

**PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS)
UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN MASYARAKAT
PERDESAAN DI KECAMATAN BALANTAK
KABUPATEN BANGGAI**

*SOLAR POWER ELECTRIC GENERATOR (SPEG)
FOR FULFILLING RURAL COMMUNITY'S NECESSITY AT
BALANTAK DISTRICT, BANGGAI REGENCY*

SRI SUSILAWATI



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

**PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS)
UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN MASYARAKAT
PERDESAAN DI KECAMATAN BALANTAK
KABUPATEN BANGGAI**

*SOLAR POWER ELECTRIC GENERATOR (SPEG)
FOR FULFILLING RURAL COMMUNITY'S NECESSITY AT
BALANTAK DISTRICT, BANGGAI REGENCY*

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Sarjana

Program Studi

TEKNIK PERENCANAAN PRASARANA

Disusun dan diajukan oleh

SRI SUSILAWATI

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

Abstrak

Sri Susilawati, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Memenuhi Kebutuhan Masyarakat Perdesaan di Kecamatan Balantak Kabupaten Banggai (dibimbing oleh **M. Ramli Rahim** dan **Baharuddin Hamzah**).

Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengidentifikasi penyebab sehingga PLTS desentralisasi di desa Boloak Kecamatan Balantak Kabupaten Banggai tidak digunakan lagi, (2) menganalisa seberapa besar kebutuhan daya PLTS komunal agar dapat memenuhi masyarakat di wilayah pesisir, lembah dan lereng di Kecamatan Balantak Kabupaten Banggai, dan (3) menganalisa berapa lama dana investasi akan kembali jika menggunakan PLTS komunal.

Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Balantak Kabupaten Banggai dengan menggunakan metode deskriptif untuk menggambarkan fenomena dan fakta yang ada dengan mengklasifikasi sesuai dengan masalah yang ada. Data dianalisis dengan menggunakan analisis kuantitatif.

Hasil penelitian menunjukkan perlu direncanakan pembangunan PLTS secara komunal (sentralistik). Berdasarkan perhitungan jika daya beban 4.688 watt, maka daya yang akan dibangkitkan oleh PLTS sebesar 1000 watt, dengan jumlah panel yang dibutuhkan sebanyak 22 buah dengan daya maksimum 50 Wp, baterai yang digunakan 4 buah dengan kapasitas 120 AH 12V, panjang kabel yang dibutuhkan 2.392 m, dengan tiang penyanggah 33 buah dan jarak beban ke pembangkit 2 km, maka akan menghabiskan biaya sebesar Rp. 276.304.011.-

Kata Kunci:

Sel surya, kebutuhan daya, komponen sel surya, analisa ekonomi

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Megister Teknik pada Program Studi Teknik Perencanaan Prasarana Universitas Hasanuddin Makassar. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ing. M. Ramli Rahim, M.Eng selaku pembimbing 1, dan Baharuddin Hamzah, ST, M. Arch, Ph. D selaku pembimbing 2, yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
2. Prof. Dr. Ing. H. M. Yamin Jinca, M.Str, selaku penguji.
3. Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc, selaku penguji.
4. Prof. Dr. Ir. Shirly Wunas, DEA, selaku penguji.
5. Rektor Universitas Tompotika Luwuk, yang telah memberikan bantuan dana stimulan studi lanjut strata dua kepada saya.
6. Kedua orang tua, suami dan anak-anak tercinta yang telah memberikan doa dan dukungan yang tiada henti kepada penulis.

7. Para sahabat serta teman-teman seangkatan yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya bermohon kiranya Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Makassar, November 2013

Penulis

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sri Susilawati

Nim : P2800210059

Program Studi : Teknik Perencanaan Prasarana

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, November 2013

Yang menyatakan

Sri Susilawati

DAFTAR ISI

	halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	v
ABSTRAK	
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	6
D. Manfaat Penelitian	6
E. Batasan Masalah	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Energi Surya	8
B. Pemanfaatan Energi Surya	10
C. Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya	18
D. Komponen Energi Surya Fotovoltaik.....	22
E. Sistem PLTS	35
F. Efisiensi Sel Surya	37
G. Perhitungan Komponen Energi Surya.....	38
H. Perhitungan Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	44
I. Parameter-Parameter Analisa Keekonomian PLTS.....	46
J. Biaya Penyediaan Tenaga Listrik.....	49
K. Pengembangan Listrik Perdesaan	51
L. Kebijakan Pemerintah dalam Pembangunan Listrik Perdesaan.....	53
M. Studi Terkait.....	57
N. Kerangka Pikir.....	61

BAB III	METODE PENELITIAN.....	64
A.	Jenis Penelitian	64
B.	Waktu dan Lokasi Penelitian	64
C.	Populasi dan Sampel	65
D.	Jenis dan Sumber Data.....	69
E.	Teknik Pengumpulan Data	69
F.	Teknik Analisa Data	71
G.	Variabel Penelitian	72
H.	Defenisi Operasional.....	73
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	76
A.	Gambaran Umum Kecamatan Balantak.....	76
B.	Kondisi PLTS di Kecamatan Balantak.....	87
C.	Kebutuhan Daya Listrik	96
D.	Rancangan Pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	99
E.	<i>Break Event Point</i>	107
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	120
A.	Kesimpulan	120
B.	Saran.....	121

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Nomor	halaman
1. Potensi Energi Terbaharukan di Indonesia.....	11
2. Distribusi Jumlah Populasi Pada Lokasi Penelitian	67
3. Jumlah Sampel Berdasarkan Wilayah.....	68
4. Kebutuhan Data Primer Dan Sekunde	70
5. Variabel Penelitian.....	73
6. Geografi Dan Iklim Kecamatan Balantak.....	78
7. Letak Geografis Dan Luas Wilayah Menurut Desa/Kelurahan Di Kecamatan Balantak	79
8. Jarak Dari Desa/Kelurahan ke Ibukota Kecamatan dan Ibukota Kabupaten Menurut Deasa/Kelurahan di Kecamatan Balantak.....	80
9. Jumlah Penduduk, Rumah Tangga, Rata-Rata Jumlah Penduduk Per Rumah Tangga, dan Kepadatan Penduduk Menurut Desa/ Kelurahan Di Kecamatan Balantak Tahun 2009 – 2011.....	82
10.Sumber Penghasilan Sebagian Besar Pendudk Menurut Desa/Kelurahan di Kecamatan Balantak Tahun 2011	83
11.Banyaknya Pengguna Listrik PLN dan Non PLN Menurut Desa/Kelurahan Di Kecamatan Balantak Tahun 2009 – 2011	86
12.Desas/ Kelurahan Yang Menggunakan Listrik PLN dan Non	

PLN Berdasarkan Wilayah.....	88
13. Penerima Bantuan PLTS Tahun 2007 s/d 2009 Kabupaten Banggai	89
14. Contoh Perhitungan Daya Terpasang	96
15. Jumlah Total Daya Peralatan Listrik di Wilayah Pesisir	97
16. Jumlah Total Daya Peralatan Listrik di Wilayah Lembah.....	98
17. Jumlah Total Daya Peralatan Listrik di Wilayah Lereng	99
18. Hasil Perhitungan Jumlah Area, Daya dan Panel PLTS.....	103
19. Hasil Perhitungan Kapasitas dan Jumlah Baterai.....	105
20. Hasil Perhitungan Kuat Arus, Luas Penampang dan Jumlah Tiang	107
21. Spesifikasi Panel Surya ASL-M50	108
22. Spesifikasi Baterai RB-S2-1180AGM	109
23. Spesifikasi Inverter Sunny Boy 5000T	110
24. Spesifikasi Controller Sunny Backup 220	111
25. Perhitungan Biaya Investasi Awal Sistem PLTS Ip.....	112
26. Perhitungan Biaya Investasi Awal Sistem PLTS di Wilayah Pesisir, Lembah dan Lereng.....	115
27. Hasil Perhitungan Break Event Point dari Masing-Masing Wilayah.....	116
28. Hubungan Antara Biaya Investasi, Biaya Operasional dan Tahun	118

DAFTAR GAMBAR

Nomor	halaman
1. Persentase Pemanfaatan Sinar Matahari.....	9
2. Proses Pemanfaatan Energi Surya	13
3. Konversi Surya Thermis Elektrik.....	14
4. Modul Fotovoltaik	17
5. Pemakaian Lampu dan Peralatan Elektronik.....	21
6. Kurva I – V.....	24
7. Susunan Sel Surya.....	25
8. Pengaruh Sudut Kemiringan untuk Panel Fotovoltaik	28
9. Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari untuk Panel Fotovoltaik.....	28
10. Sistem PLTS Grid Connected dengan Jaringan Listrik Konvensional dan EBT	35
11. Sistem PLTS Stand – Alone	36
12. Hubungan Jaringan Listrik Panel Surya	42
13. Kerangka Pikir	63
14. Peta Lokasi Penelitian	66
15. Persentase Luas Wilayah Kabupaten Banggai Menurut Kecamatan	77
16. Distribusi Persentase PDRB Menurut Sektor di Kecamatan	

Balantak Tahun 2011	84
17. Panel Surya Bantuan Pemerintah Untuk Masyarakat Desa Boloak	89
18. Spesifikasi Panel Surya Bantuan Pemerintah Untuk Masyarakat Desa Boloak.....	90
19. Charger Control Panel Surya Bantuan Pemerintah Untuk Masyarakat Desa Boloak.....	90
20. Jenis Baterai Bantuan Pemerintah Untuk Masyarakat Desa Boloak	91
21. Jenis Lampu Baterai Bantuan Pemerintah Untuk Masyarakat Desa Boloak	91
22. Peta Lokasi Penempatan PLTS.....	94
23. Denah Distribusi PLTS ke Beban pada Wilayah PLTS 1p.....	95
24. Grafik Hubungan Tahun, Biaya Investasi, Biaya Operasional Dan Biaya Listrik.....	118

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Jika kita melihat tingkat konsumsi energi di seluruh dunia pada saat ini, penggunaan energi diprediksi akan meningkat sebesar 70 persen antara tahun 2000 sampai 2030, hal ini disebabkan karena semakin banyaknya energi yang dipakai untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia ([Http//www.pemanfaatan.energi.surya.com](http://www.pemanfaatan.energi.surya.com)).

Sumber energi yang berasal dari fosil, seperti minyak bumi, gas alam, batubara, panas bumi, yang saat ini menyumbang 87,7 persen dari total kebutuhan energi di seluruh dunia diperkirakan akan mengalami penurunan disebabkan tidak lagi ditemukannya sumber cadangan baru. Cadangan sumber energi yang berasal dari fosil diseluruh dunia diperkirakan hanya sampai 40 tahun untuk minyak bumi, 60 tahun untuk gas alam, dan 200 tahun untuk batu bara ([Http//www.berita.iptek.com](http://www.berita.iptek.com)).

Kondisi keterbatasan sumber energi di tengah semakin meningkatnya kebutuhan energi dunia dari tahun ke tahun (pertumbuhan konsumsi energi tahun 2004 saja sebesar 4,3 persen), serta tuntutan untuk melindungi bumi dari pemanasan global dan polusi lingkungan membuat tuntutan untuk segera mewujudkan teknologi baru bagi sumber energi yang terbarukan ([Http//www.berita.iptek.com](http://www.berita.iptek.com)).

Di antara sumber energi terbarukan yang saat ini banyak dikembangkan (seperti turbin angin, tenaga air, energi gelombang, air laut, tenaga surya, tenaga panas bumi, tenaga hydrogen, dan bio-energi). Tenaga surya atau energi surya merupakan salah satu sumber energi yang cukup menjanjikan untuk dijadikan energi alternatif dalam upaya memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat.

Energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari sebenarnya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 69 persen dari total energi pancaran matahari. Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat luar biasa besarnya yaitu mencapai 3×1.024 Joule pertahun, energi ini setara dengan 2×1.017 Watt. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia. Dengan kata lain, dengan menutup 0,1 persen saja permukaan bumi dengan divais solar sel yang memiliki efisiensi 10 persen sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia saat ini ([Http//www.pemanfaatan energi surya.com](http://www.pemanfaatan_energi_surya.com)).

Indonesia memiliki banyak potensi energi terbarukan, seperti tenaga air (termasuk minihidro), panas bumi, biomasa, tenaga angin dan tenaga surya (matahari) yang bersih dan ramah lingkungan, tetapi pemanfaatannya belum optimal. Belum optimalnya pemanfaatan energi terbarukan disebabkan biaya pembangkitan listrik energi terbarukan, seperti tenaga surya, tidak dapat bersaing dengan biaya pembangkitan pembangkit listrik berbahan

bakar energi fosil (bahan bakar minyak, gas bumi, dan batubara) ([Http//www.pemanfaatan.energi.surya.com](http://www.pemanfaatan.energi.surya.com)).

Karena Indonesia terletak di garis khatulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4.8 kWh/m^2 per hari di seluruh wilayah Indonesia. Dengan berlimpahnya sumber energi surya yang belum dimanfaatkan secara optimal, sedangkan di sisi lain ada sebagian wilayah Indonesia yang belum menikmati aliran listrik karena tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN, sehingga Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan sistemnya yang modular dan mudah dipindahkan merupakan salah satu solusi yang dapat dipertimbangkan sebagai salah satu pembangkit listrik alternatif (Rahardjo dan Fitriani, 2010).

Indonesia merupakan Negara yang banyak memiliki pulau serta pengunungan dimana di sebagian daerah-daerah tersebut merupakan daerah yang terpencil dan tidak mendapat pasokan energi listrik yang cukup, maka dipandang perlu untuk mengembangkan atau memanfaatkan sumber-sumber yang ada untuk dijadikan alternatif penyediaan energi yang memiliki kemampuan untuk memasok energi listrik, diantaranya adalah dengan pemanfaatan sel surya guna pemenuhan kebutuhan energi listrik Energi surya merupakan piranti yang dapat mengkonversikan cahaya matahari menjadi energi listrik ([Http//www.berita.iptek.com](http://www.berita.iptek.com)).

Pemanfaatan energi surya sebagai pembangkit listrik memiliki potensi yang sangat besar di karenakan letak Indonesia yang berada di daerah tropis, dimana matahari bersinar sepanjang waktu, maka sangatlah tepat jika cahaya matahari ini dimanfaatkan sebagai penyedia energi listrik yang dikenal sebagai Solar Home system (SHS) ([Http//www.pemanfaatan energi surya.com](http://www.pemanfaatan_energi_surya.com)).

Mengingat ketersediaannya cahaya matahari sepanjang tahun, maka sangatlah tepat jika energi cahaya matahari ini dimanfaatkan sebagai penyedia energi listrik terutama untuk daerah-daerah yang belum terjangkau aliran listrik. Pemanfaatan energi terbarukan khususnya energi surya mempunyai prospek yang sangat baik di Indonesia, sehingga mulai dikembangkan di seluruh pelosok negeri ([Http//www.pemanfaatan energi surya.com](http://www.pemanfaatan_energi_surya.com)).

Hal tersebut di atas menunjukkan pentingnya penggunaan energi terbarukan, salah satunya energi surya untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan alam dan lingkungan serta untuk penghematan energi. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan, mengingat bahwa penggunaan energi surya ini dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat pedesaan, khususnya di Kecamatan Balantak Kabupaten Banggai.

Pemakaian sistem PLTS atau fotovoltaiik di Indonesia merupakan salah satu pilihan teknologi yang dipertimbangkan oleh pemerintah untuk mengatasi pengadaan listrik di daerah terpencil diseluruh kepulauan

Indonesia khususnya daerah-daerah terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN. Demikian pula halnya di Kecamatan Balantak Kabupaten Banggai yang merupakan salah satu kecamatan dengan jumlah kepala keluarga terbanyak yang belum menikmati aliran listrik PLN. Masih banyak kepala keluarga yang belum menerima pelayanan PLN berupa energi listrik mengakibatkan hilangnya beberapa peluang aktivitas yang bernilai ekonomi bagi masyarakat, khususnya di siang hari. Perencanaan penggunaan energi surya ini diharapkan menjadi alternatif energi bagi masyarakat khususnya di desa yang belum terlayani oleh PLN.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka penelitian ini difokuskan pada masalah yakni:

1. Mengapa PLTS desentralisasi di desa Boloak Kecamatan Balantak Kabupaten Banggai tidak digunakan lagi
2. Berapa kebutuhan daya listrik PLTS komunal untuk memenuhi kebutuhan masyarakat pedesaan di daerah pesisir, lembah dan lereng di Kecamatan Balantak Kabupaten Banggai?
3. Berapa lama *break event point* jika menggunakan PLTS komunal?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah untuk:

1. Mengidentifikasi faktor-faktor penyebab sehingga PLTS desentralisasi di desa Boloak Kecamatan Balantak Kabupaten Banggai tidak digunakan lagi.
2. Menganalisa seberapa besar kebutuhan daya PLTS komunal agar dapat memenuhi kebutuhan masyarakat perdesaan di daerah pesisir, lembah dan lereng di Kecamatan Balantak Kabupaten Banggai.
3. Menganalisa berapa lama dana investasi akan kembali jika menggunakan PLTS komunal.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Sebagai bahan informasi dan referensi bagi pemerintah sebagai pemberi bantuan untuk dapat mengetahui faktor-faktor penyebab sehingga PLTS desentralisasi tidak digunakan lagi.
2. Sebagai bahan pembelajaran dalam menghitung kebutuhan daya PLTS agar dapat melayani kebutuhan masyarakat akan listrik.
3. Sebagai bahan kajian bagi pemerintah/swasta untuk mengetahui berapa lama jangka waktu investasi akan kembali jika menggunakan PLTS.

4. Sebagai bahan masukan dan pertimbangan bagi pembuat kebijakan dalam menentukan arah dan kebijakan yang berkaitan dengan bantuan yang akan diberikan kepada masyarakat, berupa PLTS baik itu secara desentralisasi maupun secara komunal.

E. Batasan Masalah

Untuk menghindari masalah yang terlalu luas, maka penelitian ini dibatasi hanya melakukan identifikasi faktor-faktor penyebab tidak digunakannya lagi bantuan PLTS di desa Boloak, menganalisa kebutuhan daya PLTS untuk melayani kebutuhan masyarakat, serta analisa lamanya investasi akan kembali jika menggunakan PLTS komunal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

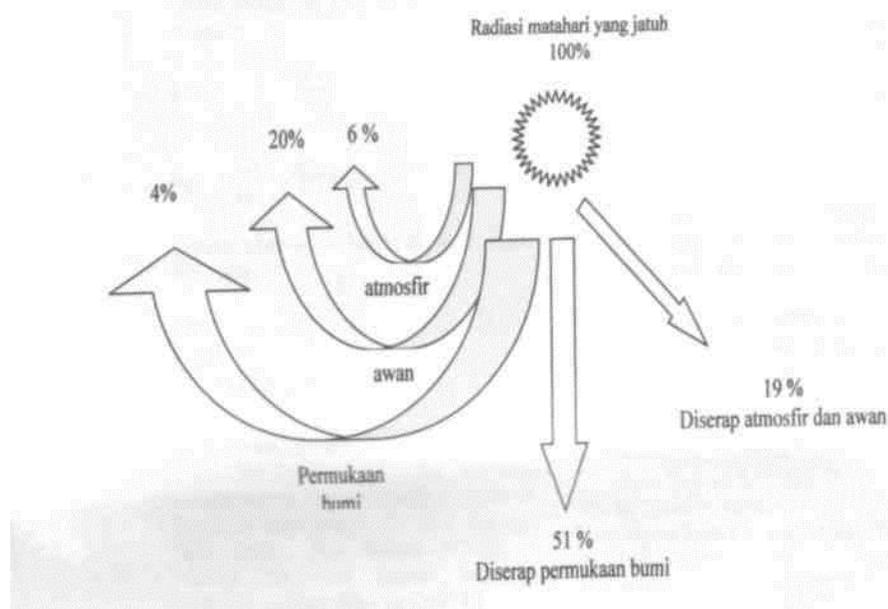
A. Energi Surya

Energi surya yang berasal dari pancaran sinar matahari langsung pada awalnya digunakan oleh manusia untuk menjemur pakaian, mengeringkan padi, dan sebagainya. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan desakan untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat maka energi surya mulai dikembangkan sebagai teknologi alternatif untuk dijadikan sebagai sumber energi dunia. Melalui teknologi ini energi surya dapat dijadikan sebagai pembangkit listrik tenaga surya ([Http//www.pemanfaatan_energi_surya.com](http://www.pemanfaatan_energi_surya.com)).

Energi surya adalah sangat luar biasa karena tidak bersifat polutif, tak dapat habis, dapat dipercaya dan tidak membeli. Kejelekan dari energi surya ini adalah sangat halus dan tidak konstan. Arus energi surya yang rendah mengakibatkan dipakainya system dan kolektor yang luas permukaannya besar untuk mengumpulkan dan mengkonsentrasikan energi itu. Sistem kolektor ini berharga cukup mahal dan ada masalah lagi bahwa sistem-sistem di bumi tidak dapat diharapkan akan menerima persediaan yang terus-menerus dari energi surya ini. Hal ini berarti diperlukan semacam system penyimpanan energi atau konversi lain diperlukan untuk menyimpan energi pada

malam hari serta pada saat cuaca mendung (Sarwito, 2009).

Energi Surya dapat dikonversi secara langsung menjadi bentuk energi lain dengan tiga proses, yaitu: proses *helochemical*, proses *helioelectrical*, dan proses *heliothermal*. Reaksi *helochemical* yang utama adalah proses fotosintesa. Proses ini adalah sumber dari semua bahan bakar fosil. Proses *helioelectrical* yang utama adalah produksi listrik oleh sel-sel surya. Proses *heliothermal* adalah penyerapan radiasi matahari dan pengkonversian energi ini menjadi energi termal.



Gambar 1. Persentase Pemanfaatan Sinar Matahari
(Abubakar dkk., 2006)

Radiasi yang dihamburkan disebut difusi sebagian dan radiasi difusi kembali ke udara dan sebagian menuju ke permukaan bumi. Radiasi yang langsung mencapai permukaan bumi disebut radiasi langsung hanya 51%

dan 4% dipantulkan kembali ke udara oleh permukaan bumi, 26% dihamburkan atau dipantulkan ke udara oleh partikel atmosfer dan awan, 19% diserap oleh gas atmosfer, partikel dan awan (Abubakar dkk., 2006) seperti pada gambar 1.

B. Pemanfaatan Energi Surya

Menurut Solikhin (2008), pemanfaatan sel surya sebagai pembangkit listrik memiliki potensi yang sangat besar dikarenakan letak Indonesia yang berada di daerah tropis, dimana matahari bersinar sepanjang waktu, maka sangatlah tepat jika cahaya matahari ini dimanfaatkan sebagai penyedia energi listrik yang dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atau dalam skala rumah tangga dikenal dengan *Solar Home System* (SHS).

Di bawah ini merupakan tabel mengenai pemakaian, pengembangan dan pemanfaatan berbagai sumber energi terbarukan di Indonesia, di dalam tabel 1 dapat dilihat mengenai potensi dari sumber-sumber energi terbarukan serta jumlah pemanfaatannya. Dari tabel 1 dapat disimpulkan bahwa belum optimalnya pemanfaatan, pengelolaan serta eksploitasi sumber energi terbarukan seperti biomassa, energi angin, energi surya dan yang lainnya. Matahari sebagai salah satu energi alternatif yang sangat potensial dimana potensi energi surya ini berpotensi menghasilkan daya hingga 156.487 MW lebih besar jika dibandingkan dengan sumber energi terbarukan yang

lainnya. Jika dibandingkan dengan ketersediaannya energi surya maka pencapaian pemakaian ini masih sangat kecil (Solikhin, 2008).

Tabel 1. Potensi Energi Terbaharukan di Indonesia

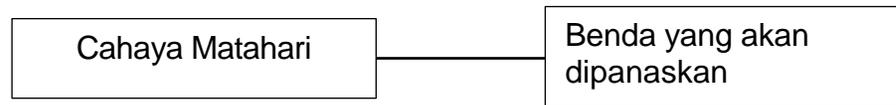
Sumber	Potensi (MW)	Kapasitas Terpasang (MW)	Pemanfaatan (%)
Large Hydro	75.000	4.200	5,600
Biomassa	50.000	302	0,604
Mini/Mikro Hydro	459	54	11,765
Energi Surya	156.487	5	$3,19 \times 10^{-3}$
Energi Angin	9.286	0, 50	$5,38 \times 10^{-3}$

Sumber: Dirjen Listrik dan Pemanfaatan Energi, 2001

Dalam <http://www.google.Berita> Iptek Online, pemanfaatan energi surya yang berasal dari pacaran sinar matahari langsung dapat dibedakan menjadi 3 cara yaitu:

1. Pemanasan Langsung

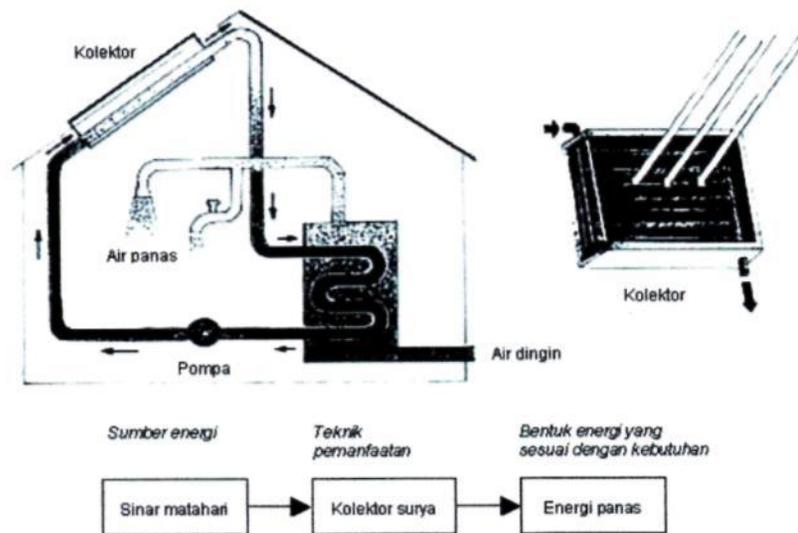
Pemanfaatan energi surya dapat dikatakan secara langsung apabila benda yang ingin kita panaskan langsung kontak dengan cahaya matahari. Dengan cara pemanasan langsung ini suhu yang akan diperoleh tidak akan melampaui 100 C. Proses pemanfaatan energi surya secara langsung dapat dilihat pada skema dibawah ini:



Gambar 2. Pemanfaatan Energi Surya Secara Langsung

Efektifitas pemanfaatan energi surya dengan cara pemanfaatan langsung dapat ditingkatkan bila mempergunakan pengumpul-pengumpul panas, yang biasanya di sebut kolektor. Sinar-sinar matahari dikonsentrasikan dengan kolektor ini pada suatu tempat, sehingga diperoleh suhu yang lebih tinggi.

Suatu contoh, bila kita ingin memanaskan air dengan menggunakan sinar matahari secara langsung tanpa menggunakan kolektor, air itu suhunya tidak akan mencapai suhu yang tinggi, lain halnya bila kita menggunakan kolektor maka suhu air yang bisa kita peroleh dapat lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan sinar matahari langsung tanpa menggunakan kolektor, bahkan suhunya dapat mencapai 100°C . Sistem pemanasan langsung dengan menggunakan kolektor ini mempunyai efisiensi sekitar 30% sampai 40%. Ada beberapa bentuk kolektor yaitu : kolektor parabolik bulat, silindris, pipa/datar, dan sebagainya. Proses pemanfaatan energi surya dengan menggunakan kolektor dapat dilihat pada gambar 3.

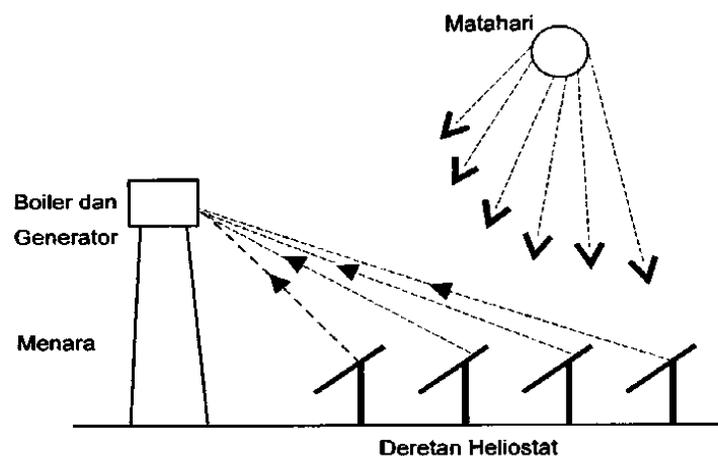


Gambar 3. Proses Pemanfaatan Energi Surya
([Http.www.googe.Berita.lptek Online](http://www.googe.Berita.lptekOnline))

2. Konversi Surya Thermis Elektris

Konversi surya thermis elektris (*Solar Thermal Electric Conversion*) merupakan suatu teknologi yang mempunyai potensi untuk dijadikan sebagai teknologi alternatif yang dapat merubah energi surya menjadi energi listrik secara tidak langsung. Pada prinsipnya konversi surya thermis elektris memerlukan sejumlah konsentrator optik (*Heliostat*) untuk pemanfaatan radiasi surya, sebuah alat untuk menyerap energi yang dikumpulkan (kolektor), suatu system pengangkut panas dan sebuah mesin sebagai pembangkit tenaga listrik.

Energi surya termal menggunakan tenaga matahari untuk menghasilkan listrik secara tidak langsung. Salah satu caranya adalah dengan pemanasan rangkaian pipa secara langsung. Atau dengan menggunakan cermin untuk memfokuskan sinar matahari pada pipa berisi cairan penghantar panas seperti misalnya minyak sintesis. Cara lain adalah dengan mengatur cermin mengelilingi menara yang di puncaknya terdapat tabung kolektor cahaya matahari. Sinar matahari yang dipantulkan terfokus pada satu titik dan memanaskan air yang terdapat dalam boiler. Air yang telah dipanaskan dengan menggunakan sinar matahari yang telah difokuskan tadi mengalami penguapan, kemudian uapnya disalurkan ke turbin uap untuk menggerakkan sudu-sudu turbin yang porosnya telah ditransmisikan dengan poros generator sehingga akhirnya akan menghasilkan listrik.



Gambar 3. Konversi Surya Thermis Elektrik
([Http.www.google.Berita Iptek Online](http://www.google.Berita Iptek Online))

Diperkirakan bahwa sebuah unit konversi surya thermis elektris dari 100 MW listrik akan mempunyai 12.500 buah heliostat, dengan permukaan masing-masing seluas 40 m², sebuah menara penerima setinggi 250 m, yang memikul sebuah penyerap untuk membuat uap bagi sebuah turbin selama 6 hingga 8 jam sehari ([Http www.google](http://www.google.com).Berita Iptek Online).

3. Fotovoltaik

Energi surya yang berasal dari matahari adalah salah satu energi alternatif yang terbarukan, dapat dikonversikan secara langsung menjadi energi listrik dengan bantuan alat yang umumnya disebut sel surya atau fotovoltaik. Fotovoltaik merupakan sebuah divais semikonduktor yang memiliki permukaan yang luas dan terdiri dari rangkaian diode tipe p dan n, yang mampu merubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Pengertian fotovoltaik sendiri merupakan proses merubah cahaya menjadi energi listrik ([Http www.google](http://www.google.com).Berita Iptek Online).

Efek fotovoltaik pertama kali berhasil diidentifikasi oleh seorang ahli Fisika berkebangsaan Prancis Alexandre Edmond Becquerel pada tahun 1839. Atas prestasinya dalam menemukan fenomena fotovoltaik ini, Becquerel mendapat Nobel fisika pada tahun 1903 bersama dengan Pierre dan Marrie Currie.

Beberapa kelebihan yang dimiliki listrik tenaga surya ini antara lain:

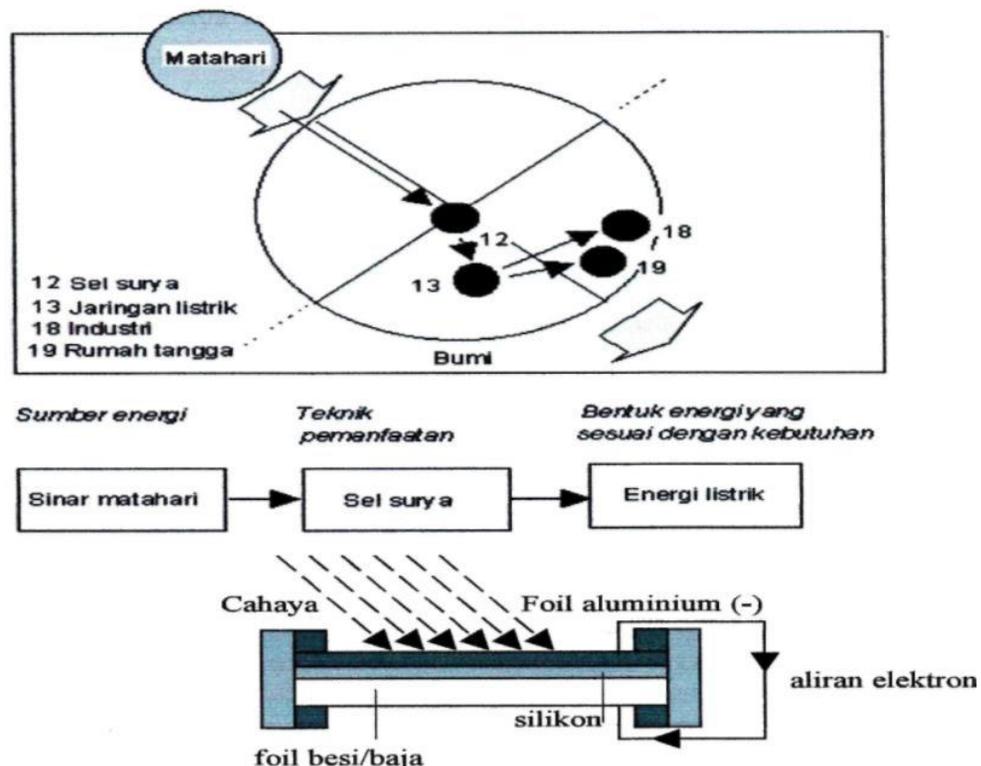
- a. Sumber tenaga yang digunakan sebagai pembangkit energi listrik cukup berlimpah dan tak perlu membeli,
- b. Dalam proses konversi energinya tak menimbulkan pencemaran udara dan lingkungan,
- c. Penggunaan cocok untuk daerah terpencil, dan
- d. Umurnya cukup panjang kurang lebih 15 tahun.

Banyaknya faktor yang mempengaruhi sistem fotovoltaik, menyebabkan energi listrik yang dihasilkan masih rendah, sedang biaya yang dibutuhkan system ini cukup tinggi.

Energi listrik pada system fotovoltaik dihasilkan dengan mengubah energi matahari menggunakan sel surya yang terdiri dari rangkaian panel unsur semikonduktor, misalnya lapisan unsur silikon yang tipis. Lempengan silikon itu dipasang dengan posisi sejajar dalam sebuah panel yang terbuat dari foil aluminium atau baja anti karat dan dilindungi oleh kaca atau plastik. Lempengan silikon itu kemudian dirangkakan secara seri menggunakan kisi-kisi kabel penghantar arus listrik. Bila sel surya ini terkena matahari maka pada lapisan silikon terjadi pemisahan elektron dari atom silikon sehingga dibangkitkan arus listrik.

Berbeda dengan energi surya termal, sel fotovoltaik tergantung pada jumlah energi cahaya yang mencapai lapisan semikonduktor dan luas

permukaan sel. Ketergantungan pada jumlah energi matahari yang menyinari sel ini lah merupakan kelemahan sumber energi surya fotovoltaik. Untuk mengatasi kekurangan ini, peneliti Amerika telah menciptakan modul fotovoltaik yang secara otomatis bergerak mengikuti arah matahari. Setiap modul dilengkapi komputer yang memperhitungkan posisi matahari di lokasi sel surya. Analisa tersebut diteruskan pada motor penggerak yang mengatur posisi sel surya sehingga mendapat penyinaran matahari secara optimal ([Http://www.google.Berita Iptek Online](http://www.google.Berita Iptek Online)).



Gambar 4 Modul fotovoltaik
([Http://www.google.Berita Iptek Online](http://www.google.Berita Iptek Online))

C. Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Menurut Rehiara (2005), instalasi PLTS cukup sederhana, namun beberapa pedoman pemasangan peralatan yang perlu diperhatikan, antara lain:

1. Dalam pemasangan sel surya, usahakan dipasang diluar rumah dan dipasang tidak terlalu mendatar dan juga tidak terlalu tegak lurus dengan permukaan bumi sehingga sel surya ini akan mendapat energi maksimum pada siang hari tetapi pada pagi atau sore hari masih dapat menangkap energi matahari dan juga bila datang hujan, air hujan tidak menggenang dipermukaan sel surya tersebut.
2. Dalam penyambungan kabel, harus diperhatikan warna dari kabel. Umumnya kabel berurat ganda yang berada dipasaran memiliki warna yang berbeda untuk setiap uratnya (misalnya merah dan hitam). Upayakan memasang warna hitam pada polaritas negatif (-) dan warna merah untuk polaritas positif (+), sehingga nantinya tidak terjadi hubungan singkat akibat adanya salah polaritas.
3. Pemasangan lampu diusahakan berada diluar jangkauan tangan atau diatas plafon rumah.
4. Untuk pemasangan televisi atau peralatan elektronika lainnya, diusahakan tidak terlalu jauh dari rangkaian kontroler.

Untuk memudahkan kita memahami aliran listrik, kita dapat memperhatikan pola aliran air karena prinsipnya sama dengan aliran listrik. Jika terdapat beda ketinggian maka air akan mengalir dan semakin besar beda ketinggiannya, air akan semakin deras mengalir. Beda ketinggian dapat kita samakan dengan beda potensial atau tegangan listrik (satunya volt) dan aliran air yang mengalir dapat kita samakan dengan arus listrik (satunya ampere). Jika ada beda potensial maka akan ada arus listrik yang mengalir dan semakin besar beda potensial maka semakin besar pula arus listrik yang mengalir (Rehiara, 2005).

Satuan untuk media penyimpan (baterai) adalah ampere jam (AH) yang menyatakan arus maksimum yang dapat diberikan tiap jam, sebagai contoh aki 70 AH berarti arus maksimum adalah 70 ampere dan bila kita menggunakan total arus tersebut (70 Ampere) maka energi tersimpan dalam baterai akan habis dalam 1 jam. Jika baterai memiliki tegangan maksimum 13,2 volt dan tegangan minimumnya 10,2 volt, berarti ada selisih tegangan sebesar 3 volt. Bila kita menggunakan baterai/aki mobil kecil sebesar 70 AH, berarti daya maksimum yang dapat diberikan oleh baterai adalah:

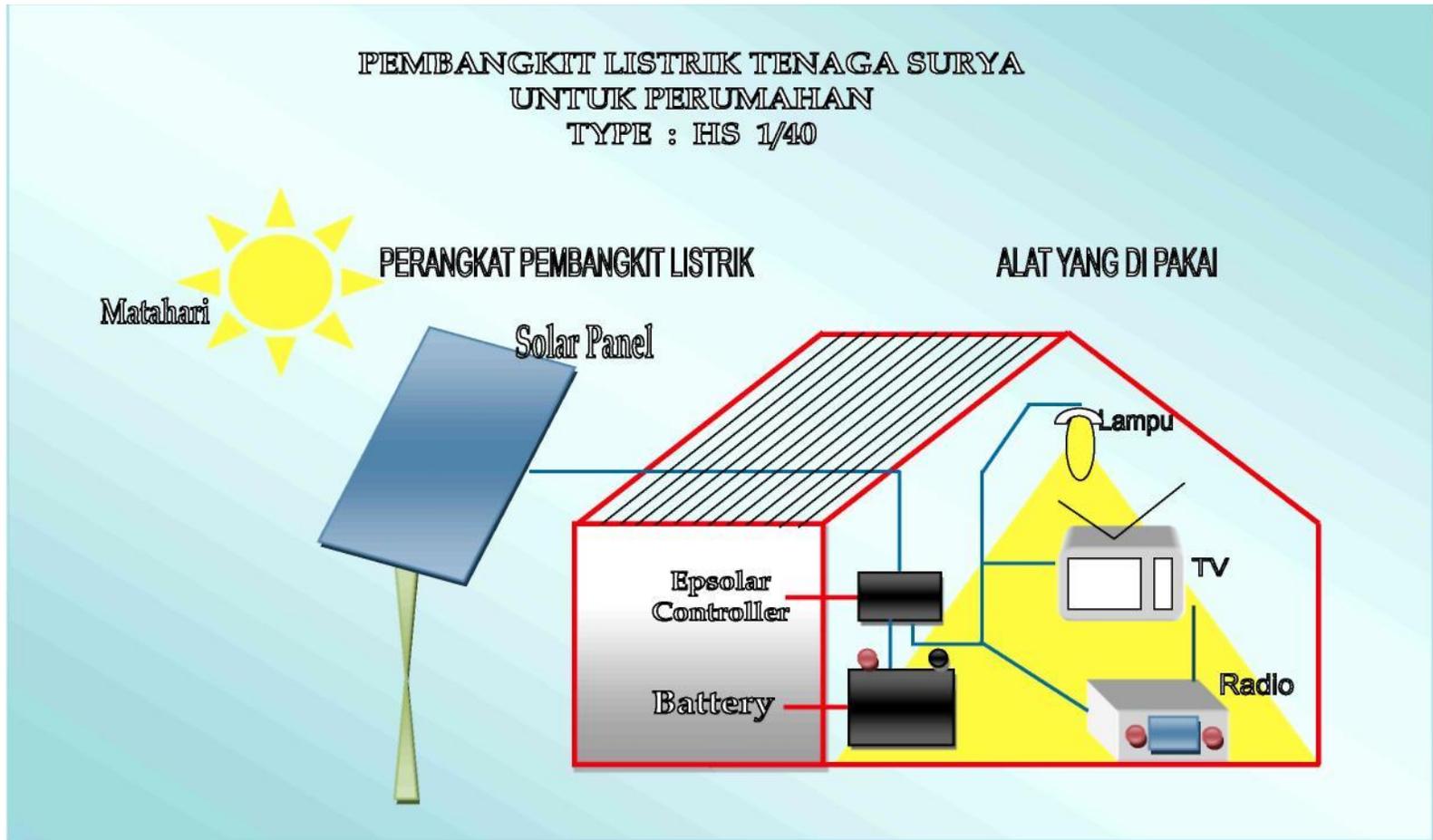
$$\begin{aligned} \text{Daya} &= 3 \text{ volt} \times 70 \text{ AH} \dots\dots\dots (1) \\ &= 210 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Semakin besar kapasitas baterai terpasang, maka semakin besar pula daya yang dapat dihasilkan. Walaupun demikian kita juga harus memperhatikan kapasitas sel suryanya, jadi sebaiknya untuk satu sel surya yang terpasang sebaiknya menggunakan 1 baterai saja (70 Ah / 120 Ah) (Rehiara,2005). Untuk perhitungan daya terpasang pada rumah, dapat kita perhatikan gambar 6.

Penggunaan Listrik Tenaga Surya ini sangat mudah seperti halnya kalau kita berlangganan listrik PLN. Perbedaannya terletak pada jaringan distribusinya. Kalau listrik PLN distribusinya secara sentral atau terpusat, sedangkan listrik Tenaga Surya bersifat desentralisasi atau individual.

Menurut Rehiara (2005), secara ekonomis perangkat Listrik Tenaga Surya saat ini memang masih mahal, karena komponennya (modul surya) sebagian besar masih diimpor. Namun demikian, keuntungan yang diperoleh apabila menggunakan listrik tenaga surya ini antara lain:

1. Energi yang digunakan adalah energi yang tersedia secara cuma-cuma,
2. Perawatannya mudah dan sederhana,
3. Tidak terdapat peralatan yang bergerak, sehingga tidak perlu penggantian suku cadang dan penyetelan pada pelumasan,
4. Peralatan bekerja tanpa suara dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan, dan
5. Dapat bekerja secara otomatis.



Gambar 5. Pemakaian Lampu dan Peralatan Elektronik

Menurut Rehiara (2005), dalam melakukan perawatan terhadap PLTS, tidak diperlukan biaya yang besar. Yang perlu dilakukan hanya membersihkan panel surya dari lumut atau kotoran lainnya yang menempel sehingga sinar matahari dapat diterima secara maksimum.

Sedang mengenai masa pakai (*life time*) peralatan-peralatan system PLTS menurut informasi yang diperoleh kira-kira sebagai berikut:

1. Sel Surya (solar cell) masa pakainya dapat mencapai 20 tahun,
2. Kontroller masa pakainya antara 5 – 10 tahun,
3. Baterai masa pakainya tergantung pada jenis baterai yang digunakan (untuk aki mobil masa pakainya dapat mencapai 3 tahun).

D. Komponen Energi Surya

Untuk membangun suatu sistem energi surya fotovoltaik yang dapat beroperasi dengan baik, maka diperlukan apa yang disebut dengan *Balance Of System* (BOS) yang terdiri dari beberapa komponen-komponen penyusun utama antara lain:

1. Sel Surya
2. *Universal charge controller* (UCC) untuk mengatur secara optimal daya keluaran sel surya.
3. *Inverter* (mengubah listrik DC dari sel surya menjadi listrik AC untuk keperluan sehari-hari).
4. Baterai (untuk menyimpan kelebihan muatan listrik guna pemakaian

darurat di malam hari).

a. Prinsip Kerja Sel Surya Fotovoltaik

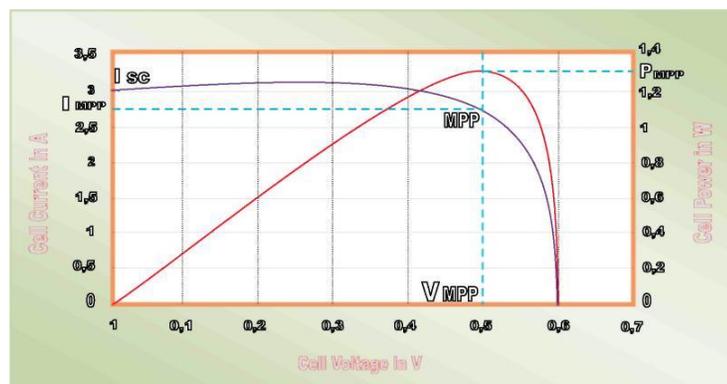
Sel surya disusun dengan menggabungkan silikon jenis p dan jenis n, silikon jenis p adalah silikon yang bersifat positif akibat dari kekurangan elektron sedangkan silikon jenis n adalah silikon yang bersifat negatif akibat dari kelebihan elektron ketika menerima radiasi surya (berupa foton) pada keduanya (silikon jenis p dan n) terbentuk positif (hole) dan negatif (elektron). Hal ini menyebabkan terciptanya pengkutuban (polarisasi) dimana hole bergerak menuju silikon jenis n, dengan menyambungkan kedua Jenis silikon (jenis p dan jenis n) melalui suatu penghantar luar maka terjadi beda potensial antara keduanya dan mengalirkan arus searah (Abubakar dkk, 2006).

Dengan demikian besarnya arus listrik, atau tenaga listrik yang diperoleh, tergantung antara lain dari jumlah energi cahaya yang mencapai sel-sel silikon, dan tergantung juga dari luas permukaan sel-sel itu.

Menurut Strong dalam Patricia (2012). Energi surya itu dapat berubah menjadi arus listrik yang searah yaitu dengan menggunakan silikon yang tipis. Sel surya tersusun dari dua lapisan semi konduktor dengan muatan berbeda. Lapisan atas sel surya itu bermuatan negatif sedangkan lapisan bawahnya bermuatan positif. Sel-sel Si itu dipasang dengan posisi sejajar dan seri dalam sebuah panel yang terbuat dari aluminium atau baja anti karat

dan dilindungi oleh kaca atau plastik.

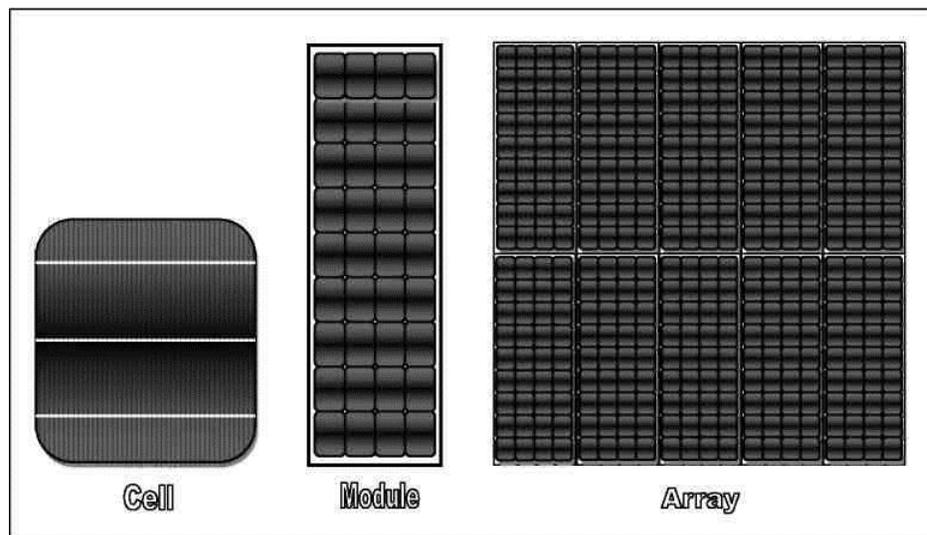
Bila sel-sel itu terkena sinar matahari (foton) maka beberapa foton diserap oleh atom Si yang merupakan semikonduktor dapat membebaskan elektron dari ikatan atomnya sehingga akan menjadi elektron yang bergerak bebas. Pergerakan elektron itulah yang menjadikan adanya arus listrik searah (DC). Besarnya arus atau tenaga listrik itu tergantung pada jumlah energi cahaya matahari yang mencapai silikon itu dan luas permukaan sel itu Total pengeluaran energi listrik (watt) dari sel surya adalah sama dengan tegangan (volt) dikalikan arus (ampere) yang beroperasi. Hubungan tegangan dan arus yang dikeluarkan oleh sel surya ketika memperoleh penyinaran dari matahari dapat terlihat pada grafik berikut.



Gambar 6. Kurva I-V

(Quaschnig, *Understanding Renewable Energy*)

Kurva tersebut memperlihatkan bahwa pada saat arus dan tegangan berada pada titik maksimal (*maximum power point*, M_{pp}) maka akan menghasilkan daya maksimum ($P_{M_{pp}}$). Tegangan di titik maksimal ($V_{M_{pp}}$) lebih kecil dari tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dan arus di titik maksimal ($I_{M_{pp}}$) lebih kecil dari arus *short circuit* (I_{sc}). Titik I_{sc} sendiri adalah titik arus ketika tegangannya adalah nol sehingga daya yang dikeluarkan juga masih nol. Titik V_{oc} adalah titik tegangan dimana arusnya adalah nol dan daya yang dikeluarkan juga adalah nol. Panel surya merupakan susunan dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri maupun parallel. Sebuah panel surya umumnya terdiri dari 32 - 40 sel surya, tergantung ukuran panel surya yang ingin dibuat. Gabungan dari panel-panel surya akan membentuk *array* sel surya



Gambar 7. Susunan Sel Surya

(Sumber: Patel, Wind and Solar Power Systems)

Perkembangan teknologi panel sel surya sekarang ini sudah ada beberapa jenis. Jenis panel sel surya ini diklasifikasikan berdasarkan cara pembuatan panel sel surya tersebut. *Mono-crystlline* (Si). dibuat dari silikon Kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur. Sekarang *monocrystalline* dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 16-25%.

1. *Poly-crystalline/Multi-crystalline* (Si). Dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul di atas lapisan silikon. Sel ini kurang efektif dibanding dengan sel *monocrystalline* karena efisiensi panel sel surya jenis ini sekitar 14-18%, tetapi biaya pembuatannya lebih murah.
2. *Gallium Arsenide* (GaAs). Sel Surya III-V semikonduktor yang sangat efisien sekitar 25%.

Pengoperasian panel surya dalam menyerap sinar matahari untuk menghasilkan energi listrik juga dipengaruhi beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut:

1. Temperatur

Sebuah panel fotovoltaik akan bekerja maksimum apabila suhu lingkungan sekitarnya berada pada angka 25°C, kenaikan temperatur yang lebih tinggi dari temperatur normal justru akan mengurangi kinerja panel fotovoltaik dalam menghasilkan tegangan. Setiap kenaikan temperatur dari

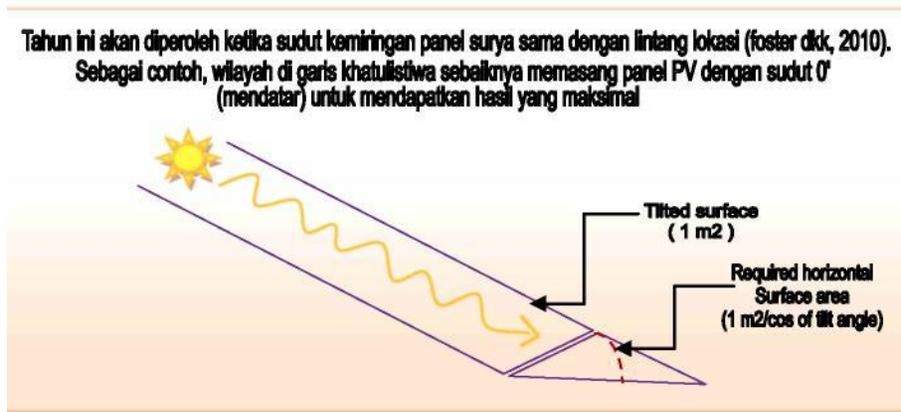
1°C akan mengurangi sekitar 0,5% dari total daya yang dihasilkan (Foster dkk, 2010).

2. Orientasi pemasangan panel fotovoltaik

Orientasi pemasangan dari rangkaian panel fotovoltaik ke arah datangnya sinar matahari adalah penting untuk diperhatikan dengan baik. Hal ini berhubungan agar panel fotovoltaik dapat menghasilkan jumlah energi yang maksimum. Sinar matahari bergerak di jalur khatulistiwa. Misalnya untuk daerah yang terletak dibagian lintang utara bumi disarankan untuk menghadapkan panel fotovoltaik mencondong ke arah selatan agar mendapatkan sinar matahari yang lebih maksimal, begitupun sebaliknya. Untuk daerah Kabupaten Balantak yang terletak di sekitar kawasan 2° LS sebaiknya mengorientasikan pemasangan panel fotovoltaik ke arah utara.

3. Sudut kemiringan panel fotovoltaik

Dalam pemasangan panel fotovoltaik adalah penting untuk memperhatikan sudut kemiringan panel fotovoltaik untuk mendapatkan sinar matahari yang lebih maksimal. Untuk sudut panel fotovoltaik dengan kemiringan tetap, daya maksimum selama satu tahun akan diperoleh ketika sudut kemiringan panel surya sama dengan lintang lokasi (Foster dkk, 2010

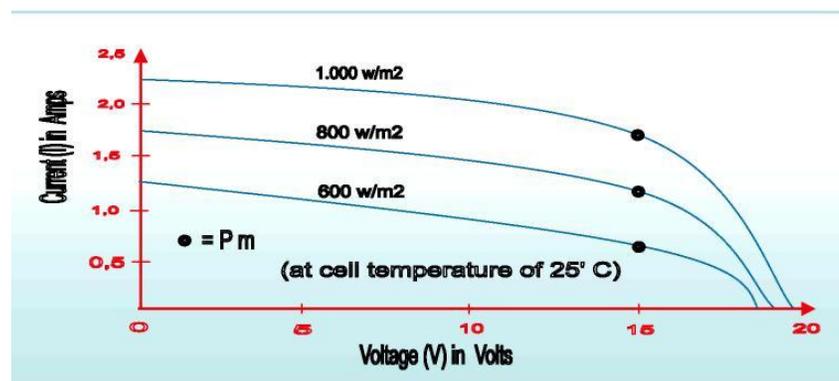


Gambar 8. Pengaruh Sudut Kemiringan untuk Panel Fotovoltaik

(Steven J Strong, *The Solar Electric House*)

4. Intensitas cahaya matahari

Intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel fotovoltaik akan berpengaruh pada daya keluaran panel fotovoltaik. Semakin rendah intensitas cahaya matahari yang diterima panel fotovoltaik maka akan semakin rendah pula arus (I_{sc}) yang dihasilkan oleh panel fotovoltaik tersebut. Tentunya hal tersebut akan menurunkan titik maksimum (maximum power point)



Gambar 9. Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari untuk Panel

Fotovoltaik (Foster, *Solar Energy Renewable Energy and the Environment*)

b. *Uno Charger Control (UCC)*

Fungsi dari control ini adalah untuk mengontrol aliran arus dari susunan modul fotovoltaik ke pengisian baterai dan melindungi baterai dari tingkat pengisian yang diperbolehkan, mencegah dari kejadian pengisian berlebihan ataupun kekurangan. Karena ini akan mengakibatkan kerusakan pada baterai, selanjutnya karakteristik bisa menurun, ini berarti bisa memperpendek umur baterai. Sekarang banyak sekali system control yang ampuh, mampu mengontrol fungsi control system secara keseluruhan (Abubakar dkk.,2006).

Alat ini juga memiliki kemampuan untuk melihat tegangan dan kapasitas dari baterai pada saat baterai *discharge* (baterai mensuplai beban) pada saat malam hari. Jika tegangan dan atau kapasitas baterai diluar batas kemampuan, maka *charge controller* akan memutus beban sehingga baterai tidak terbebani dengan kondisi minimum kapasitas.

c. *Inverter*

Pada prinsipnya, fotovoltaik menghasilkan arus DC. Bila arus yang dibutuhkan arus AC, maka dapat dipenuhi dengan memasang suatu alat pengubah, peralatan elektronik yang bekerja sangat efisien, disebut *inverter* (Abubakar dkk.,2006). Pemilihan *inverter* yang tepat untuk aplikasi tertentu tergantung pada kebutuhan beban dan juga kepada sistem itu sendiri; apakah sistem yang berdiri sendiri (*stand alone system*). Efisiensi *inverter*

pada saat pengoperasian adalah sekitar 90%.

Ada tiga kategori *inverter*, yaitu: *grid-tied*, *grid-tied* dengan baterai cadangan, dan *stand-alone*. Kedua jenis *inverter* yang pertama adalah *inverter line-tied*, yang digunakan dengan sistem panel surya *utility-connected*. Jenis yang ketiga adalah *stand-alone* atau *inverter off-grid*, diciptakan untuk berdiri sendiri (tidak bergantung). Penggolongan yang lain untuk *inverter* adalah jenis dari gelombangnya, yaitu:

1. *Inverter* Gelombang Persegi. Sakelar unit ini langsung pada arus searah ke daya arus bolak balik “persegi” dan hanya terdapat sedikit daya tegangan control, dengan kemampuan yang terbatas, dan distorsi yang harmonik. Konsekuensinya, *inverter* persegi hanya sesuai untuk pemanasan beban resistif yang kecil, beberapa peralatan kecil, dan lampu pijar. *Inverter* ini tidak mahal dan dapat membakar motor pada peralatan dan tidak digunakan untuk system residen.
2. *Inverter* Gelombang Persegi Modifikasi. *Inverter* jenis ini menggunakan *Field Effect Transistor* (FET) atau *silicon-controlled rectifiers* (SCR) untuk sakelar arus searah dan arus bolak-balik serta dapat menangani *surge* (pergerakan seperti gelombang) dan menghasilkan daya dengan sedikit *harmonic distortion*. Gaya *inverter* ini lebih cocok untuk menjalankan berbagai variasi muatan, termasuk motor, cahaya, dan peralatan elektronik seperti televise

dan stereo.

3. Gelombang Sinus. *Inverter* ini berfungsi untuk mengoperasikan perangkat elektroik sensitive yang memerlukan kualitas tinggi *waveform* dan diciptakan khusus untuk memproduksi daya dengan sedikit *harmonic distortion* juga digunakan dalam penerapan *grid-tied*. Terdapat beberapa *inverter* pada penerapan residential dan mempunyai banyak kelebihan dari *inverter* gelombang persegi yang dapat dimodifikasi.

Inverter digunakan untuk mengubah daya DC menjadi daya AC, kebalikan dari penyearah yang mengubah daya AC menjadi daya DC disebut konverter. *Inverter* zat padat memberikan metode yang efisien dan ekonomis untuk memperoleh perubahan dari DC ke AC (Gunawan,1984).

Rangkaian *inverter* pada dasarnya adalah tipe pencincang (*chopper*). Dalam rangkaian pencincang, catu DC secara bergantian dibuka dan ditutup atau di cincang oleh alat pensaklaran seperti transistor dan SCR. Dengan mengubah balik perbandingan waktu on dan off dari alat pensakelaran, maka tegangan rata-rata dan frekuensi keluaran pencincang dapat dikendalikan (Gunawan,1984).

d. Baterai

Komponen yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan dari penyerapan sinar matahari oleh panel surya adalah baterai.

Energi listrik yang disimpan di dalam baterai dapat berguna untuk tetap menyediakan energi listrik saat cahaya matahari tidak terpancarkan secara maksimal seperti saat langit mendung atau hujan dan di malam hari. Baterai yang digunakan untuk PLTS mengalami siklus pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*) tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Selama ada sinar matahari maka panel surya akan menghasilkan energi listrik. Apabila energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya melebihi kebutuhan energi listrik maka kelebihan energi listrik itu akan disimpan dalam baterai. Sebaliknya, saat kebutuhan energi listrik melebihi dari energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya maka cadangan energi dari baterai dapat diberikan untuk memenuhi kekurangan energi listrik.

Baterai merupakan sumber listrik yang diperoleh melalui suatu proses kimia, untuk mendapatkan energi listrik dengan waktu yang lama, maka dibutuhkan pelat positif dan plat negatif cukup banyak. Pelat positif dan pelat negatif disusun berkelompok, kemudian dirapatkan satu sama lain dan tidak mengadakan hubungan satu terhadap yang lain. Pembuatan pelat positif dan pelat negatif terdiri dari suatu rangka yang dibuat bahan campuran timah dan antimon. Rangka itu mempunyai rusuk-rusuk yang berbentuk segi empat miring. Campuran timah untuk pelat positif dan campuran oksida timah dengan *loodlight* untuk pelat negatif dapat menempel pada rangka pelat dengan baik (Abubakar dkk., 2006)

Ada dua jenis baterai isi ulang yang bisa digunakan dalam system PLTS yaitu baterai asam timbal (*lead acid*) dan baterai *nickel-cadmium*. Baterai jenis *nickel-cadmium* ini lebih sedikit digunakan dalam sistem PLTS karena baterai jenis ini memiliki efisiensi yang rendah dan biaya yang lebih tinggi. Sedangkan untuk baterai jenis asam timbal lebih banyak digunakan dalam sistem PLTS karena memiliki efisiensi tinggi dan biayanya lebih murah dibandingkan jenis baterai *nickel-cadmium*. Baterai jenis asam timbal akan menjadi perangkat penyimpanan dalam system PLTS yang diperkirakan masih digunakan untuk tahun-tahun berikut terutama untuk system PLTS ukuran menengah dan besar (Messenger dan Vetre, 2005).

Baterai terbentuk oleh sekelompok elemen atau sel yang diletakkan secara seri. Baterai timbal-asam terdiri dari dua elektroda timbal yang berada dalam larutan elektronik air dan asam sulfat. Perbedaan potensi sekitar 2 volt terjadi di antara elektroda, tergantung pada nilai seketika kondisi penyimpanan baterai. Baterai yang paling umum dalam aplikasi surya fotovoltaik mempunyai tegangan nominal sebanyak 12 atau 24 volt, maka sebuah baterai 12V berisi 6 sel secara seri

([Http://www.pemanfaatan_energi_surya.com](http://www.pemanfaatan_energi_surya.com))

Baterai memenuhi dua tujuan penting dalam system fotovoltaik, yaitu untuk memberikan daya listrik kepada system ketika daya tidak disediakan oleh *array* panel-panel surya, dan untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel-panel setiap kali daya itu melebihi beban. Baterai

tersebut mengalami proses siklus menyimpan dan mengeluarkan, tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Selama waktu adanya matahari, *array* panel menghasilkan daya listrik.

Daya yang tidak digunakan dengan segera dipergunakan untuk mengisi baterai. Selama waktu tidak ada matahari, permintaan daya listrik disediakan oleh baterai ([Http//www.pemanfaatan energi surya.com](http://www.pemanfaatan_energi_surya.com)).

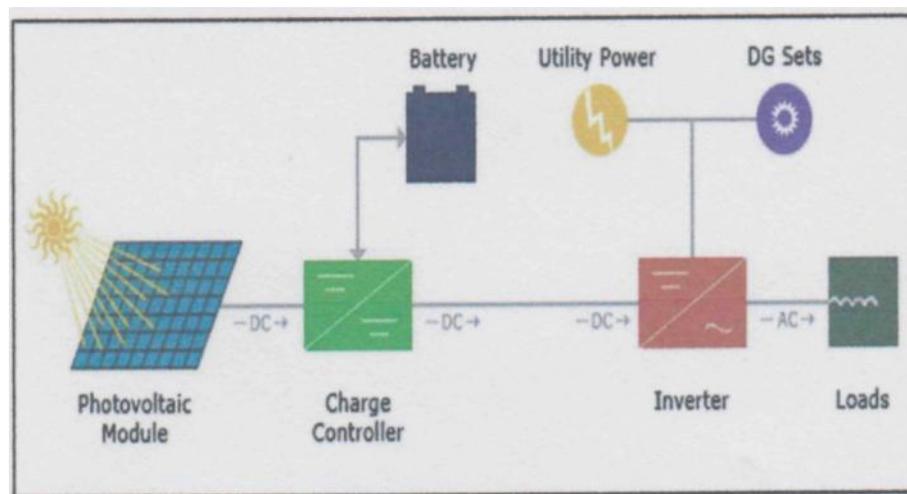
Jika baterai tidak menyimpan cukup daya untuk memenuhi permintaan selama periode tidak adanya matahari, system akan kehabisan daya dan tidak siap memenuhi konsumsi. Di sisi lainnya memperbesar sistem (dengan menambahkan terlalu banyak panel dan baterai) mahal dan tidak efisien. Ketika mendesain sistem yang mandiri, kita perlu mengkompromikan antara biaya komponen dengan ketersediaan daya dari sistem. Satu cara untuk melakukan ini adalah memperkirakan jumlah hari dimana sistem beroperasi secara mandiri ([Http//www.pemanfaatan energi surya.com](http://www.pemanfaatan_energi_surya.com)).

Umumnya kapasitas baterai itu dinyatakan dalam Ampere-hour (Ah). Nilai Ah pada baterai menunjukkan arus yang dapat dilepaskan dikalikan dengan nilai waktu untuk pelepasan arus tersebut. Sebagai contoh dari teori ini misalnya baterai dengan criteria 2 V dan 800 Ah. Baterai tersebut akan mampu memberikan arus yang terbaik sebesar 800 A dalam 1 jam, 400 A dalam 2 jam, atau 16 A dalam 50 jam. Selain itu, penting untuk memperhatikan ukuran hari-hari otonomi dalam mendesain kapasitas baterai yang ingin digunakan dalam system PLTS (Polar Power Inc, 2011).

E. Sistem PLTS

Pada umumnya sistem PLTS terbagi menurut konfigurasi komponennya. Sistem PLTS yang dikenal secara luas ada 2 jenis yaitu sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik lainnya dalam memenuhi energy listrik di satu tempat (*grid connected*). Sistem PLTS jenis kedua adalah system PLTS yang berdiri sendiri dalam memenuhi energi listrik di satu tempat (*stand-alone*).

1. PLTS *Grid Connected*



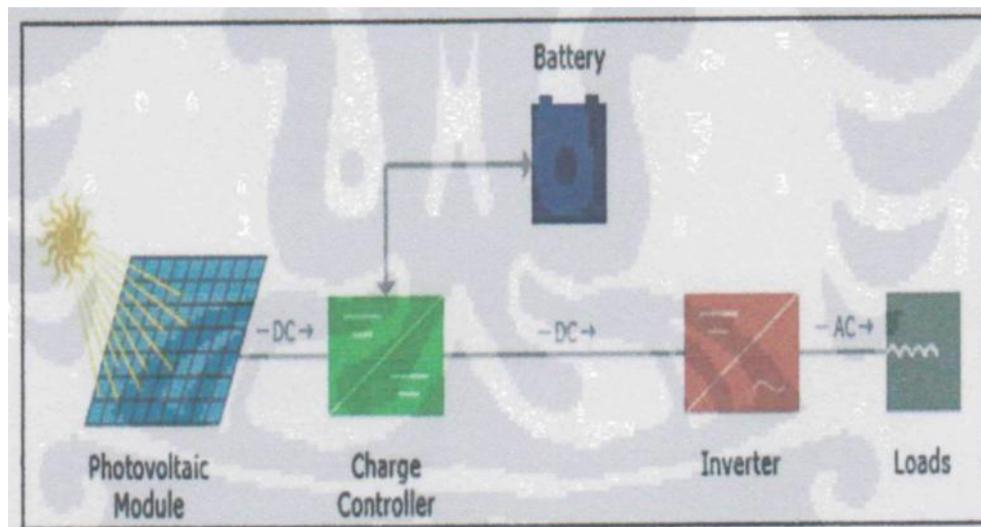
Gambar 10. Sistem PLTS *Grid Connected* dengan Jaringan Listrik Konvensional dan EBT

[http://www.synergvenviron.com/resources/solar photovoltaic systems.asp](http://www.synergvenviron.com/resources/solar%20photovoltaic%20systems.asp)

Pengertian sistem PLTS jenis *grid connected* adalah penggabungan sistem PLTS dengan jaringan listrik lainnya, baik jaringan listrik konvensional

maupun jaringan listrik dari sistem energi baru terbarukan. Komponen yang berperan penting dalam system ini adalah inverter (*power conditioning unit*). Inverter ini berfungsi untuk mengubah arus DC yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus AC yang disesuaikan dengan persyaratan sesuai jaringan listrik yang terhubung dengan sistem PLTS.

2. PLTS *Stand Alone*



Gambar 11. Sistem PLTS *Stand- Alone*

http://www.synergvenviron.com/resources/solar_photovoltaic_systems.asp

Sistem PLTS *stand alone* adalah jenis system PLTS yang dirancang untuk beroperasi untuk menghasilkan energi listrik secara mandiri dalam memenuhi kebutuhan beban listrik di satu tempat. Dengan kata lain, jenis pembangkit listrik hanya diaktifkan dari satu jaringan listrik yaitu system panel sel surya. Komponen yang paling berperan penting dalam system

PLTS *stand alone* adalah baterai karena alat ini dipakai untuk penyimpanan dan penyaluran cadangan energi listrik yang dihasilkan.

F. Efisiensi Sel Surya

Saat ini, efisiensi sel surya dapat dibagi menjadi efisiensi sel surya komersial dan efisiensi sel surya skala laboratorium. Sel surya komersial yang sudah ada di pasaran memiliki efisiensi sekitar 12-15%. Sedangkan efisiensi sel surya skala laboratorium pada umumnya 1,5 hingga 2 kali efisiensi sel surya skala komersil. Hal ini disebabkan pada luas permukaan sel surya yang berbeda. Pada sel surya di pasaran, sel yang dipasarkan pada umumnya memiliki luas permukaan 100 cm^2 yang kemudian dirangkai menjadi modul surya yang terdiri dari 30-40 buah sel surya. Dengan semakin besarnya luas permukaan sel surya, maka sudah menjadi pengetahuan umum jika terdapat banyak efek negatif berupa resistansi sirkuit, cacat pada sel dan sebagainya, yang mengakibatkan terdegradasinya efisiensi sel surya ([Http://www.pemanfaatan_energi_surya.com](http://www.pemanfaatan_energi_surya.com)).

Pada sel surya skala laboratorium, luas permukaan sel yang diuji hanya berkisar kurang dari 1 cm^2 . Hal ini dimaksudkan untuk melihat kondisi ideal sel surya yang bebas dari cacat maupun resistansi ketika dihubungkan ke sebuah sirkuit. Disamping itu, kecilnya luas permukaan sel surya memudahkan proses pembuatannya di mana alat yang dipakai di dalam laboratorium ialah alat yang berukuran kecil (Kadir, 2010). Adapun rumus

untuk efisiensi konversi energi:

$$\eta = \frac{\mu I}{P \cdot a} \quad (2)$$

di mana η = efisiensi konversi

μ = tegangan yang dibangkitkan sel surya

I = arus sel surya

P = rapat daya matahari yang jatuh pada sel surya

a = luas sel surya

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada rancangan alat konversi yang dilakukan oleh Hasan dan Erika (2012), menyimpulkan bahwa rancangan alat tersebut memiliki nilai efisiensi yang cukup baik. Efisiensi kolektor tertinggi mencapai 83,92% sedangkan terendah mencapai 22,55% dengan rata-rata 57%. Dan Efisiensi sistem dari alat konversi tersebut tertinggi mencapai 0,01% sedangkan terendah mencapai 0,0022% dengan rata-rata efisiensi sebesar 0,0053%.

G. Perhitungan Komponen Energi Surya

1. Kapasitas Energi

Kapasitas energi listrik yang dihasilkan sistem PLTS adalah gabungan dari kapasitas setiap komponen dalam sistem PLTS. Daya (*watt peak*) yang dapat dibangkitkan oleh sebuah sistem PLTS dalam menghasilkan energi listrik dapat dihitung dengan persamaan di bawah inii (Ahmad, 2003).

$$\frac{E_L}{G_{av} \times \eta_{pv} \times T_{CF} \times \eta_{out}} = PV \text{ Area} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

E_L = pemakaian energi (kWh/hari)

G_{av} = insolasi cahaya harian matahari (kWh/m²)

η_{pv} = efisiensi panel surya (%)

T_{CF} = *temperature correction factor*

η_{out} = efisiensi sistem keseluruhan panel surya (baterai dan inverter)

Dari perhitungan PV area di atas, maka besar daya yang dibangkitkan PLTS (watt peak) dapat dihitung dengan rumus di bawah ini (Ahmad, 2003).

$$P_{peak \text{ power}} = PV \text{ area} \times PSI \times \eta_{pv} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

$P_{peak \text{ power}}$ = daya yang dibangkitkan (wp)

PSI = peak solar insolation (1000 w/m²)

Selanjutnya untuk mendapatkan angka jumlah panel surya yang dibutuhkan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\frac{P_{peak \text{ power}}}{P_{MPP}} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana:

P_{MPP} = daya maksimum keluaran (output) dari satu panel surya (wp)

Untuk memperoleh besar tegangan, arus dan daya yang sesuai dengan kebutuhan, maka panel-panel surya tersebut harus dikombinasikan sedemikian rupa dalam pemasangannya baik secara seri maupun paralel. Adapun ketentuannya adalah sebagai berikut:

- a. Untuk memperoleh tegangan yang keluar dari panel menjadi lebih besar maka dua buah (lebih) panel surya harus dihubungkan secara seri.
- b. Untuk memperoleh arus yang keluar dari panel menjadi lebih besar maka dua buah (lebih) panel surya harus dihubungkan secara paralel.
- c. Untuk memperoleh daya yang keluar dari panel menjadi lebih maksimal dan dalam tegangan yang konstan maka panel-panel surya harus dihubungkan secara seri dan paralel.

1.1. Menentukan Jumlah Hubungan Seri Modul Surya

Daya generator modul surya yang telah dihitung harus dinyatakan terlebih dahulu sebagai hasil perhitungan sementara. Generator modul surya merupakan kombinasi hubungan seri dan paralel modul-modul surya. Langkah penting berikutnya adalah menentukan jumlah modul surya yang harus dihubungkan seri dan paralel.

Jumlah modul yang harus dihubungkan seri ditentukan oleh tegangan masukan inverter, dengan rumus:

$$J_S = \frac{V_{INV}}{V_{MF}} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

J_s = jumlah seri modul surya

V_{INV} = tegangan masukan inverter (volt)

V_{MF} = tegangan maksimum modul surya (volt)

Bilangan J_s harus merupakan bilangan bulat (integer). Bila didapatkan bilangan pecahan, maka bilangan tersebut harus dibulatkan, sehingga diperoleh:

$$V_{GPV} = J_s \times V_{MF} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana

V_{GPV} = adalah tegangan generator modul surya dalam Volt.

1.2. Menentukan Jumlah Modul Surya Dalam Hubungan Paralel

Suatu string terdiri dari J_s modul surya dalam hubungan seri. Untuk memperoleh daya total generator fotovoltaik sebesar P_{GPV} , maka dibutuhkan jumlah string, sebagai berikut:

$$J_p = \frac{P_{GPV}}{V_{GPV} \cdot I_{MF}} \dots\dots\dots (8)$$

Bila diperoleh bilangan pecahan, J_p dibulatkan keatas, arus nominal generator fotovoltaik (I_{GPV}) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$I_{GPV} = J_p \times I_{MF} \dots\dots\dots (9)$$

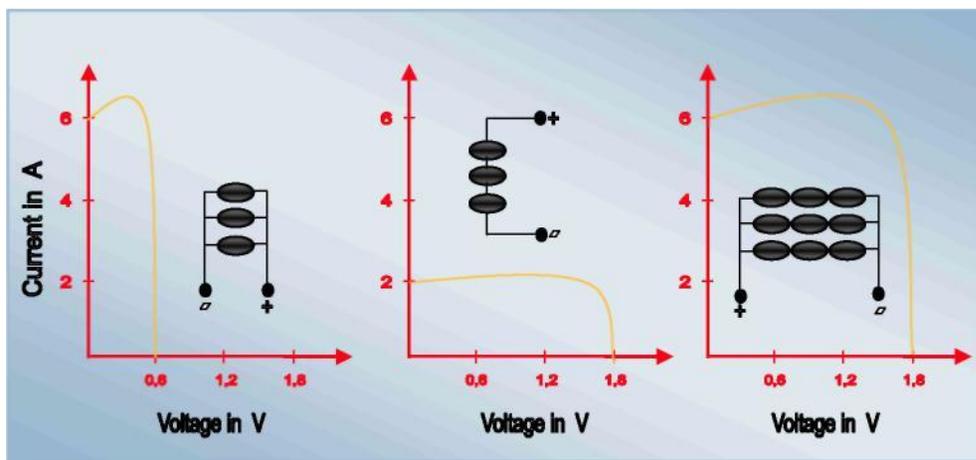
Setelah ditentukan JS dan JP, maka daya generator fotovoltaik terpasang dihitung kembali menggunakan persamaan:

$$P_{\text{GPV}} = V_{\text{GPV}} \times I_{\text{GPV}} \text{ (watt peak) } \dots\dots\dots (10)$$

Sedangkan jumlah susunan modul fotovoltaik (N) yang terpasang adalah:

Dimana:

- JP = jumlah string modul fotovoltaik
- P'GPV = daya generator fotovoltaik (watt)
- VGPV = tegangan generator fotovoltaik (volt)
- IMF = arus maksimum modul fotovoltaik (ampere)



Gambar 12. Hubungan Jaringan Listrik Panel Surya

2. Kapasitas Baterai

Besar Kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk memenuhi konsumsi energi harian menurut Lynn (2010) dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Battery storage} = \frac{N \times E_d}{V_s \times DOD \times \eta_{pv}} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana:

E_d = konsumsi energi harian (kWh)

N = harian mendung selama 1 minggu

V_s = tegangan baterai (volt)

DOD = kedalaman maksimum untuk pengosongan baterai (80%)

η_{pv} = efisiensi panel surya

3. Kapasitas *Inverter*

Untuk mendapatkan *inverter* yang baik dalam sistem PLTS, diusahakan untuk memilih kapasitas *inverter* yang sesuai dengan kapasitas daya PLTS yang akan diterimanya. Hal ini penting untuk diperhatikan agar efisiensi kerja *inverter* dapat menjadi maksimal (Foster, 2010)

4. Kapasitas *Charge Controller*

Charge Controller diperlukan untuk melindungi baterai dari pengosongan dan pengisian yang berlebihan. Daya masukan atau keluaran yang diterima *charge controller* hendaknya disesuaikan dengan arus keluaran dari panel surya (I_{MPP}) dan tegangan baterai (V_B) (Messenger dan Ventre, 2005)

H. Perhitungan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Kemampuan hantar arus (menurut SNI 04-0225-2000) atau kuat hantar arus (menurut SPLN 70-4 : 1992) suatu penghantar dibatasi dan ditentukan berdasarkan batasan-batasan dari aspek lingkungan, teknis material serta batasan pada konstruksi penghantar tersebut yaitu: temperatur lingkungan, jenis penghantar, batas kemampuan termis isolasi, faktor tiupan angin dan faktor disipasi panas media lingkungan.

Apabila terjadi penyimpangan pada ketentuan batasan tersebut diatas, maka kemampuan hantar arus atau kuat hantar arus penghantar arus di koreksi. Untuk menentukan kuat arus dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$P = V \times I \times \cos \emptyset \quad \dots\dots\dots (13)$$

Dimana:

P = Daya Listrik (Watt)

V = Tegangan Listrik (Volt)

I = Kuat arus Listrik (Ampere)

Cos \emptyset = Faktor kerja (untuk arus listrik AC 1 phasa = 0,8)

$$I = \frac{P}{V \times \cos \emptyset} \quad \dots\dots\dots (14)$$

Dalam Perencanaan ini menggunakan jenis penghantar saluran udara, menurut PT. PLN (Persero) 2010, yang perlu diperhatikan adalah:

1. Penghantar tidak terisolasi AAAC, AAC, ACSR. (ACSR tidak secara luas dipergunakan sebagai penghantar saluran udara)
2. Penghantar berisolasi AAAC-S, NAAXSEY. (Kabel pilin tegangan menengah)
3. Pengantar LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*) NFAAX

Tiang pada jaringan distribusi tenaga listrik berfungsi sebagai tumpuan penghantar, menerima gaya-gaya mekanis akibat:

1. Berat penghantar dan peralatan
2. Gaya tarik dari penghantar (*tensile strength*)
3. Tiupan angin
4. Akibat penghantar lain

Besarnya gaya-gaya tersebut berbeda sesuai dengan fungsi tiang (tiang awal/ujung), tiang tengah, tiang sudut) dan luas penghantar. Baik tiang besi atau tiang beton mempunyai kekuatan tarik (*working load*) sesuai standard yang berlaku saat ini yaitu 160 daN, 200 daN, 350 daN, 800 daN, 1200 daN dimana daN adalah deka Newton atau setara dengan 1,01 kg gaya (massa x gravitasi).

Penggunaan tiang disesuaikan dengan fungsi tiang (tiang awal/akhir, tiang sudut, tiang penyanggah, tiang peregang, tiang seksi). Tiang ditanam 1/6 kali panjang tiang, dengan sudut kemiringan tidak melebihi 5°. Fondasi tiang dipakai untuk tiang awal, tiang akhir, Gardu Portal/Cantol, tiang sudut.

Ukuran pondasi disesuaikan dengan besar/kuat tarik tiang (daN) dan daya dukung jenis tanah.

Konstruksi pada tiang (*Pole Top Construction*) dilakukan minimal 15 cm dibawah ujung tiang bagian atas. Jarak pendirian tiang (*pole staking*) atau antar-gawang diatur sebagai berikut:

- Dalam kota : maksimum 40 meter
- Luar kota : maksimum 50 meter
- Listrik desa : maksimum 60 meter

Pemakaian panjang tiang adalah 11, 12, 12 dan 14 meter untuk jaringan tegangan menengah dengan kekuatan beban kerja (*working load*) 200 daN, 350 daN, 500 daN dan 800 daN.

I. Parameter-parameter Analisa Keekonomian PLTS

Saat seseorang ingin melakukan investasi sebuah proyek, maka orang tersebut melihat kondisi saat ini dan berharap dari proyek yang akan dijalankan akan mendapatkan peningkatan kesejahteraan (keuntungan) di masa mendatang. Sehingga saat berbicara mengenai pengembalian dari investasi maka hal yang menjadi perhatian adalah hasil perubahan dari keuntungan yang didapat. Menurut Frank Reilly dan Keith C. Brown, durasi waktu terjadinya investasi adalah sebagai waktu penanaman modal (*holding period*). Jadi, periode pengembalian penanaman modal itu dinamakan HPR

(Holding Period Return) yang memiliki persamaan perhitungan di bawah ini.

$$\frac{\text{nilai akhir investasi}}{\text{nilai awal investasi}} = HPR \dots\dots\dots (15)$$

Nilai HPR yang didapatkan akan selalu lebih besar dari atau sama dengan nol dan tidak negatif. Bila nilai HPR yang didapat lebih besar dari 1 maka hal tersebut berarti terjadi peningkatan kesejahteraan (keuntungan) untuk orang itu terkait dengan proyek yang direncanakannya. Sebaliknya bila nilai HPR yang didapatkan lebih kecil dari 1 atau 0, hal tersebut berarti orang itu tidak akan mendapatkan keuntungan dari proyek yang direncanakannya itu, karena orang tersebut akan kehilangan semua uangnya selama masa investasi proyek.

1. **Net Present Value**

Net Present Value (NPV) adalah sebuah nilai yang menunjukkan jumlah yang akan dihasilkan dari sebuah investasi. NPV diukur dengan menjumlahkan semua alur kas sepanjang waktu dari periode nol atau yang disebut investasi (bernilai negatif) hingga periode terakhir. Nilai alur kas yang dihitung untuk mendapatkan NPV adalah penjumlahan nilai uang di periode nol atau yang dikenal dengan *present value* dengan nilai alur kas bersih (pemasukan dikurangi pengeluaran) yang dihitung menggunakan *present worth factor* sebagai patokan dalam mencari nilai yang seimbang dari nilai yang ada di masa sekarang.

Keterangan pengambilan keputusannya adalah sebagai berikut:

- a. Jika nilai NPV yang didapatkan adalah positif maka proyek tersebut layak dilaksanakan karena hal itu mengindikasikan bahwa perhitungan investasi proyek itu telah mencapai kondisi yang mampu memberi keuntungan sampai periode yang diperhitungkan.
- b. Jika nilai NPV yang didapatkan adalah negatif maka proyek tersebut tidak layak dilaksanakan karena hal itu mengindikasikan bahwa perhitungan investasi proyek itu belum mencapai kondisi yang mampu memberikan keuntungan sampai periode yang diperhitungkan.
- c. Jika NPV yang didapatkan adalah 0 maka itu berarti dalam sepanjang periode perhitungan investasi yang dilakukan maka proyek tersebut telah memberikan hasil yang sebanding dengan nilai investasi yang dikeluarkan.

2. *Discounted Payback Period*

Payback period adalah periode lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan-penerimaan yang dihasilkan oleh proyek. *Discounted payback period* (DPP) adalah periode pengembalian uang yang dihitung dengan menggunakan *discount factor*. DPP dapat dicari dengan menghitung berapa tahun alur kas bersih nilai sekarang kumulatif yang ditaksir akan sama dengan investasi awal.

Kriteria pengambilan keputusan apakah proyek yang ingin dijalankan layak atau tidak layak untuk metode ini adalah:

- a. Investasi proyek akan dinilai layak apabila DPP memiliki periode waktu lebih pendek dari umur proyek.
- b. Investasi proyek belum dinilai layak apabila DPP memiliki periode waktu lebih panjang dari umur proyek.

J. Biaya Penyediaan Tenaga Listrik

Listrik merupakan salah satu komoditi strategis dalam perekonomian Indonesia karena selain digunakan secara luas oleh masyarakat terutama untuk keperluan penerangan, listrik juga merupakan salah satu sumber energi utama bagi sektor industri. Oleh karena itu, Pemerintah menaruh perhatian yang cukup besar terhadap harga penjualan listrik kepada konsumen, mengingat perubahan harga listrik akan mempunyai dampak yang cukup signifikan terhadap kenaikan harga-harga umum, yang pada gilirannya akan berpengaruh juga terhadap perekonomian secara makro. Salah satu faktor yang menentukan tingkat harga penjualan listrik adalah biaya penyediaan tenaga listrik (Makmun dan Rahayu, 2007).

Pemilihan biaya penyediaan tenaga listrik didasarkan atas fungsi (vertikal), sifat dan area (horisontal). Berdasarkan atas fungsi biaya dapat dibedakan atas pembangkitan, transmisi dan distribusi, sedangkan berdasarkan sifat biaya dapat dibedakan atas biaya tetap (*fixed cost*) dan

biaya variabel (*variable cost*). Adapun biaya berdasarkan area dapat dibedakan atas biaya pengadaan listrik untuk daerah Jawa, dan biaya pengadaan listrik untuk daerah Sumatra dan lain-lain (Makmun dan Rahayu, 2007).

Sebagaimana biaya pada sektor-sektor lain, biaya pengadaan listrik juga dapat mengalami perubahan, yang antara lain dapat disebabkan oleh permintaan (*demand*) yaitu perubahan biaya yang disebabkan oleh perubahan permintaan per kWh, misalnya biaya tetap (*fixed*) operasional dan pemeliharaan, pembayaran tetap (*fixed payment*) ke IPP, dan depresiasi. Selain disebabkan oleh permintaan, perubahan biaya juga dapat disebabkan oleh perubahan kWh energi yang diproduksi, misalnya biaya untuk bahan bakar (*fuel*), biaya variabel operasional dan pemeliharaan, variabel pembayaran ke IPP. Faktor lain yang menyebabkan perubahan biaya adalah faktor pelanggan (*customer*) di mana biaya berubah sesuai dengan jumlah konsumen, misalnya penagihan, metering, dan pelayanan (Makmun dan Rahayu, 2007).

Tarif dasar listrik (TDL) pada dasarnya merupakan instrumen yang bisa mempengaruhi sisi permintaan dan sisi penawaran. Dilihat dari sisi permintaan, TDL yang menarik bagi konsumen adalah TDL yang rendah, sebaliknya, dari sisi penawaran, TDL yang menguntungkan bagi investor adalah TDL yang tinggi (Makmun dan Rahayu, 2007).

Berkenan dengan kenaikan TDL yang ditetapkan dalam Tahun 2000 dan 2001, TDL rata-rata Tahun 2001 naik menjadi Rp. 344,55/kWh. Namun demikian, harga jual rata-rata tersebut tetap di bawah harga jual pokok, yang mencapai sebesar Rp. 419,40/kWh. Sebagai akibatnya, konsumen listrik harus tetap diberi subsidi rata-rata sebesar Rp. 85/kWh (Makmun dan Rahayu, 2007).

Menurut Makmun dan Rahayu (2007), di samping masih rendahnya TDL yang berlaku di Indonesia, masalah lain yang dihadapi oleh PT. PLN (Persero) adalah diterapkannya *uniform rate* untuk semua jam pemakaian listrik. Dengan kata lain, tidak ada perbedaan TDL untuk pemakaian pada masa beban puncak (malam hari) dan pemakaian bukan beban puncak (siang hari). Padahal sudah bisa diduga bahwa pada masa beban puncak, biaya operasional yang ditanggung oleh PT. PLN (Persero) akan jauh lebih tinggi dibandingkan dengan biaya operasional pada masa bukan beban puncak. Hal ini yang menyebabkan menurunnya kinerja keuangan perusahaan, juga menyebabkan terbatasnya dana yang tersedia untuk melakukan investasi.

K. Pengembangan Listrik Perdesaan

Energi merupakan salah satu faktor yang penting dalam meningkatkan kegiatan ekonomi. Dengan tersedianya energi, peluang untuk melakukan kegiatan produktif dengan memanfaatkan potensi sumber daya setempat

cukup banyak. Dengan demikian aksesibilitas terhadap energi sangat dibutuhkan oleh masyarakat perdesaan sehingga kegiatan ekonomi dapat ditingkatkan. Namun demikian, dalam pelaksanaannya cukup banyak kendala yang dihadapi dalam penyediaan energi perdesaan. Dengan semakin mahalnya sumber energi yang tersedia, mengakibatkan semakin sulitnya sumber energi tersebut terjangkau oleh masyarakat perdesaan yang sebagian besar masih berada di bawah garis kemiskinan (Makmun dan Rahayu, 2007).

Pemanfaatan energi secara nasional sampai saat ini masih terfokus kepada penyediaan listrik di perkotaan, dan terlupakannya perencanaan energi bagi masyarakat perdesaan. Berdasarkan data statistik PT.PLN (Persero), dalam Tahun 2004 rasio jumlah kepala keluarga berlistrik dibandingkan total kepala keluarga baru mencapai 56%. Sedangkan apabila dilihat dari jumlah desa yang belum teraliri listrik, saat ini terdapat kurang lebih 10.599 desa dengan sekitar 20 ribu kepala keluarga yang belum menikmati listrik (Makmun dan Rahayu, 2007).

Di sisi lain, pemanfaatan energi yang komprehensif dan terdesentralisasi dengan baik, akan memberikan manfaat bagi pembangunan berkelanjutan secara menyeluruh. Untuk itu, dalam rangka memenuhi kebutuhan rumah tangga khususnya di daerah perdesaan yang belum terjangkau oleh listrik, ke depan perlu diupayakan dengan menggunakan energi alternatif yaitu energi terbarukan seperti PLTS (Pembangkit Tenaga

Surya) (Makmun dan Rahayu, 2007).

Berdasarkan Undang-Undang Nomor: 15 dan Peraturan Pemerintah Nomor: 3 Tahun 2005 tentang Ketenagalistrikan, menetapkan PT. PLN (Persero) sebagai Pemegang Kuasa Usaha Kelistrikan bertanggungjawab dalam penyediaan tenaga listrik dan pengembangan penyediaan tenaga listrik. Untuk daerah perdesaan dan terisolasi, Pemerintah Pusat dan Daerah juga bertanggung jawab pada upaya penyediaan tenaga listrik sedangkan penyediaan tenaga listrik di luar gird nasional dimungkinkan dilakukan oleh pihak lain atau kerjasama dengan PT.PLN (Persero), sebagai Pemegang Kuasa Usaha Kelistrikan (PKUK).

Permasalahan yang dihadapi oleh pemerintah adalah masih rendahnya kemampuan pendanaan untuk pembangunan infrastruktur. Di sisi lain subsidi listrik ke pada kelompok rumah tangga dari tahun ke tahun meningkat cukup besar. Untuk itu perlu dipikirkan sumber pendanaan yang lebih kondusif baik bagi PT. PLN (Persero) sebagai PKUK maupun pihak lain untuk melakukan investasi tenaga listrik, khususnya di daerah yang belum berlistrik (Makmun dan Rahayu, 2007).

L. Kebijakan Pemerintah Dalam Pembangunan Listrik Perdesaan

Kebijakan pembangunan listrik perdesaan ditujukan terutama untuk menjaga kelangsungan bantuan bagi kelompok masyarakat tidak mampu, menjaga kelangsungan perluasan akses pelayanan listrik pada wilayah yang

belum terjangkau listrik, mendorong pembangunan/pertumbuhan ekonomi dan meningkatkan kesejahteraan rakyat (Makmun dan Rahayu,2007).

Adapun dasar hukum pengembangan listrik perdesaan diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor: 26 Tahun 2006 tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Pemerintah Nomor: 10 Tahun 1989 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik dalam pasal 2A PP Nomor: 26 Tahun 2006, disebutkan bahwa:

“Pemerintah dan atau pemerintah daerah menyediakan dana pembangunan sarana penyediaan tenaga listrik untuk membantu kelompok masyarakat tidak mampu, pembangunan sarana penyediaan tenaga listrik di daerah belum berkembang, pembangunan tenaga listrik di daerah terpencil, perbatasan antar Negara dan pembangunan listrik perdesaan” (Makmun,Sri Lestari Rahayu,2007).

Menurut Makmun dan Rahayu (2007), terdapat empat prinsip dasar pengembangan kebijakan listrik perdesaan, yaitu:

1. Kelayakan usaha

Menjamin kelangsungan usaha penyediaan tenaga listrik dengan tercapainya keseimbangan antara biaya dan pendapatan dalam jangka panjang.

2. Efektifitas dan efisiensi

Efektifitas dalam penggunaan dana serta efisien dalam pelaksanaan.

3. Potensi energi setempat

Mengembangkan energi alternatif pada daerah yang memiliki potensi energi setempat.

4. Kebutuhan listrik

Pemberian bantuan listrik dilaksanakan dengan prinsip kebutuhan, yaitu dengan memprioritaskan daerah yang membutuhkan tenaga listrik dari pada yang menginginkan.

Pemenuhan energi listrik untuk berbagai kebutuhan saat ini dirasakan masih sangat tergantung pada sumber daya energi tak terbarukan yang relatif semakin terbatas. Oleh karena itu pemanfaatan energi terbarukan sangat diharapkan, mengingat selama ini masih terfokus kepada penyediaan listrik dan dalam jumlah yang relatif kecil. (Makmun dan Rahayu, 2007).

Menurut Makmun dan Rahayu (2007), adapun bentuk kebijakan secara spesifik akan tergantung siapa yang akan melakukan investasi listrik di perdesaan.

1. Disediakan oleh Pemerintah Daerah

Kewajiban penyediaan tenaga listrik bagi masyarakat perdesaan bukan saja menjadi tanggung jawab Pemerintah Pusat, namun juga menjadi tanggung jawab Pemerintah Daerah. Beberapa Pemerintah Daerah “terutama

pemerintah daerah kaya”, dewasa ini sudah mulai mengembangkan program listrik perdesaan . Dan bagi Pemerintah Daerah yang “miskin” dengan segala keterbatasannya, mungkin tidak akan mampu menyediakan tenaga listrik bagi masyarakatnya yang belum menikmati listrik. Untuk daerah-daerah yang miskin dana, Pemerintah Pusat sebaiknya membantu program pengembangan listrik perdesaan ini melalui pengaturan kebijakan Dana Alokasi Khusus (DAK) atau Dana Alokasi Umum (DAU), ataupun melalui pengaturan penggunaan Pendapatan Asli Daerah (PAD), khususnya berasal dari Pajak Penerangan Jalan (PPJ).

2. Pengembangan oleh Swasta

Penyediaan listrik bagi masyarakat merupakan tanggung jawab pemerintah. Namun apabila pemerintah tidak mampu memberikan pelayanan tersebut, maka pemerintah dapat memberikan penugasan kepada BUMN atau swasta. BUMN atau swasta sudah dapat dipastikan tidak akan tertarik untuk melakukan investasi di bidang listrik perdesaan karena tidak *feasible*. Sebagai konsekuensi atas penugasan tersebut, maka pemerintah dapat memberikan berbagai pemanis (*sweetners*) diantaranya:

- a. Pemberian subsidi melalui *Public Service Obligation*
- b. Mempermudah akses ke Lembaga Keuangan
- c. Penurunan Bea Masuk dan Keringanan Pajak
- d. Insentif lainnya seperti kemudahan-kemudahan dalam perijinan, aspek

kepemilikan, pembiayaan industri, pelayanan informasi, menetapkan peraturan yang transparan serta menciptakan peraturan iklim usaha yang kondusif agar para pelaku ekonomi dapat merasa aman.

M. Studi Terkait

1. **Isdawimah, 2010.** *Tesis-Analisa Kinerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan pada Model Jaringan Listrik Mikro Arus Searah.*

Tesis ini bertujuan untuk menganalisis kinerja dari Pembangkit Listrik Energi Terbarukan yang terdiri dari PLTS dan PLTB 12V/100W yang akan memasok daya ke jaringan listrik mikro arus searah. Sebelum memasok daya, masing-masing pembangkit diuji dengan kondisi tanpa beban dan berbeban. Pada jaringan listrik diuji pembagian beban antara PLTS dan PLTB dengan mempertimbangkan kapasitas baterai masing-masing.

Hasil pengujian PLTS menunjukkan peletakan sel surya 12V, 80W kearah timur pada bulan Juni 2010 menghasilkan arus rata-rata terbesar (1,954 A) dan mengisi baterai 12 V, 45 Ah selama 23 jam, lebih cepat jika dibanding ke arah lain. PLTS dan PLTB mengalami penurunan tegangan sebesar 9,4% dan 8,4% dari tegangan nominal 12 V pada saat dibebani 80 W. Hal ini disebabkan adanya impedansi dari baterai sebesar 1,8 Ω .

Beban yang terpasang pada jaringan listrik mikro arus searah, memperoleh pasokan daya dari PLTS dan PLTB yang masing-masing pembangkit dilengkapi baterai dengan kapasitas sama 12 V, 45 Ah. Pada

kondisi tanpa beban, PLTS dan PLTB mengisi baterai, sedangkan pada kondisi berbeban, arus yang dihasilkan kedua pembangkit mengalir ke beban, dengan pembagian pasokan daya ke beban tergantung muatan baterai pada masing-masing setelah pengisian. Pembangkit dengan baterai bermuatan besar memasok daya lebih besar dibanding pembangkit dengan baterai bermuatan kecil.

2. **Putu, 2007.** *Tugas Akhir-Perancangan dan Pembuatan Simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).*

Kebutuhan akan listrik baik untuk kalangan industri, perkantoran, maupun masyarakat umum dan perumahan sangat meningkat. Tetapi, peningkatan kebutuhan listrik ini tidak diiringi oleh penambahan pasokan listrik. Berdasarkan permasalahan tersebut, energi surya dipilih sebagai energi alternatif untuk menghasilkan energi listrik. Alat yang digunakan disini adalah sel surya, karena dapat mengkonversikan langsung radiasi sinar matahari menjadi energi listrik (proses fotovoltaik). Agar energi surya dapat digunakan pada malam hari, maka pada siang hari energi listrik yang dihasilkan disimpan terlebih dahulu ke baterai yang dikontrol oleh regulator. Keluaran regulator langsung dihubungkan dengan beban-beban DC. Dari simulasi PLTS yang dibuat, menghasilkan tegangan nominal sebesar 12 V dan daya maksimum 60 W.

3. **Sarwito dkk.**, 2010 *Tugas Akhir-Analisa Teknis dan Ekonomis Penerapan Sel Surya Untuk Kebutuhan Penerangan Jembatan Suramadu.*

Sel surya menjadi salah satu energi alternatif untuk mengatasi adanya krisis energi terutama menipisnya ketersediaan minyak bumi dunia. Dalam tugas akhir ini, dilakukan analisis pemanfaatan sel surya untuk kebutuhan penerangan Jembatan Suramadu. Berdasarkan perhitungan beban sebesar 250 Watt sehingga dapat di cari tegangan masukan apabila menggunakan baterai sebesar 24 V diasumsikan melalui media inverter. Selanjutnya didapatkan 11,6 Ampere untuk mensupplay daya ke beban selama 12 jam (18.00-06.00 WIB) dan didapatkan sebesar 173,6 Ah. Kemudian dari data intensitas matahari yang diterima di wilayah Surabaya 9 jam mampu memberikan 138.96 Ah. Jadi solar modul harus mampu *mencharge* baterai selama 9 jam. Hal ini berkaitan dengan solar cell yang kita pakai. Kemudian dicari analisis ekonominya dari masing-masing peralatan diketahui harganya dan untuk satu tiang penerang jalan dengan satu lampu menghabiskan biaya sebesar Rp. 25.590.000,-.

4. **Riyadi, 2006** *Jurnal-Strategi Rumah Tangga Dalam Pemenuhan Energi Listrik Di Desa Kemujan, Kecamatan Karimunjaya*

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aset, akses, dan aktivitas rumah tangga dalam kondisi kekurangan ketersediaan listrik,

serta mengetahui strategi rumah tangga dalam pemenuhan energi listrik.

Metode yang digunakan adalah deskriptif kualitatif. Pemilihan narasumber berdasarkan tujuan tertentu, yaitu rumah tangga di Desa Kemujan yang menggunakan energi listrik untuk berbagai aktivitas tertentu. Jumlah Narasumber pada saat penelitian berlangsung akan dibatasi ketika informasi yang diberikan telah jenuh. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi, indepth interview, dan telaah data sekunder. Trigulasi digunakan untuk mendapat tingkat kebenaran yang tinggi.

Aset rumah tangga di Desa Kemujan bervariasi. Aset tersebut dapat dimanfaatkan untuk mengakses energi listrik, mempermudah aktivitas, dan meningkatkan akses lain. Strategi rumah tangga dalam pemenuhan energi listrik adalah melalui pelayanan umum listrik PLTD. Pemenuhan energi listrik diluar waktu pelayanan PLTD adalah dengan menggunakan peralatan pembangkit listrik, yaitu mesin kapal yang ditambahkan dinamo, mesin generator set, pembangkit listrik tenaga surya, dan atau pembangkit listrik tenaga angin.

5. **Handoyo, 2001** *Jurnal-Pengaruh Jarak Kaca Ke Plat Terhadap Panas Yang Diterima Suatu Kolektor Surya Plat Datar.*

Karena panas yang diterima suatu kolektor surya plat datar berasal dari energi elektromagnetik dari matahari, maka kaca penutup yang digunakan sangat berpengaruh terhadap panas yang diterima. Mengingat

pentingnya kaca pada kolektor surya, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh jarak kaca ke plat terhadap temperatur plat yang menyatakan besar panas yang diterima. Kaca yang digunakan untuk penelitian adalah kaca bening dan kaca es dengan ketebalan masing-masing 3 mm dan 5 mm. Dari hasil penelitian didapat bahwa temperatur plat tertinggi dicapai saat kaca yang dipakai jenis kaca bening 3 mm dengan jarak kaca ke plat 20 mm.

N. Kerangka Pikir

Saat ini kebutuhan energi, khususnya energi listrik (energi yang dapat dikonversikan ke dalam bentuk energi yang lain) terus meningkat dengan pesat, bahkan di luar estimasi yang diperkirakan. Hal ini sudah selayaknya sebagai dampak meningkatnya seluruh aktivitas kehidupan yang menggunakan energi listrik. Selama ini kebutuhan energi bahkan kebutuhan dunia masih mengandalkan minyak bumi sebagai penyangga utama kebutuhan energi. Sementara itu tidak dapat dihindarkan bahwa sumber energi ini semakin langka dan mahal harganya. Bagi Indonesia masalah energi menjadi lebih penting lagi artinya dan perlu mendapatkan penanganan yang khusus karena: (1) Lebih kurang 80 % kebutuhan energi di Indonesia dipenuhi oleh minyak bumi, (2) Harga minyak dan Konsumsi minyak bumi yang cenderung meningkat dengan pesat setiap tahun, (3) Banyaknya sumber-sumber alternatif di Indonesia yang perlu dikembangkan, (4) Pokok-

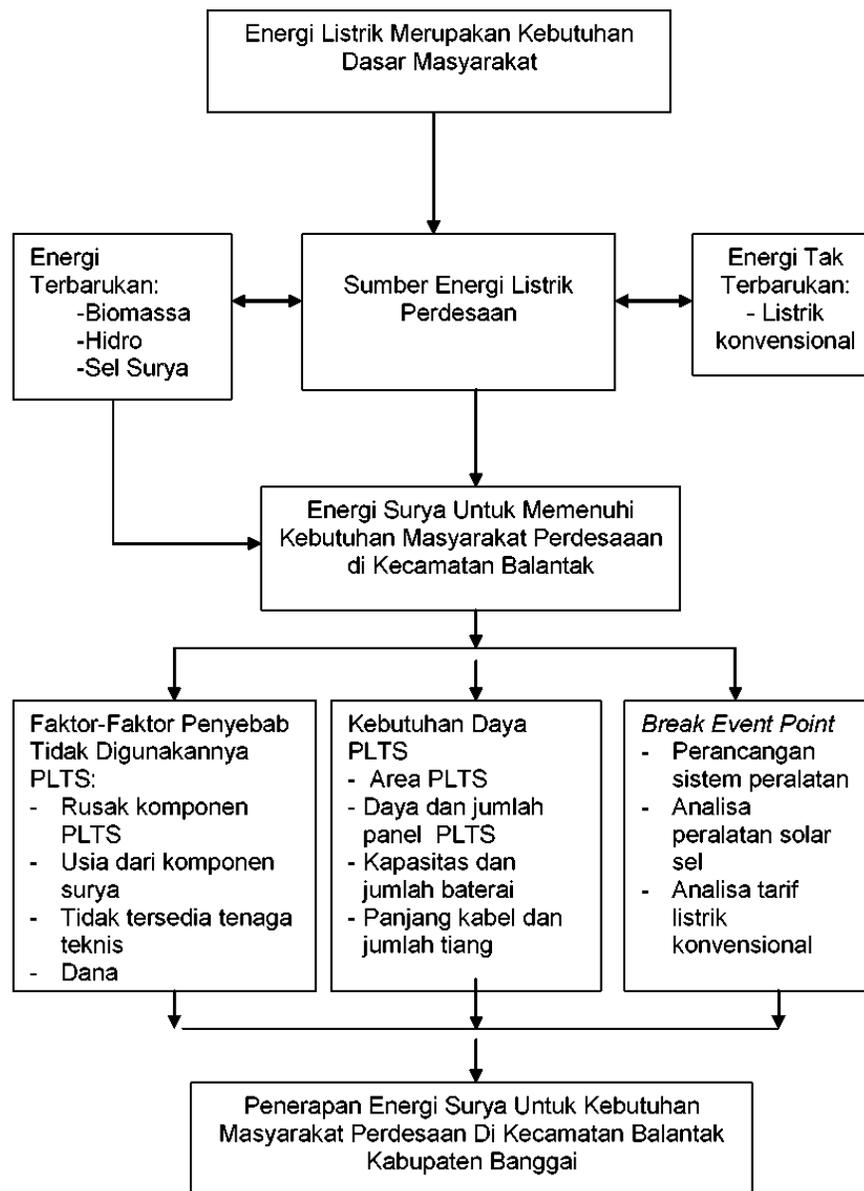
pokok mengenai energi telah dicantumkan dalam Kebijakan Energi Nasional yang tujuan dari kebijakan tersebut adalah penghematan bahan bakar minyak bumi dan pengembangan sumber-sumber energi alternatif lainnya.

Untuk mengatasi hal itu selanjutnya perlu penghematan bahan bakar minyak dalam negeri terutama untuk kebutuhan yang tidak dapat digantikan dengan bentuk energi yang lain seperti transportasi, *feedstock* industri dan lain-lain serta pemanfaatan seoptimal mungkin sumber-sumber energi alternatif lain, seperti tenaga air, panas bumi, tenaga matahari dan sebagainya.

Salah kebijakan pemerintah dalam penghematan energi adalah diversifikasi yang merupakan usaha strategis mengurangi ketergantungan dari minyak bumi dalam usaha memenuhi kebutuhan energi dalam negeri (kecuali kebutuhan yang tidak dapat diganti dengan bentuk energi yang lain seperti transportasi dan *feedstock* industri yang harus dilakukan penghematan yang se-hemat-hematnya dan menggantikan dengan jenis energi lain. Diversifikasi akan meningkatkan penganekaragaman penggunaan berbagai jenis energi di dalam negeri. Salah satunya yang terpenting adalah pemanfaatan Tenaga Surya dengan menggunakan sel surya.

Kecamatan Balantak merupakan salah satu wilayah di Kabupaten Banggai yang memiliki jumlah kepala keluarga terbanyak yang tidak dialiri oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Akibatnya menghilangkan peluang aktifitas masyarakat yang bernilai ekonomi, karena tidak tersedianya sumber

penerangan, khususnya di siang hari. Perencanaan penggunaan energi surya ini diharapkan menjadi alternatif energi bagi masyarakat khususnya di desa yang belum terlayani oleh PLN. Untuk lebih jelasnya mengenai penggunaan energi surya ini dapat dilihat pada kerangka pikir berikut ini :



Gambar 13 Kerangka Pikir