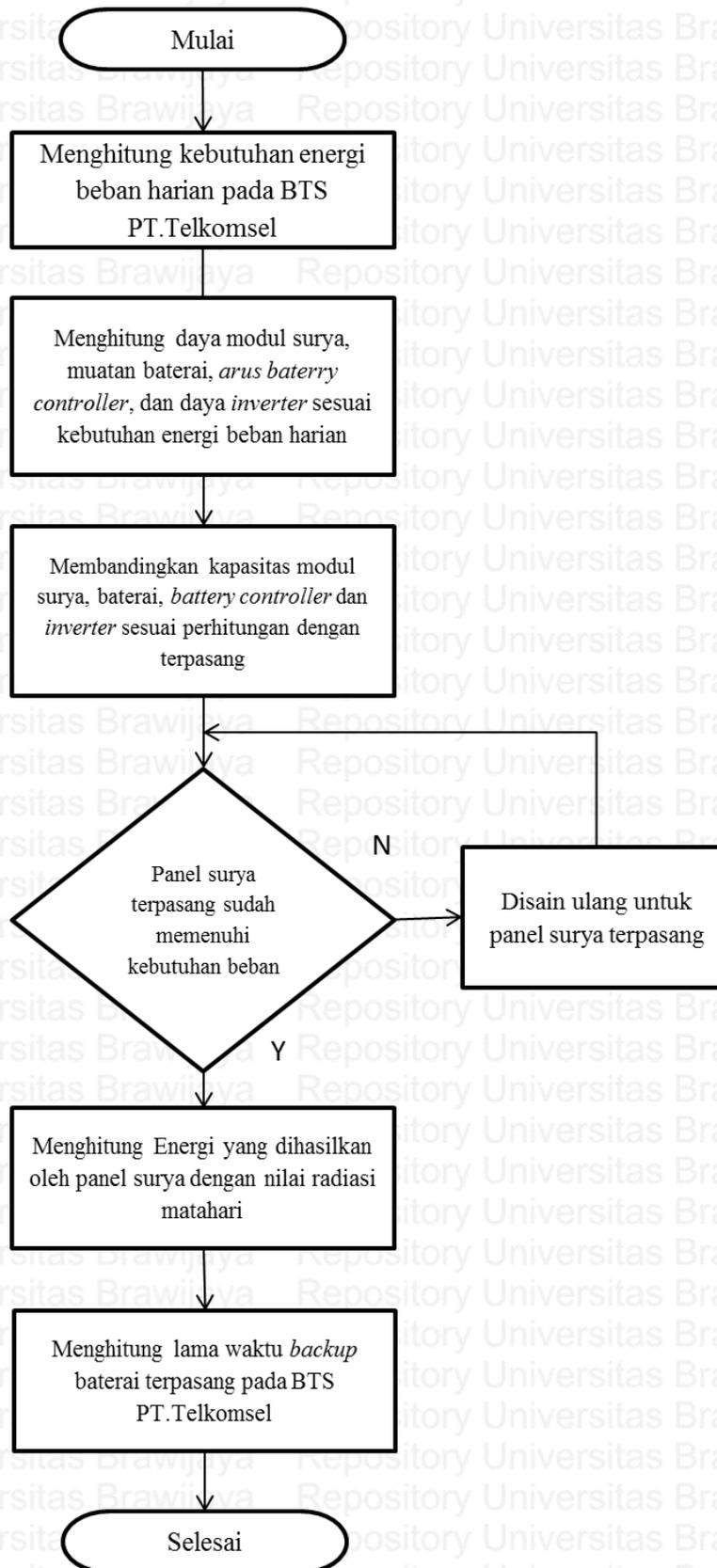
Data sekunder yang didapatkan meliputi data jenis peralatan yang ada pada sistem panel surya meliputi spesifikasi dari modul surya, baterai, *battery controller*, dan inverter. Untuk data primer adalah data kebutuhan beban diambil selama 4 hari yaitu pada tanggal 9-12 Desember 2016.

3.5 Metode Analisis Data

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah dengan menghitung kebutuhan energi beban harian pada BTS PT.Telkomsel kemudian setelah diketahui kebutuhan beban maka dilakukan perhitungan untuk menghitung kapasitas yang dibutuhkan oleh modul surya, baterai, *battery controller*, dan inverter berdasarkan kebutuhan beban yang ada. Setelah itu membandingkan sistem panel surya terpasang dan terhitung. Selanjutnya menghitung energi harian yang dihasilkan oleh panel surya, dan menghitung lama waktu *cadang* baterai yang ada pada BTS PT.Telkomsel.

3.6 Pengambilan Kesimpulan

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan hasil perhitungan serta analisis. Dan juga dilakukan pemberian saran yang dimaksudkan untuk memberi pertimbangan atas pengembangan selanjutnya. Berikut adalah langkah-langkah penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

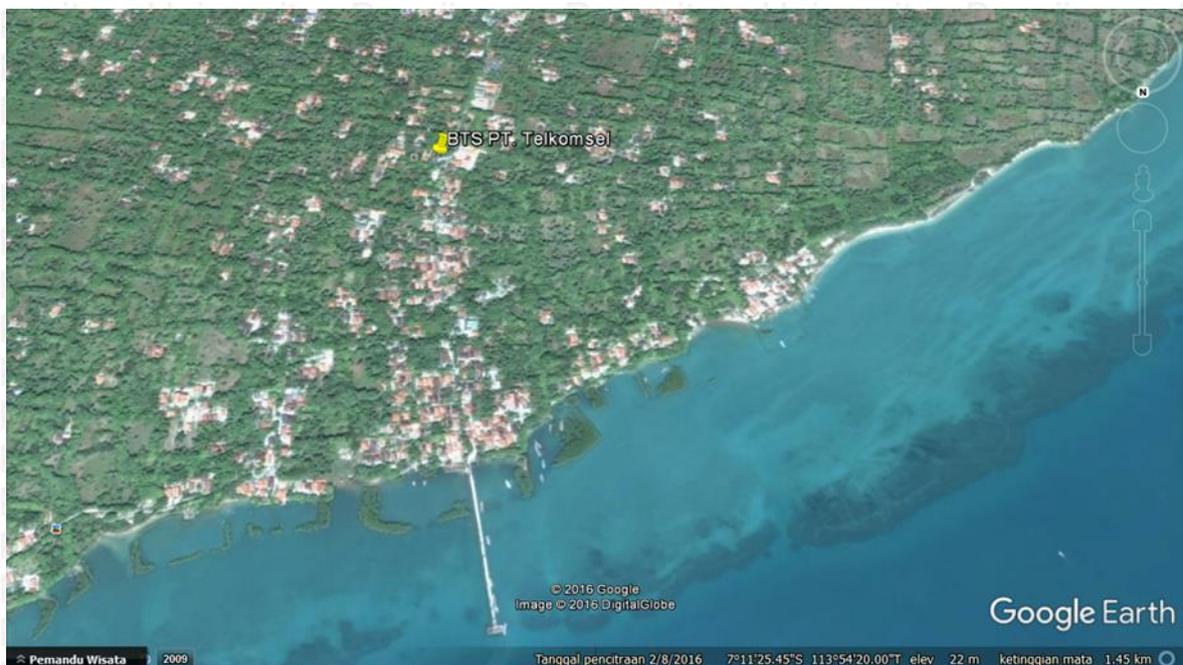


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Lokasi BTS

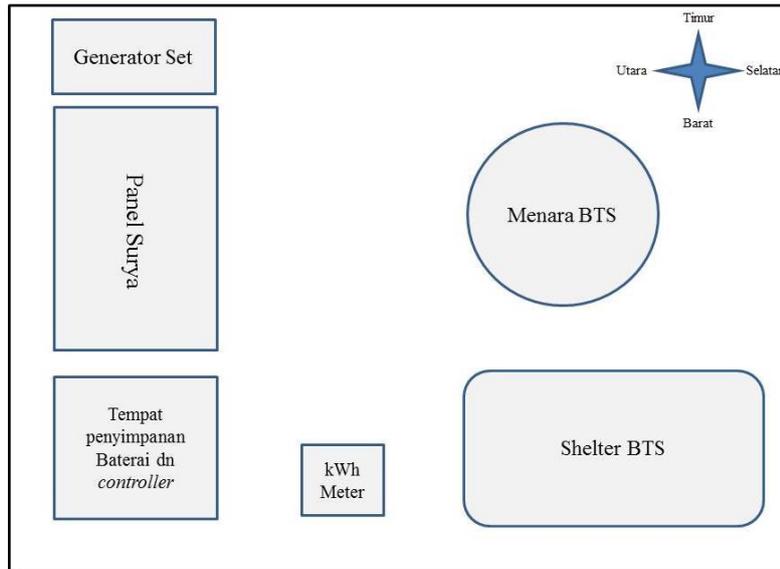
Lokasi koordinat BTS PT.Telkomsel yang terletak di Desa Aenganyar Pulau Giligenting Madura didapat dari data yang diambil langsung di PT.Telkomsel yaitu pada titik lintang Selatan (*Latitude*) -7,189 N dan titik bujur Timur (*Longitude*) 113,899 E Indonesia. Pada gambar 4.1 menunjukkan visual dari lokasi BTS menggunakan citra satelit.



Gambar 4.1 Letak BTS PT.Telkomsel

Sumber : www.googleearth.com

Sebuah BTS pada umumnya memiliki konfigurasi bangunan seperti menara, pagar, *shelter*, dan sistem kelistrikan. Pada gambar 4.2 akan diberikan ilustrasi tentang letak dari bangunan-bangunan yang terdapat pada BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligenting. Pada gambar 4.2 terdapat *shelter* yang didalamnya terdapat modul antena dan juga *rectifier* yang dijaga suhunya dengan menggunakan pendingin untuk mengurangi suhu panas didalam ruangan.



Gambar 4.2 Denah BTS PT Telkomsel

Salah satu hal terpenting dalam BTS adalah menara yang berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan peralatan antenna untuk menghubungkan komunikasi lewat udara. Gambar 4.3 menunjukkan menara BTS PT.Telkomsel yang ada pada Pulau Giligenting Madura.



Gambar 4.3 Menara BTS PT.Telkomsel Giligenting

4.2 Kebutuhan Energi Beban Harian

Untuk mengetahui kebutuhan energi beban harian yang ada pada BTS PT.Telkomsel di Desa Aenganyar Pulau Giligenting Madura dilakukan dengan cara mengukur langsung tegangan dan arus beban yang terpasang, dengan menggunakan alat yaitu *clampmeter* model Sanwa DCM 600DR. Adapun beban yang diukur pada BTS PT.Telkomsel sesuai dengan tabel 4.1.

Tabel 4.1
Data Beban Pada BTS PT.Telkomsel

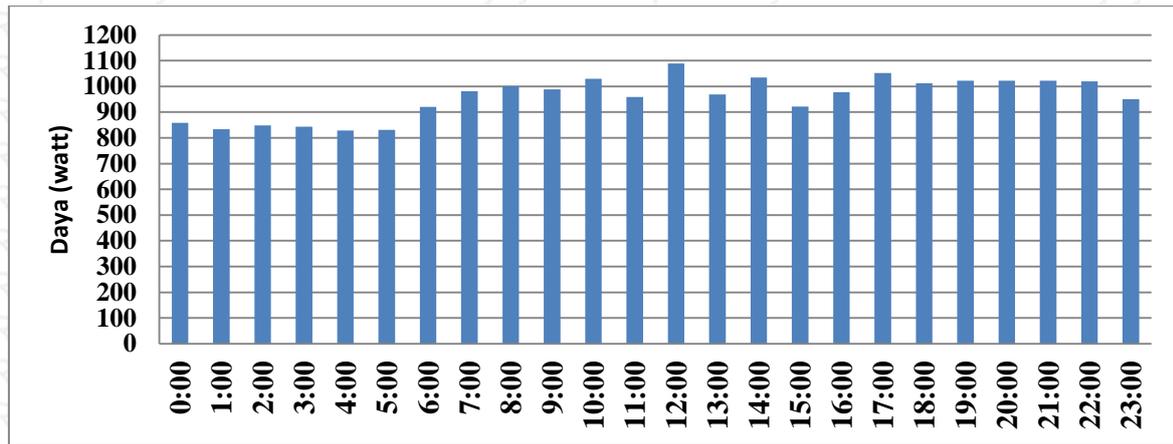
No	Jenis Beban	Beban	Jumlah
1	AC	Inverter	1
2	DC	GSM Huawei	1
3		Bluto DC	2
4		VDN Standby to Gedung	1
5		VDN Main to Gedung	1
6		VDC Main to Bluto	1
7		VDC Standby to Bluto	1

Pada tabel 4.1 *inverter* digunakan sebagai suplai lampu pada ruang penyimpanan baterai dan sebagai catu daya laptop jika terjadi gangguan seluler. Waktu operasional untuk beban seluler adalah 24 jam. Pengukuran arus dan tegangan beban dilakukan selama 4 hari pada tanggal 9-12 Desember 2016. Dalam waktu 4 hari diamati perubahan energi yang dibutuhkan oleh beban tidak terjadi perubahan kebutuhan energi beban harian yang terlalu signifikan hal ini dapat dilihat dari pola pembebanan. Oleh karena itu maka data kebutuhan energi beban harian yang dijadikan acuan adalah data kebutuhan energi beban pada hari Minggu 11 Desember 2016. Pengukuran tegangan dan arus beban pada BTS PT.Telkomsel dilakukan seperti pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Pengukuran Arus dan Tegangan Beban

Setelah dilakukan pengukuran tegangan dan arus beban maka hasil pengukuran dijadikan grafik untuk melihat perubahan kebutuhan energi beban harian (hasil pengukuran terlampir). Seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Kebutuhan Energi Beban Harian BTS

Dari gambar 4.5 dapat dilihat kebutuhan energi paling kecil terjadi pada pukul 00:00 hingga pukul 05:00 yaitu pada angka 840 Wh dan kebutuhan energi paling besar terjadi pada pukul 12:00 di angka 1.089,34 Wh. Pada waktu malam hari yang dimulai pada pukul 18:00 sampai pukul 22:00 kebutuhan energi beban relatif sama berada pada angka 1.022 Wh. Lonjakan perubahan energi yang dibutuhkan beban tidak terlalu signifikan. Dari hasil pengukuran maka didapatkan kebutuhan total energi beban harian pada BTS PT.Telkomsel adalah sebesar 23.013,82 Wh.

Dalam perhitungan kali ini, sistem panel surya digunakan untuk mencatu 100% dari kebutuhan energi beban harian sehingga kebutuhan energi beban menjadi:

$$\begin{aligned} E_{Tb} &= 100\% \times E_T \\ &= 100\% \times 23.013,82 \text{ Wh} \\ &= 23.013,82 \text{ Wh.} \end{aligned}$$

Asumsi rugi-rugi dari sistem sebesar 20%, rugi-rugi dalam hal ini mencakup rugi-rugi dari komponen sistem panel surya dan transmisi (Jäger, 2014:306). Sesuai persamaan (2-10) maka akan didapatkan total energi yang dibutuhkan oleh beban yaitu energi beban harian ditambahkan dengan rugi-rugi sistem menjadi:

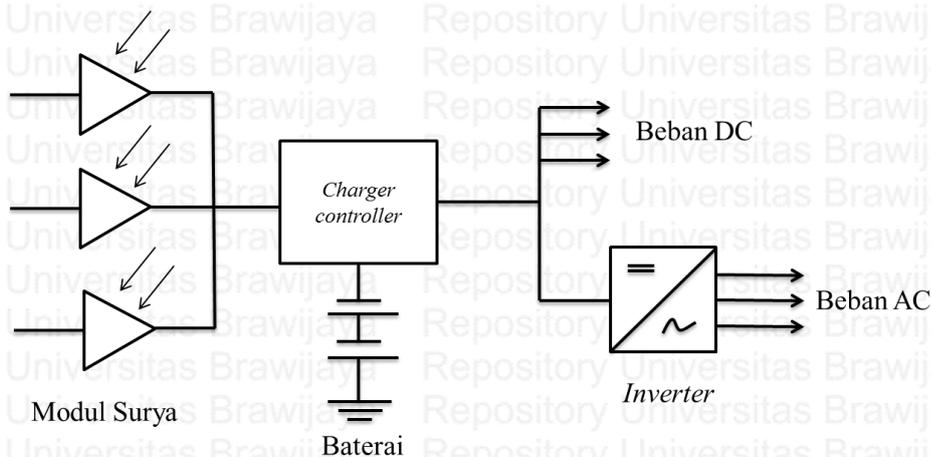
$$\begin{aligned} E_{Tbh} &= E_{Tb} + (E_{Tb} \times 20\%) \\ &= 23.013,82 \text{ Wh} + (23.013,82 \text{ Wh} \times 20\%) \\ &= 23.013,82 \text{ Wh} + 4.602,76 \text{ Wh} \\ &= 27.616,58 \text{ Wh.} \end{aligned}$$

Jadi total energi yang dibutuhkan untuk mencatu seluruh kebutuhan beban dalam satu hari pada BTS.PT Telkomsel di Pulau Giligenting adalah 27.616,58 Wh.

4.3 Perhitungan Sistem Panel Surya Berdasarkan Kebutuhan Beban

Agar sistem panel surya berjalan dengan baik penentuan kapasitas modul surya, baterai, *battery controller* dan *inverter* harus sesuai dengan kebutuhan energi yang dibutuhkan (Wade,2003:83). Oleh karena itu perlu dihitung kapasitas dari masing-masing komponen yang ada pada sistem panel surya dengan mempertimbangkan kebutuhan beban yang sesuai. Sistem panel surya dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu tanpa baterai dan menggunakan baterai. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai sistem panel surya yang menggunakan baterai sebagai penyimpanan energi listrik.

Baterai berfungsi ketika tidak matahari di hari tersebut, maka energi yang terdapat pada baterai langsung dapat disalurkan untuk memenuhi kebutuhan beban. Sistem panel surya yang akan dihitung terdiri dari kapasitas daya modul surya, kapasitas arus *charger controller*, kapasitas muatan baterai dan kapasitas daya *inverter*. Sistem yang akan dihitung adalah menjadikan sistem panel surya sebagai satu daya sendiri atau biasa disebut dengan *stand alone*. Gambar 4.4 menjelaskan sistem panel surya yang terpasang pada BTS PT. Telkomsel di Pulau Giligenting.



Gambar 4.6 Single Line Sistem Panel Surya Terpasang

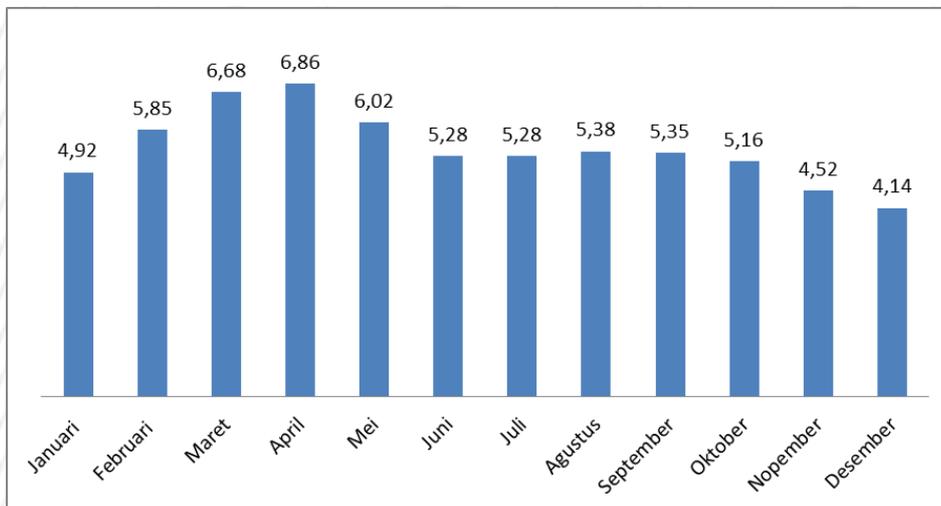
Pada sistem panel surya yang terpasang, daya yang dihasilkan oleh panel surya dapat digunakan untuk mencatu beban seluler langsung dan dapat digunakan untuk mengisi muatan baterai yang ada pada BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligenting Madura. Banyaknya energi yang disalurkan untuk beban dan untuk pengisian baterai diatur oleh *charger controller*, ketika energi yang dihasilkan oleh modul surya melebihi kebutuhan beban maka *charger controller* secara otomatis membatasi energi yang diberikan oleh panel surya.

Setelah diketahui kebutuhan energi beban harian yang dibutuhkan maka dapat ditentukan besar dari kapasitas daya modul surya, muatan baterai, arus *charger controller*, dan daya *inverter* yang sesuai dengan kebutuhan beban.

4.3.1 Perhitungan Kapasitas Daya Modul Surya

Kapasitas daya yang dapat dihasilkan oleh modul surya dapat dihitung dengan mempertimbangkan beberapa faktor, yaitu kebutuhan energi sistem, nilai radiasi matahari pada suatu daerah dan faktor penyesuaian (*adjustment factor*). Kebutuhan energi beban harian telah dihitung pada pembahasan sebelumnya yaitu sebesar 27.512,14 Wh. Untuk menentukan nilai dari daya modul surya yang dibutuhkan, digunakan nilai radiasi matahari paling rendah pada bulan Desember di Pulau Giligenting sebesar 4,14 kWh/m²/d. Diharapkan sistem panel surya dapat terus memenuhi kebutuhan beban pada setiap bulannya.

Data radiasi matahari diambil dari NASA *Surface meteorology and Solar Energy* dengan koordinat Pulau Giligenting pada titik Lintang Selatan (*Latitude*) -7,189 N dan titik Bujur Timur (*Longitude*) 113,899 E Indonesia. Data radiasi matahari yang diambil adalah data rata-rata radiasi bulanan dalam waktu 22 tahun. Data yang telah diambil diimplementasikan dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Radiasi Matahari pada Pulau Giligenting
Sumber : <https://eosweb.larc.nasa.gov>

Sesuai dengan persamaan (2-11) maka didapatkan daya yang dibutuhkan oleh modul surya untuk mencatu beban pada BTS PT.Telkomsel sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_v &= ET_{bh} / (\text{radiasi matahari}) \times FP \\
 &= 27.616,58 \text{ Wh} / 4,14 \text{ kWh/m}^2/\text{d} \times 1,1 \\
 &= 7.337,73 \text{ Wp}
 \end{aligned}$$

Jadi sesuai perhitungan diatas maka total daya yang dibutuhkan modul untuk mencatu beban sebesar 27.616,58 Wh adalah 7.337,73 Wp.

Mengacu pada modul surya yang sudah terpasang pada BTS.PT Telkomsel di Pulau Giligenting yaitu modul YingliSolar tipe YL 200 P-26b dengan daya nominal adalah 200 Wp, maka jumlah modul surya yang dibutuhkan sistem panel surya untuk memenuhi 100% kebutuhan beban harian yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Modul} &= P_v / P_{\text{nominal}} \\ &= 7.337,73 \text{ Wp} / 200 \text{ Wp} \\ &= 37 \text{ buah.} \end{aligned}$$

Jadi kebutuhan modul surya dengan total beban 27.616,58 Wh adalah 37 buah dengan daya nominal 200 Wp, tetapi lebih baik pemasangan modul surya dilebihkan dari nilai perhitungan.

4.3.2 Perhitungan Kapasitas Arus *Battery controller*

Kapasitas arus *battery controller* dapat ditentukan dengan menggunakan daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh panel surya dan tegangan sistem. Pada umumnya tegangan yang digunakan pada peralatan telekomunikasi adalah sebesar 48 V (Quashem:2014:118), tetapi pada sistem BTS PT.Telkomsel menggunakan sistem tegangan 54 V karena paralel dengan DC bus yang ada. Keluaran *rectifier* pada angka 44-59 V DC. Sehingga tegangan sistem yang digunakan pada penelitian ini adalah 54 V. sesuai pada persamaan (2-19) maka didapatkan:

$$\begin{aligned} I_{\text{maks}} &= (P_{\text{maks}}) / (V_s) \\ &= 7.337,73 \text{ Wp} / 54 \text{ Volt} \\ &= 135,9 \text{ A} \end{aligned}$$

Karena penentuan kapasitas arus *battery controller* harus dapat melewati arus maksimal yang telah dihitung, maka kapasitas arus yang dipilih harus melebihi dari 135,9 A. Sesuai dengan *charger controller* yang ada pada BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligenting dengan tipe dan merek yang sama dengan kapasitas arus 80 A maka jumlah *charger controller* yang dibutuhkan untuk sistem telekomunikasi dengan tegangan 54 V adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah modul} &= \text{Kapasitas arus total} / \text{ arus per modul} \\ &= 135,9 \text{ A} / 80 \text{ A} \\ &= 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jadi kapasitas arus *battery controller* yang dibutuhkan adalah 2 buah modul dengan kapasitas modul masing-masing 80 A jadi total kapasitas maksimal arus yang dapat terlewati adalah 160 A.

4.3.3 Perhitungan Kapasitas Muatan Baterai

Perhitungan kapasitas muatan baterai bergantung pada curah hujan dan lingkungan sekitar. Berdasarkan data yang diambil dari NASA *Surface meteorology and Solar Energy* maka didapatkan data sesuai tabel 4.2

Tabel 4.2

Suhu, Kelembaban dan Kecepatan Angin pada Pulau Giligenting

Bulan	Suhu udara (°C)	Kelembaban Udara Relatif (%)	Kecepatan Angin (m/s)
Januari	26,6	79,5	6,3
Februari	26,2	81,9	5,4
Maret	26,5	81,5	4,7
April	27,1	80,8	3,3
Mei	27,5	80,8	2,9
Juni	27,8	77,8	4,9
Juli	27,5	77,6	4,5
Agustus	27,6	77,1	5,3
September	27,4	78,3	4,3
Oktober	27,1	80,7	4,2
Nopember	27,1	81,1	2,5
Desember	27,1	79,8	5,6

Sumber : <https://eosweb.larc.nasa.gov/>

Dari tabel 4.2 rata-rata suhu pada setiap setiap bulannya. Satuan kebutuhan energi beban adalah Wh (*watthour*) yang dikonversi menjadi Ah (*amperehour*) supaya sesuai dengan satuan kapasitas muatan baterai dengan menggunakan persamaan (2-17) maka didapatkan:

$$\begin{aligned} AH &= E_{Tbh} / V_s \\ &= 27.616,58 \text{ Wh} / 54 \text{ V} \\ &= 511,5 \text{ Ah} \end{aligned}$$

AH adalah kapasitas muatan baterai dan ETBh adalah kebutuhan energi beban harian yang telah dihitung pada pembahasan sebelumnya serta Vs adalah tegangan sistem. Hari otonomi yang ditentukan adalah 3 hari, jadi baterai hanya menyimpan energi dan menyalurkan pada hari itu juga, besar dari *deep of discharge* (DOD) pada baterai adalah 80% (Hankins,1991:68), sesuai dengan persamaan (2-18) maka:

$$\begin{aligned} Cb &= (AH \times 3) / DOD \\ &= 511,5 \text{ Ah} \times 3 / 0,8 \\ &= 1.818 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Jadi kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk mencatu beban sebesar 27.616,58 Wh dengan waktu otonomi 3 hari adalah 2.157,53 Ah. Setelah ditentukan besar kapasitas baterai yang dibutuhkan oleh beban lalu dihitung lama pengisian (*charging time*).

Untuk mengetahui lama waktu pengisian (*charging time*) dari baterai dapat menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}\text{Waktu(t) dalam jam} &= \text{Muatan baterai} / \text{ arus pengisian} \\ &= 1.818 \text{ Ah} / 135,9 \text{ A} \\ &= 13,37 \text{ jam}\end{aligned}$$

Jadi waktu yang dibutuhkan untuk mengisi muatan baterai dengan kapasitas 1.818 Ah dari kondisi 0% sampai 100% dengan menggunakan arus maksimal sebesar 135,9 A adalah 13,37 jam. Arus maksimal yang digunakan adalah arus yang dapat melewti *charger controller*.

Sesuai dengan kapasitas muatan baterai yang digunakan pada BTS PT.Telkomsel dengan merek yang sama dengan kapasitas 2300 Ah dengan tegangan nominal 2 V dan tegangan operasi pada 2,35 V – 2,45 V, maka banyak baterai yang dibutuhkan untuk tegangan 54 V dapat dengan konfigurasi, 24 baterai dipasang secara seri untuk mendapatkan tegangan 54 V. Bisa juga dengan menggunakan baterai dengan merk yang sama tetapi beda kapasitas, dengan kapasitas muatan baterai 960 Ah maka baterai yang dibutuhkan adalah 48 buah dengan rincian 24 buah baterai dipasang seri dan 2 buah baterai dipasang paralel untuk mendapatkan total kapasitas penyimpanan 1.920 Ah.

4.3.4 Perhitungan Kapasitas Daya *Inverter*

Spesifikasi *inverter* yang digunakan harus sama dengan *battery controller* yang digunakan. Berdasarkan tegangan sistem dan perhitungan dari *battery controller*, tegangan output dari *inverter* adalah 220 V AC sama seperti tegangan jala-jala yang ada pada PLN. Arus yang masuk ke dalam *inverter* harus seimbang dengan arus yang ada pada *battery controller* (Suwarno,2012:13).

Inveter saat ini digunakan sebagai sumber penerangan pada rumah baterai. *Inverter* digunakan sebagai suplai daya perangkat bertegangan bolak balik (AC). ketika ada masalah pada jaringan telekomunikasi maka *inverter* digunakan sebagai catu daya laptop. Dalam perhitungan kapasitas daya *inverter* yang digunakan pada BTS PT.Telkomsel dengan memperhitungkan dua buah laptop dengan daya masing-masing 80 watt. Ditambah lampu sebagai penerangan pada tempat penyimpanan baterai sebesar 18 watt. Maka *inverter* yang digunakan adalah *inverter* dengan daya 178 watt.

4.4 Sistem Panel Surya Terpasang

Untuk mengetahui modul surya, baterai, *charger controller* dan *inverter* yang digunakan pada sistem panel surya terpasang pada BTS PT.Telkomsel dilakukan dengan cara datang meninjau langsung ke lokasi. Penjelasan tentang komponen yang terpasang akan dijelaskan pada pembahasan dibawah ini.

4.4.1 Modul Surya

Adapun spesifikasi modul surya yang digunakan pada BTS PT.Telkomsel sesuai dengan tabel 4.3.

Tabel 4.3
Spesifikasi Modul Surya terpasang

Merek	Yingli Solar
Tipe	YL 200 P-26b
Dimensi (Panjang/lebar)	1.570 / 1.140 mm
Jenis	Polycrystalline
Output Daya	200 W
Efisiensi	13,50%
Vmpp	26,3 V
Impp	7,6 A
Voc	33,3 V
Isc	8,22 A

Sumber: Yingli Solar

Dari tabel 4.2 didapatkan spesifikasi modul surya yang terpasang pada BTS PT.Telkomsel. Besar tegangan maksimum pada kondisi berbeban (Vmpp) dari mdoul surya adalah sebesar 26,3 volt dan arus maksimum pada kondisi berbeban (Impp) sebesar 7,6 ampere. Besar tegangan *open circuit* (Voc) sebesar 33,3 volt dan arus *short circuit* (Isc) sebesar 8,22 ampere. Besar daya nominal yang dihasilkan oleh panel surya dalam kondisi STC adalah 200 watt. Nilai efisiensi modul surya 13,5 %.

Dalam satu modul surya terdapat 54 sel surya yang masing masing sel surya berukuran 156 x 165 mm. Luas dari sel surya dalam satu modul surya adalah 1,4 m².

Untuk mengetahui lebih jelas bentuk dari modul surya terpasang pada BTS PT.Telkomsel dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Modul Surya Yingli
Sumber: Yingli Solar

Dimensi untuk satu modul surya dengan panjang 1.570 mm dan lebar 1.140 mm. karena terdapat 72 modul surya maka luas dari panel surya terpasang pada BTS PT.Telkomsel adalah $128,86 \text{ m}^2$. Gambar 4.9 menunjukkan panel surya terpasang yang diambil dari atas tower BTS.



Gambar 4.9 Panel Surya pada BTS PT.Telkomsel Giligenting

Dari gambar 4.9 terlihat rangkaian modul surya yang dirangkai dalam satu kesatuan membentuk suatu *array*, dalam satu *array* terdapat 72 modul surya yang dibagi dalam 3 *string*, setiap *string* terdapat 24 modul surya. 24 modul surya ini dipasang seri sebanyak 3 buah dan paralel sebanyak 8 buah. Sesuai dengan persamaan (2-2) dan (2-4) maka didapatkan :

a. Tegangan maksimum tanpa beban

$$\begin{aligned} V_{mpp} \text{ total} &= M_s \times V_{mpp} \\ &= 3 \times 33,3 \text{ V} \\ &= 99,9 \text{ V.} \end{aligned}$$

b. Arus maksimum tanpa beban

$$\begin{aligned} I_{mpp} \text{ total} &= M_p \times I_{mpp} \\ &= 8 \times 7,6 \text{ A} \\ &= 60,8 \text{ A.} \end{aligned}$$

Menentukan daya maksimum yang dihasilkan oleh modul dalam satu *string* didapat dari persamaan (2-14)

$$\begin{aligned} P_{string} &= (M_p \times M_s) \times P_{nom} \\ &= (8 \times 3) \times 200 \text{ Wp} \\ &= 4.800 \text{ Wp} \end{aligned}$$

Karena dalam satu *array* terdapat 3 *string* maka daya total yang dihasilkan oleh modul surya adalah :

$$\begin{aligned} P \text{ total} &= P_{string} \times \text{jumlah } string \\ &= 4.800 \text{ Wp} \times 3 \\ &= 14.400 \text{ Wp.} \end{aligned}$$

Jadi daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh 72 modul surya adalah 14.400 Wp.

4.4.2 Baterai

Baterai yang terpasang pada BTS PT.Telkomsel adalah model Sonnenshien A602/2300 dengan spesifikasi sesuai yang tertera pada tabel 4.4.

Tabel 4.4
Spesifikasi baterai

Merek	Sonnenshien
Tipe	A602/2300
Tegangan nominal	2V
Kapasitas nominal	2300 Ah
Dimensi (P/L/T)	216/400/775 mm
Resistansi internal	0,19 mOhm
Isc	10.750 A

Sumber : Sonnenshien

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa tegangan nominal yang dihasilkan oleh baterai adalah 2 volt, serta kapasitas muatan baterai per sel adalah 2300 Ah. Baterai memiliki resistansi

dalam sebesar 0,19 mOh dan arus *short circuit* 10.750 A. Gambar 4.11 menjelaskan baterai yang terdapat pada BTS PT.Telkomsel



Gambar 4.10 Baterai Sonnenshien A602/2300

Pada BTS PT.Telkomsel terdapat 48 buah baterai yang terpasang, susunan dari baterai tersebut adalah 24 buah baterai disusun secara seri dan 2 buah baterai disusun secara paralel. sehingga menghasilkan tegangan sebesar 48 V, total kapasitas muatan menjadi 4600 Ah.

4.4.3 Battery controller

Battery Controller mempunyai dua fungsi yaitu sebagai titik pusat sambungan ke beban, modul sel surya dan baterai. Sebagai pengatur sistem agar penggunaan daya listriknya aman dan efektif, sehingga komponen terjaga dari perubahan tegangan. *Battery controller* yang digunakan pada BTS PT.Telkomsel adalah merk FLEXmax 80 seperti pada gambar 4.12. modul *controller* ini memiliki *junction box* seperti pada gambar 4.13.



Gambar 4.11 Controller Flexmax 80



Gambar 4.12 Junction Box

Kapasitas arus *charger controller* yang digunakan adalah 80 A per modul. 80 A adalah arus keluaran maksimal yang dapat dikeluarkan oleh modul *charger controller*. Pada sistem panel surya terpasang terdapat 3 modul *charger controller* sehingga dapat dipakai untuk sistem dengan arus maksimal 240 A.

pada gambar 4.12 terlihat *junction box*, satu buah modul *battery controller* mewakili satu *string* pada panel surya. Sistem panel surya memiliki 3 *string*, pada satu *string* arus maksimal yang dihasilkan dalam kondisi tanpa beban adalah 60,8 A. pemilihan kapasitas *battery controller* harus berdasarkan dengan arus short circuit (I_{sc}) yang ada pada modul surya. Maka arus modul yang digunakan digunakan harus diatas arus 60,8 A maka digunakan 3 *battery controller* dengan arus maksimum per modul adalah 80 A, dan ketiga *battery controller* tersebut masuk pada *system controller and display* yang disebut dengan *Mate*.

4.4.4 Inverter

Inverter berfungsi sebagai pengubah arus dan tegangan listrik DC (direct current) yang dihasilkan oleh modul surya menjadi tegangan AC (*alternating current*). Meskipun beban modul yang digunakan bertegangan searah tetapi *inverter* pada BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligenting digunakan jika terjadi kerusakan pada sistem sehingga membutuhkan perbaikan maka dapat menggunakan arus bolak balik. Pada tabel 4.4 berisi tentang data spesifikasi *inverter* yang digunakan.

Tabel 4.5
Spesifikasi Inverter

Output Power	600 W
Surge Power	1500 W
Standby Current	DC 12V < 0.6A DC 24V < 0.4A
Input Voltage	DC 12V: 10V – 15V DC 24V: 20V – 30V
Output Voltage	AC 100V, 110V, 120V, 220V, 230V, 240V
Output Waveform	Modified Sine Wave
Effisiensi	>85%
Output Frequency	50Hz, 55Hz, 60Hz

Sumber : Intwlligent

Inverter yang digunakan adalah Merk Intwlligent SP-600. Dapat digunakan pada tegangan masuk 12 volt dan 24 volt dengan daya keluaran 600 watt. Tegangan keluaran adalah AC dapat diatur sesuai kebutuhan perangkat bernilai mulai dari 100 V, 100V, 110V, 120V, 220V, 230V, 240V dengan frekuensi 50Hz, 55Hz, 60Hz. Untuk nilai effisiensi terbilang tinggi yaitu lebih dari 85%.



Gambar 4.13 Inverter Intwlligent SP-600

Dari gambar 4.13 dapat dilihat inverter yang digunakan pada sistem panel surya pada BTS PT. Telkomsel Giligenting dengan kapasitas daya keluaran adalah 600 W.

4.5 Perbandingan Sistem Panel Surya Berdasarkan Kebutuhan Beban dan Terpasang

Nilai dari modul surya, baterai, *battrey controller*, dan *inverter* berdasarkan kebutuhan energi beban harian sudah dihitung pada pembahasan sebelumnya. Apabila setiap komponen yang terpasang telah memenuhi spesifikasi dalam perhitungan, maka panel surya dapat menjadi suplai utama untuk BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligenting. Pada tabel 4.6 dapat dilihat perbandingan antara kapasitas masing masing komponen dalam perhitungan dan kapasitas yang terpasang pada sistem untuk BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligenting.

Tabel 4.6 Perbandingan Sistem Panel Surya

Peralatan Panel Surya	Kapasitas berdasarkan kebutuhan beban	Kapasitas yang terpasang
Modul Surya	7.337,73 Wp	14.400 Wp
Baterai	1.818 Ah	4600 Ah
<i>Battery Controller</i>	135,9 A	240 A
<i>Inverter</i>	178 W	600 W

Dapat dilihat dari tabel 4.6 bahwa kapasitas modul surya, baterai, *battery controller* dan *inverter* yang telah terpasang telah memenuhi kebutuhan energi beban harian, oleh karena itu sistem panel surya yang terpasang dapat mencatu seluruh kebutuhan beban harian yang ada pada BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligenting Madura.

4.6 Analisis Energi yang Dihasilkan Oleh Panel Surya Berdasarkan Radiasi Matahari

Untuk menentukan besarnya daya output modul sel surya dari suatu sistem photovoltaik, pertama-tama harus diketahui terlebih dahulu besarnya jumlah cahaya matahari yang dapat mencapai permukaan bumi pada lokasi dimana sistem berada (Wibawa, 2008:34). Terdapat 72 modul pada sistem panel surya terpasang, masing-masing modul memiliki daya nominal 200 Wp. Sehingga kapasitas total daya modul surya terpasang adalah 14400 Wp.

Berikut akan dianalisis jumlah energi yang dapat dihasilkan untuk setiap bulan pada tingkat radiasi matahari yang berbeda beda pada setiap bulannya. Sesuai dengan gambar 4.7 tentang radiasi matahari pada Pulau Giligenting data diambil dari NASA *Surface meteorology and Solar Energy*.

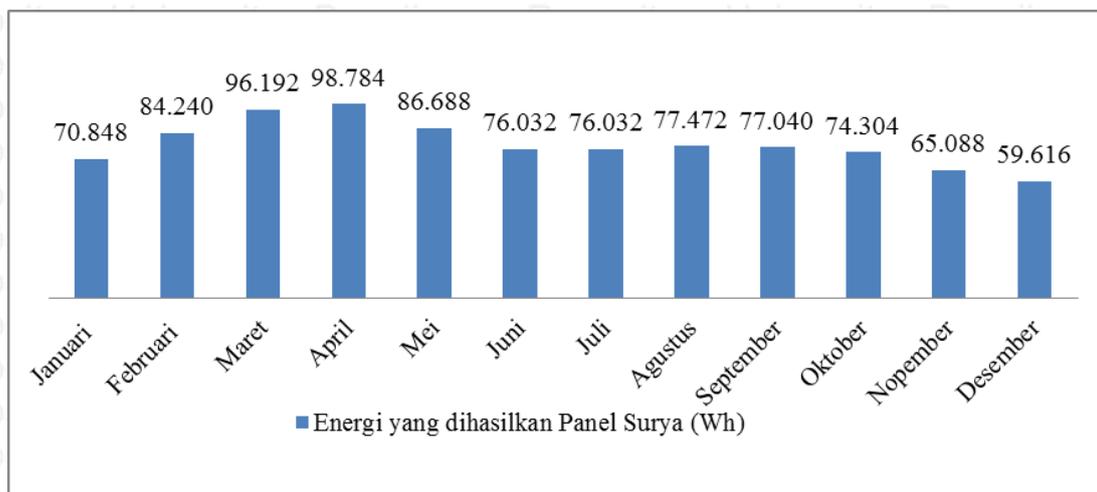
Sesuai dengan persamaan (2-16) untuk mencari Tnom, yaitu lamanya modul surya mendapatkan radiasi matahari maka didapatkan hasil seperti yang terlihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7
Lama Waktu Modul Mendapat Radiasi Matahari

Bulan	Tnom (jam)
Januari	4,92
Februari	5,85
Maret	6,68
April	6,86
Mei	6,02
Juni	5,28
Juli	5,28
Agustus	5,38
September	5,35
Oktober	5,16
Nopember	4,52
Desember	4,14

Dari data pada tabel 4.7 didapatkan lama waktu modul mendapatkan radiasi matahari. Waktu paling lama modul mendapat radiasi matahari terdapat pada bulan April yaitu sebesar 6,86 jam karena pada bulan tersebut sudah memasuki musim kemarau dan paling rendah pada bulan Desember yaitu hanya sebesar 4,14 Jam karena pada bulan tersebut memasuki musim hujan.

Dari data lama waktu radiasi matahari yang mengenai modul, maka dapat dicari energi yang dihasilkan oleh modul berdasarkan persamaan (2-15) dapat seperti yang terlihat pada gambar 4.14



Gambar 4.14 Energi Harian yang Dihasilkan Panel Surya

Semakin besar nilai dari radiasi matahari maka semakin besar energi yang dapat dihasilkan oleh modul surya. Energi harian terendah yang dihasilkan oleh panel surya pada bulan Desember sebesar 59.616 Wh dan yang tertinggi di bulan April sebesar 98.784 Wh.

4.7 Analisis Lama Waktu Cadang Baterai

Baterai yang terdapat pada BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligenting yaitu 48 buah baterai yang dipasang dengan rangkaian seri 24 buah dan paralel 2 buah dengan kapasitas total muatan 4.600 Ah. Baterai berfungsi sebagai *cadang* apabila dalam waktu satu hari tidak ada sinar matahari yang menyinari modul surya. Total kebutuhan energi beban utama yang ada pada BTS PT.Telkomsel adalah 27.616,58 Wh. Besar nilai dari DOD baterai yang dihitung adalah 80% yang berarti muatan yang dapat digunakan sebesar 80% dari kapasitas muatan total baterai. Perhitungan lama waktu cadang baterai dapat dihitung dengan membagi kapasitas total muatan dengan arus beban.

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas muatan} &= \text{Kapasitas muatan total} \times \text{DOD} \\ &= 4.600 \times 80 \% \\ &= 3.680 \text{ Ah}\end{aligned}$$

Jadi kapasitas muatan yang dapat dipergunakan pada baterai BTS PT.Telkomsel adalah 3.680 Ah. Arus rata-rata beban dilakukan dengan pengukuran langsung dan didapatkan nilai arus sebesar 19,02 A, dapat dihitung lama waktu pengosongan (*discharge*) baterai sesuai persamaan (2-20) maka didapat:

$$\begin{aligned}\text{Waktu (jam)} &= \text{Kapasitas muatan} / \text{Arus beban} \\ &= 3.680 \text{ Ah} / 19,02 \text{ A} \\ &= 193,48 \text{ Jam} \pm 8 \text{ hari}.\end{aligned}$$

Jadi lama waktu *cadang* baterai pada BTS PT.Telkomsel dengan nilai DOD 80% kurang lebih selama 8 hari.

Jika melihat nilai DOD baterai berdasarkan *datasheet* yaitu sebesar 20% maka didapatkan lama waktu cadang baterai adalah:

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas muatan} &= \text{Kapasitas muatan total} \times \text{DOD} \\ &= 4.600 \times 20 \% \\ &= 920 \text{ Ah}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Waktu (jam)} &= \text{Kapasitas muatan} / \text{Arus beban} \\ &= 920 \text{ Ah} / 19,02 \text{ A} \\ &= 48,37 \text{ Jam} \pm 2 \text{ hari}.\end{aligned}$$

Jadi jika menggunakan nilai DOD berdasarkan *datasheet* yang ada yaitu 20% maka lama waktu cadang dari baterai dengan kapasitas total muatan 4.600 Ah kurang lebih adalah 2 hari.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dalam analisis ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Kebutuhan energi beban harian pada BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligening Madura adalah sebesar 27.616,58 Wh.
2. Kapasitas daya modul surya sesuai dengan kebutuhan beban harian sebesar 7.337,73 Wp, kapasitas muatan baterai sebesar 1.818 Ah, kapasitas arus *charger controller* harus lebih besar dari 135,9 A dan kapasitas daya *inverter* 178 W. Sistem panel surya yang terpasang sudah dapat memenuhi kebutuhan energi beban harian.
3. Energi harian yang dihasilkan oleh sistem panel surya terpasang dengan menggunakan nilai radiasi terendah di bulan Desember sebesar 59.616 Wh dan untuk nilai radiasi tertinggi di bulan April sebesar 98.784 Wh.
4. Lama waktu *cadang* baterai terpasang pada BTS PT.Telkomsel adalah kurang lebih 8 hari dengan nilai DOD 80 % dan 2 hari dengan nilai DOD 20 %.
5. Sistem panel surya terpasang dapat dijadikan sebagai catu daya utama menggantikan peran PLN dan generator set karena sudah dapat mencukupi kebutuhan beban harian yang ada pada BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligening.

5.2 Saran

Berdasarkan pada hasil analisis yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan untuk PT.Telkomsel adalah memanfaatkan energi berlebih yang dihasilkan oleh sistem panel surya terpasang dan menarik generator set ke tempat yang lebih membutuhkan karena sistem panel surya sudah cukup untuk menjadi catu daya utama

DAFTAR PUSTAKA

- Abdussamad, Syahrir. 2008. Studi Power System Dalam Mendukung Perangkat BSS (Base Station SUB-System) di Site Indosat Kabupaten Gorontalo. *Media Elektrik*. 3(1).1-9.
- Asif, Raees M. & Khazada, Fahimullah. 2015. Cellular Base Station Powered by Hybrid Energy Options. *International Journal of Computer Applications*. 115(22): 35-39.
- Belfqih, Mohammed., Jian,Gao., Darning, Xu., Dong,Han., Zhehui,Liu.& Enzhi, Liang. 2009. Joint Study on Renewable Energy Application in Base Transceiver Stations. *Huawei Technologies Co.,Ltd.*
- Contaned Energy Indonesia. *Buku Panduan Energi yang Terbarukan*. Program Nasional Pemberdayaan Masyarakat. ISBN 1-885203-29-2.
- Energy Market Authority and Building and Construction Authority. 2016. *Handbook for solar photovoltaic (PV) systems*. Singapore. ISBN: 978-981-08-4462-2.
- Hankins, Mark. 1991. *Small Solar Electric Systems for Africa*. Kenya: Motif Creative Arts, Ltd.
- Hanna, Patricia. 2012. Analisis Keekonomian Kompleks Perumahan berbasis Energi Sel Surya (Studi Kasus : Perumahan cyber orchid town house, Depok. Skripsi.tidak dipublikasikan.Depok: Universitas Indonesia.
- Hansen, Anca D., Sørensen, Poul., Hansen, Lars H. & Bindner, Henrik. 2000. *Models for a Stand-Alone PV System*. Roskilde: Risø National Laboratory.
- Hossam, Khaled., Mikhail, Adel R., Hafez, Ismail., Anis, Wagdy R. 2016. Optimum Design Of PV Systems For BTS In Remote And Urban Areas. *International Journal Of Scientific & Technology Research*.5(6):355-363.
- Indrawan, Eka IP., Linawati & Hartati, R.S. 2013. Perancangan Photovoltaic Stand Alone Sebagai Catu Daya Pada Base Transceiver Station Telekomunikasi di Pulau Nusa Penida. *Teknologi Elektro*.12(1): 32-41.
- Jäger, Klaus., Isabella, Olindo., Smets, Arno H.M., Van Swaaij, René A.C.M.M.& Zeman,Miro. 2014. *Solar Energy*. Netherlands: Delft University of Technology.
- Kaub, Alexander. 2016. *Photovoltaic Training Program From Basic to Design*. German.The Academy of Solar Power Education.
- Kurniawan, Aries Pratama. 2001.Optimalisasi Sel Surya Menggunakan Maximum Power Point Tracker (Mppt) Sebagai Catu Daya Base Transceiver Station (BTS). *Proceedings Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS*.1-6. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Lynn, Paul A. 2010. *Electricity From Sunlight. An Introduction to Photovoltaics*. United Kingdom: A John Wiley & Son, Ltd
- NASA *Surface meteorology and Solar Energy*. <https://eosweb.larc.nasa.gov/> (Diakses 20 Februari 2017) .
- Otasowie, P.O. & Ezomo, P.I. 2015. Life Cycle Analysis for the Economic Viability for Solar and National Grid for Powering BTS. *Journal of Energy Technologies and Policy*. 5(3):49-55.
- Patel, Mukund R. 1999. *Wind and Solar Power Systems*. London. CCR Press.
- Poetro, Joessianto Eko. 2012. Konservasi Energi Pada Bts (Base Transceiver Station) Menggunakan Sistem Pendingin Arus Searah (Dc Cooler). *Jurnal Teknik Mesin*. 20(2).30-41.
- PT.PLN (PERSERO). 2013. *Pemanfaatan Energi Listrik dari fotovoltaik oleh pelanggan PT.PLN (PERSERO) Nomor 0733.K/DIR/2013*. Jakarta: PT.PLN (PERSERO).
- Quaschnig, Volker. 2005. *Understanding Renewable Energy Systems* .London: EarthScan.
- Quashem, Md.Walid Bin., Kawser, Mohammad Azizul. 2014. Application of PV-Battery-Fossil Fuel Hybrid System for Remote Telecom Operation in Bangladesh. *2nd International Conference on Green Energy and Technology*.116-120.
- Saxena, Tushar & Jadon, J.S.201. Different Power Supply Planning Options Available For A BTS Site. *International Journal of Engineering, Business and Enterprise Applications (IJEBEA)*. 13-324: 68-73.
- Sugiharto, 2011. Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Catu Daya Pada Base Tranceiver Station (BTS) Makrocell Telkomsel. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Jakarta: Universitas Mercubuana.
- Suriadi., Mahdi, Syukri. 2010. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan di Banda Aceh. *Jurnal Rekayasa Elektrika*. 9(2):77-80.
- Surindra, M.Denny. 2012. Analisis Karakteristik Electrical Modul Photovoltaic Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Laboratorium. *Prosiding SNST*. B14:77-78.
- Suwarno., Daut.I. 2012. Design Study Of Solar Cells as a Source Of Energy In North Sumatra Province. *Journal Basic Science And Technology*, 1(1):11-15.
- Wade, Herbert A. 2003. *Solar Photovoltaic Systems Technical Training Manual*. France: The United Nations Educational.
- Wang, Jong C. & Hsu, Bill. 2004. On the Analysis of a Cellular Mobile Telecommunication Electrical Power System. IEEE International Conference on

Electric Utility Deregulations, Restructuring and Power Technologies.(DRT2004):535-539.

Wibawa, Unggul & Darmawan, Andi. 2008. Penerapan Sistem Photovoltaik Sebagai Suplai Daya Listrik Beban Pertamanan. *Jurnal EECCIS*. II(1). 26-37.





LAMPIRAN

Lampiran 1. Log Alarm BTS PT.Telkomsel di Pulau Giligenting

Severity	Name	Alarm Source	Occurred Date	Occurred Time	Cleared Date	Cleared Time
Critical	GENSET FAILED	MBSC_Sampang1/GILIGENTINGMG	16/11/2016	4:53:02	-	
Critical	AlarmGENSET RUNNING	MBSC_Sampang1/GILIGENTINGMG	16/11/2016	0:42:39	16/11/2016	4:53:02
Critical	GENSET FAILED	MBSC_Sampang1/GILIGENTINGMG	12/11/2016	12:47:48	12/11/2016	12:48:06
Critical	AlarmGENSET RUNNING	MBSC_Sampang1/GILIGENTINGMG	12/11/2016	12:40:31	12/11/2016	12:42:44
Critical	AlarmGENSET RUNNING	MBSC_Sampang1/GILIGENTINGMG	12/11/2016	12:23:38	12/11/2016	12:35:00
Critical	AlarmGENSET RUNNING	MBSC_Sampang1/GILIGENTINGMG	12/11/2016	12:19:35	12/11/2016	12:21:10
Critical	AlarmGENSET RUNNING	MBSC_Sampang1/GILIGENTINGMG	12/11/2016	12:03:31	12/11/2016	12:13:57
Critical	AlarmGENSET RUNNING	MBSC_Sampang1/GILIGENTINGMG	12/11/2016	11:58:10	12/11/2016	11:58:12
Critical	GENSET FAILED	MBSC_Sampang1/GILIGENTINGMG	08/11/2016	18:43:57	08/11/2016	19:31:36
Critical	GENSET FAILED	MBSC_Sampang1/GILIGENTINGMG	06/11/2016	10:21:43	06/11/2016	11:11:53
Critical	GENSET FAILED	MBSC_Sampang1/GILIGENTINGMG	04/11/2016	10:39:54	04/11/2016	11:28:35
Critical	GENSET FAILED	MBSC_Sampang1/GILIGENTINGMG	16/09/2016	12:57:31	27/10/2016	1:24:35
Critical	GENSET FAILED	MBSC_Sampang1/GILIGENTINGMG	16/09/2016	12:57:31	13/10/2016	23:56:17
Critical	AlarmGENSET RUNNING	MBSC_Sampang1/GILIGENTINGMG	16/09/2016	12:27:24	16/09/2016	12:57:31
Critical	GENSET FAILED	MBSC_Sampang1/GILIGENTINGMG	05/09/2016	14:51:21	07/09/2016	19:40:38
Critical	GENSET FAILED	MBSC_Sampang1/GILIGENTINGMG	18/08/2016	23:27:00	05/09/2016	14:47:19

Lampiran 2. Datasheet Modul Surya Yingli YL 210 P-26b

YL 210 P-26b / 1495x990 SERIES

ELECTRICAL PARAMETERS

Electrical parameters at STC (1,000 W/m², 25°C, AM 1.5 according to EN 60904-3)

Module type	YL 190 P-26b	YL 195 P-26b	YL 200 P-26b	YL 205 P-26b	YL 210 P-26b
Power output [W]	190.0	195.0	200.0	205.0	210.0
Power output tolerances [%]	+/- 3	+/- 3	+/- 3	+/- 3	+/- 3
Module Efficiency [%]	12.8	13.2	13.5	13.9	14.2
Voltage at Peak, V _{mp} [V]	25.8	26.0	26.3	26.5	26.6
Current at Peak, I _{mp} [A]	7.36	7.50	7.60	7.74	7.90
Open circuit voltage V _{oc} [V]	32.8	33.0	33.3	33.5	33.6
Short circuit current I _{sc} [A]	8.03	8.15	8.22	8.33	8.45
Max. system Voltage [V]	1,000 VDC				

Parameters of the thermal characteristics

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) [°C]	46 +/- 2
Temperature coefficient beta of I _{sc} [1/K]	+ 0.0006
Temperature coefficient alpha of V _{oc} [1/K]	- 0.0037
Temperature coefficient gamma of P _{mp} [1/K]	- 0.0045

MECHANICAL PARAMETERS

Dimensions (length [mm] / width [mm] / thickness [mm])	1,495 / 990 / 50
Thickness with junction box [mm]	50
Weight [kg]	18.0
Junction box (manufacturer / protection degree / number of diodes)	C30 / IP65 / 6
Junction box dimensions (length / width / thickness [mm])	151 / 122 / 25
Positive cable & negative cable (manufacturer / length [mm] / cable cross-section [mm ²])	C30 / 1,200 (900) / 4.0
Plug connector (manufacturer / type / protection degree)	MC4 / UV resistance and self-locking / IP67
Front cover (material / thickness [mm])	Tempered Glass, 3.6 mm
Cell type (quantity / technology)	54 / polycrystalline / 156 x 156
Encapsulation materials	Ethylene Vinyl Acetate (EVA)
Rear cover (material / thickness [mm])	in - PET - PVDF / 0.287
Frame (material)	anodized aluminum alloy

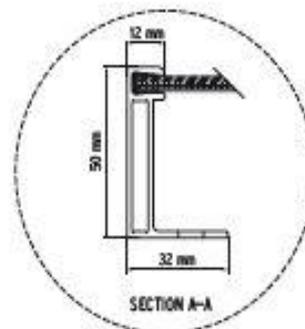
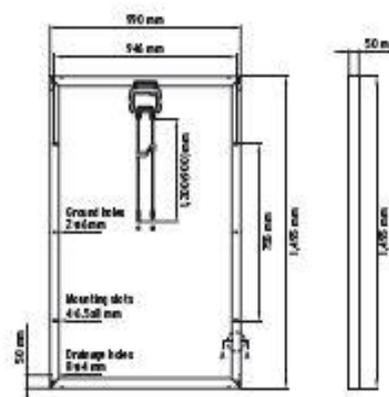
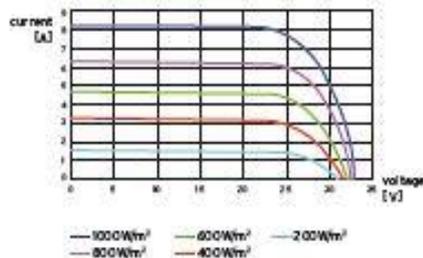
OPERATING CONDITIONS

Operating temperature [°C]	- 40 to + 85
Max. wind load / Max. snow load [Pa]	2.4k / 5.4k

PACKAGING

Number of modules per box	20
Box size (length [mm] / width [mm] / depth [mm])	1,570 / 190 / 1,165
Box Gross weight in kg	420
Boxes per pallet	1

IV CURVES



Electrical equipment, check with your installer



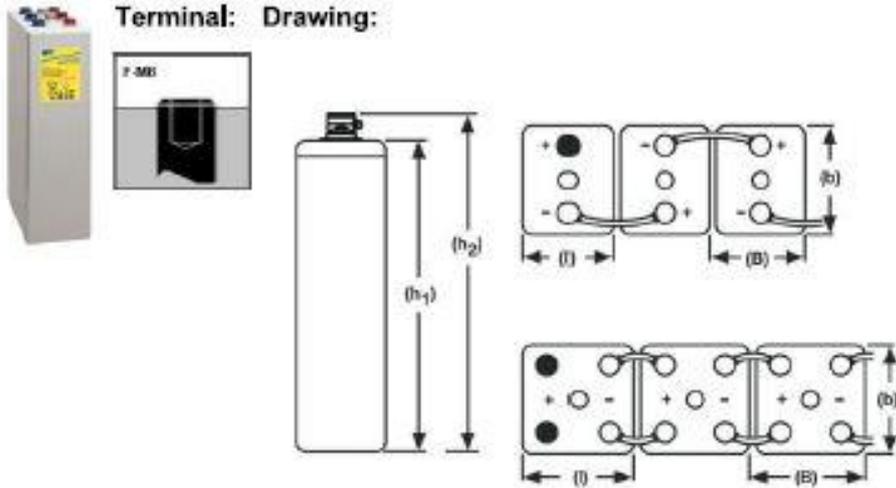
DS-YL210P-26b-EU-EN-020208-A447V01
 Yingli Solar Co., Ltd.

Lampiran 3. Datasheet Baterai Sonnenschein 16 OPzV 2300

Sonnenschein – 16 OPzV 2300 data sheet



Terminal: Drawing:



Specifications:

Part numbers not valid for North America, use type for ordering!

Exide type designation	Num. Voltage V	Nom. capacity C ₁₀₀ 1.85 V _{oc} 20°C Ah	Nom. capacity C ₂₀₀ 1.85 V _{oc} 20°C Ah	Nom. capacity C ₁₀₀ 1.80 V _{oc} 20°C Ah	Length (l) max. mm	Width (b ₁) max. mm	Height (h ₁) max. mm	Height top of cover (h ₂) max. mm	Height over terminals max (h ₃) max. mm	Height incl. connectors mm	Weight approx. kg	Term. ref.	Pole pairs
16 OPzV 2300	2	2613	2547	2020	216	400	816	775	816	816	180	FxM	3

Constant-current discharge in A @ 20 °C

Part number	V _{oc}	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	10 h	20 h	40 h	60 h	90 h	120 h	
NGS8022300H93FA	1.80	547	393	335	286	254	226	204	186	169	90,1	49,7	35,0	27,3	22,7	18,4
NGS8022300H93FA	1,87	634	463	389	328	280	253	226	206	174	96,2	53,7	37,8	29,5	24,3	20,8
NGS8022300H93FA	1,86	686	508	419	352	307	268	240	218	184	103	56,2	39,5	30,8	25,4	21,7
NGS8022300H93FA	1,83	738	546	447	374	324	283	252	229	193	107	58,3	40,8	31,9	26,2	22,4
NGS8022300H93FA	1,80	801	607	474	385	341	297	264	239	202	111	60,6	42,9	32,9	27,1	23,2
NGS8022300H93FA	1,77	856	648	499	412	356	310	275	248	210	115	62,6	43,8	33,9	27,7	23,6
NGS8022300H93FA	1,76	912	675	515	424	365	318	282	255	215	118	63,7	44,4	34,4	28,1	23,9
NGS8022300H93FA	1,73	953	695	530	435	374	324	288	260	218	119	64,5	44,9	34,9	28,4	24,2
NGS8022300H93FA	1,70	1005	710	542	444	381	331	293	263	221	121	65,2	45,3	35,2	28,7	24,4
NGS8022300H93FA	1,67	1047	722	549	452	387	335	295	267	224	122	66,1	45,6	35,4	28,9	24,5
NGS8022300H93FA	1,66	1084	730	555	457	391	338	299	270	226	123	66,4	45,7	35,5	29,0	24,5
NGS8022300H93FA	1,63	1112	738	560	460	394	340	301	272	228	123	66,9	45,8	35,6	29,0	24,5
NGS8022300H93FA	1,60	1138	745	565	463	395	342	302	273	228	124	67,1	45,9	35,6	29,0	24,5

Capacity in Ah @ 20°C

Part number	Exide type designation	C ₁ 1,67 V _{oc}	C ₂ 1,75 V _{oc}	C ₅ 1,77 V _{oc}	C ₁₀ 1,80 V _{oc}	C ₁₀₀ 1,85 V _{oc}	C ₁₂₀ 1,85 V _{oc}
-------------	------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------

Lampiran 4. Datasheet Inverter Intelligent SP-600W

Inverter DC to AC Modified Sine Wave	
ITEM	SP-600W
OUTPUT POWER	CONTINUOUS POWER 600W
SURGE POWER	1500W
STANDBY CURRENT	DC 12V < 0.6A DC 24V < 0.4A
INPUT VOLTAGE	DC 12V: 10V - 15V DC 24V: 20V - 30V
OUTPUT VOLTAGE	AC 100V, 110V, 120V, 220V, 230V, 240V
OUTPUT WAVEFORM	MODIFIED SINE WAVE
EFFICIENCY	> 85%
INITIAL CHECKING	AUTO DETECTING WRONG BATTERY CONT. ex. 12V/24V
OUTPUT REGULATION	+ 5% INTELLIGENT AVR
OUTPUT FREQUENCY	50Hz, 55Hz, 60Hz CRYSTAL CONTROLLED
FAN COOLING	AUTO-OPERATION FAN
OUTPUT SHORT	OUTPUT SHORT CIRCUIT PROTECTION
LOW BATTERY	< 10.5V or 21.5V + 0.5V ALARM < 9.5V or 20V + 0.5V SHUT DOWN & ALARM
OVER HEATING	> 60 °C PRE ALARM > 65 °C SHUT DOWN & ALARM
OVER LOAD	> 620W PRE ALARM > 660W SHUT DOWN & ALARM
BATTERY POLARITY REVERSE	BY FUSE
FUSE	DC 12V : 25A * 3PCS DC 24V : 15A* 3PCS
AC OUTLET	2 AC OUTLETS EUROPEAN TYPE: 1 AC OUTLET
DIMENSION (L*W*H)	200*173*60mm

Lampiran 5 Pengukuran Tegangan dan Arus Beban

Tanggal	Pukul	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)
Jumat 9 Desember 2016	09:00	56,3	18,0	1.013,40
Jumat 9 Desember 2016	10:00	57,6	16,6	956,16
Jumat 9 Desember 2016	11:00	56,1	17,4	976,14
Jumat 9 Desember 2016	12:00	54,3	18,5	1.004,55
Jumat 9 Desember 2016	13:00	53,0	19,3	1.022,90
Jumat 9 Desember 2016	14:00	52,2	19,8	1.033,56
Jumat 9 Desember 2016	15:00	52,1	18,6	969,06
Jumat 9 Desember 2016	16:00	51,9	18,9	980,91
Jumat 9 Desember 2016	17:00	51,9	19,1	991,29
Jumat 9 Desember 2016	18:00	51,8	19,3	999,74
Jumat 9 Desember 2016	19:00	51,6	18,0	928,80
Jumat 9 Desember 2016	20:00	51,5	18,0	927,00
Jumat 9 Desember 2016	21:00	51,5	19,0	978,50
Jumat 9 Desember 2016	22:00	51,4	18,0	925,20
Jumat 9 Desember 2016	23:00	51,3	17,5	897,75
Sabtu 10 Desember 2016	00:00	51,2	16,0	819,20
Sabtu 10 Desember 2016	01:00	51,2	15,9	814,08
Sabtu 10 Desember 2016	02:00	51,2	15,9	814,08
Sabtu 10 Desember 2016	03:00	51,1	15,7	802,27
Sabtu 10 Desember 2016	04:00	51,1	15,9	812,49
Sabtu 10 Desember 2016	05:00	51,1	16,1	822,71
Sabtu 10 Desember 2016	06:00	50,9	17,6	895,84
Sabtu 10 Desember 2016	07:00	50,8	19,6	995,68
Sabtu 10 Desember 2016	08:00	50,9	19,2	977,28
Sabtu 10 Desember 2016	09:00	50,4	20,9	1.053,36
Sabtu 10 Desember 2016	10:00	50,7	19,2	973,44
Sabtu 10 Desember 2016	11:00	50,9	19,2	977,28
Sabtu 10 Desember 2016	12:00	50,8	20,2	1.026,16
Sabtu 10 Desember 2016	13:00	50,6	19,6	991,76
Sabtu 10 Desember 2016	14:00	50,6	19,6	991,76
Sabtu 10 Desember 2016	15:00	50,6	21,1	1.067,66
Sabtu 10 Desember 2016	16:00	50,6	21,0	1.062,60
Sabtu 10 Desember 2016	17:00	50,6	21,5	1.087,90
Sabtu 10 Desember 2016	18:00	50,6	20,1	1.017,06
Sabtu 10 Desember 2016	19:00	50,5	20,2	1.020,10
Sabtu 10 Desember 2016	20:00	50,5	20,0	1.010,00
Sabtu 10 Desember 2016	21:00	50,5	20,0	1.010,00

Sabtu 10 Desember 2016	22:00	50,5	18,8	949,40
Sabtu 10 Desember 2016	23:00	50,5	18,0	909,00
Minggu 11 Desember 2016	00:00	50,5	17,0	858,50
Minggu 11 Desember 2016	01:00	50,5	16,5	833,25
Minggu 11 Desember 2016	02:00	50,5	16,8	848,40
Minggu 11 Desember 2016	03:00	50,5	16,7	843,35
Minggu 11 Desember 2016	04:00	50,5	16,4	828,20
Minggu 11 Desember 2016	05:00	50,4	16,5	831,60
Minggu 11 Desember 2016	06:00	50,3	18,3	920,49
Minggu 11 Desember 2016	07:00	50,3	19,5	980,85
Minggu 11 Desember 2016	08:00	50,3	19,9	1.000,97
Minggu 11 Desember 2016	09:00	50,2	19,7	988,94
Minggu 11 Desember 2016	10:00	50,2	20,5	1.029,10
Minggu 11 Desember 2016	11:00	50,2	19,1	958,82
Minggu 11 Desember 2016	12:00	50,2	21,7	1.089,34
Minggu 11 Desember 2016	13:00	50,2	19,3	968,86
Minggu 11 Desember 2016	14:00	50,2	20,6	1.034,12
Minggu 11 Desember 2016	15:00	50,1	18,4	921,84
Minggu 11 Desember 2016	16:00	50,1	19,5	976,95
Minggu 11 Desember 2016	17:00	50,1	21,0	1.052,10
Minggu 11 Desember 2016	18:00	50,1	20,2	1.012,02
Minggu 11 Desember 2016	19:00	50,1	20,4	1.022,04
Minggu 11 Desember 2016	20:00	50,1	20,4	1.022,04
Minggu 11 Desember 2016	21:00	50,0	20,4	1.020,00
Minggu 11 Desember 2016	22:00	50,0	19,0	950,00
Minggu 11 Desember 2016	23:00	50,0	18,7	935,00
Senin 12 Desember 2016	00:00	50,0	17,7	885,00
Senin 12 Desember 2016	01:00	50,0	16,4	820,00
Senin 12 Desember 2016	02:00	50,0	16,4	820,00
Senin 12 Desember 2016	03:00	50,0	16,0	800,00
Senin 12 Desember 2016	04:00	50,0	16,3	815,00
Senin 12 Desember 2016	05:00	49,9	17,6	878,24
Senin 12 Desember 2016	06:00	49,9	19,5	973,05
Senin 12 Desember 2016	07:00	49,9	20,0	998,00
Senin 12 Desember 2016	08:00	49,8	20,1	1.000,98
Senin 12 Desember 2016	09:00	49,8	20,8	1.035,84

Lampiran 6 Tegangan Keluaran Panel Surya Saat tidak berbeban

Tanggal	Pukul	Array A		Array B		Array C		Keterangan
		Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	
Sabtu 10 Desember 2016	7:00	83,4	0	83,5	0	79,6	0	Mendung
Sabtu 10 Desember 2016	8:00	83,6	0	83,6	0	79,3	0	Mendung
Sabtu 10 Desember 2016	9:00	84,2	0	84,2	0	80,2	0	Gerimis
Sabtu 10 Desember 2016	10:00	85,1	0	85,1	0	81,5	0	Hujan
Sabtu 10 Desember 2016	11:00	85,9	0	85,9	0	82,5	0	Hujan
Sabtu 10 Desember 2016	12:00	88,5	0	88,6	0	86,2	0	Hujan
Sabtu 10 Desember 2016	13:00	86,8	0	87,1	0	85,9	0	Berawan
Sabtu 10 Desember 2016	14:00	85,5	0	85,8	0	83,9	0	Berawan
Sabtu 10 Desember 2016	15:00	85,4	0	85,4	0	83,4	0	Berawan
Sabtu 10 Desember 2016	16:00	83,6	0	83,6	0	80,6	0	Berawan
Sabtu 10 Desember 2016	17:00	79	0	79	0	73,9	0	Berawan
Sabtu 10 Desember 2016	18:00	38,2	0	39,4	0	23,3	0	Berawan

Tanggal	Pukul	Array A		Array B		Array C		Keterangan
		Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	
Minggu 11 Desember 2016	7:00	85,1	0	85,6	0	84,1	0	Berawan
Minggu 11 Desember 2016	8:00	85,6	0	85,6	0	85,1	0	Berawan
Minggu 11 Desember 2016	9:00	6,7	0	86,7	0	86,3	0	Berawan
Minggu 11 Desember 2016	10:00	85,8	0	85,8	0	84,8	0	Berawan
Minggu 11 Desember 2016	11:00	87,7	0	87,7	0	87,4	0	Berawan
Minggu 11 Desember 2016	12:00	86,8	0	86,8	0	85,9	0	Berawan
Minggu 11 Desember 2016	13:00	85,8	0	85,8	0	84,6	0	Berawan
Minggu 11 Desember 2016	14:00	85,2	0	85,3	0	84,2	0	Berawan
Minggu 11 Desember 2016	15:00	85,3	0	85,3	0	83,6	0	Berawan
Minggu 11 Desember 2016	16:00	83,4	0	83,4	0	81,2	0	Berawan
Minggu 11 Desember 2016	17:00	77,8	0	77,8	0	72,4	0	Berawan
Minggu 11 Desember 2016	18:00	26,8	0	30,5	0	17,4	0	Gelap