

**ANALISIS TEKNIK DAN EKONOMI POWER HIBRIDA
(PHOTOVOLTAIC-PLN) DI JURUSAN ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

LIKY SAPUTRA MULIA

NIM : 0810630067 - 63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2014**

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS TEKNIK DAN EKONOMI POWER HIBRIDA
(PHOTOVOLTAIC-PLN) DI JURUSAN ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

LIKY SAPUTRA MULIA
NIM: 0810630067 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Mahfud Shidiq, MT.
NIP. 19580609 198703 1 003

Ir. Soeprapto, MT.
NIP. 19561020 198903 1 003

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS TEKNIK DAN EKONOMI POWER HIBRIDA
(PHOTOVOLTAIC-PLN) DI JURUSAN ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG**

SKRIPSI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada

Tanggal 3 Desember 2014

DOSEN PENGUJI

Ir. Soemarwanto, MT
NIP. 19500715 198003 1 002

Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D
NIP. 19730520 200801 1 013

Ir. Moch. Dhofir, Drs., MT
NIP. 19600701 1999002 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D
NIP. 19741203 200012 1 001

PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Skripsi yang berjudul “ **Analisis Teknik Dan Ekonomi Power Hibrida (Photovoltaic-PLN) Di Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya**” ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari partisipasi dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
2. Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Energi Elektrik Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ir. Mahfud Shidiq, M.T. Dan Bapak Ir. Soeprpto, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan bimbingan, ide, nasihat, arahan, motivasi, waktu, serta saran dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Semua dosen, pegawai administrasi dan laboran Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas segala ilmu, masukan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis.
6. Kepada Ayahanda Shaliman dan Ibunda Zailisna yang sangat penulis hormati dan cintai, atas segala dukungan, motivasi, cinta, kepercayaan, dan doa yang tiada henti, hingga sampai detik ini penulis tetap kuat dan bersemangat dalam menyelesaikan studi.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro angkatan 2008 (*Concordes*) dan konsentrasi Teknik Energi Elektrik, serta rekan-rekan di Laboratorium

Mesin Elektrik yang telah menemani dan berbagi semangat selama menjalani perkuliahan.

8. Teman-teman angkatan 2009, 2010, 2011, dan 2012 Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang tidak mungkin disebutkan satu-persatu, atas semua doa dan dukungan.
9. Nuariesta Dyas Pramuningrum yang telah memberikan semangat dan dukungan pada penulis selama menjalani perkuliahan dan pengerjaan skripsi.
10. Serta seluruh pihak yang ikut membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, semoga Allah membalas kebaikan-kebaikan mereka dengan setimpal. Amin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis memohon maaf bila ada kesalahan dalam penulisan skripsi ini. Kritik dan saran kami hargai demi penyempurnaan penulisan serupa dimasa yang akan datang. Besar harapan penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan dapat bernilai positif bagi semua pihak yang membutuhkan.

Malang, 17 November 2014

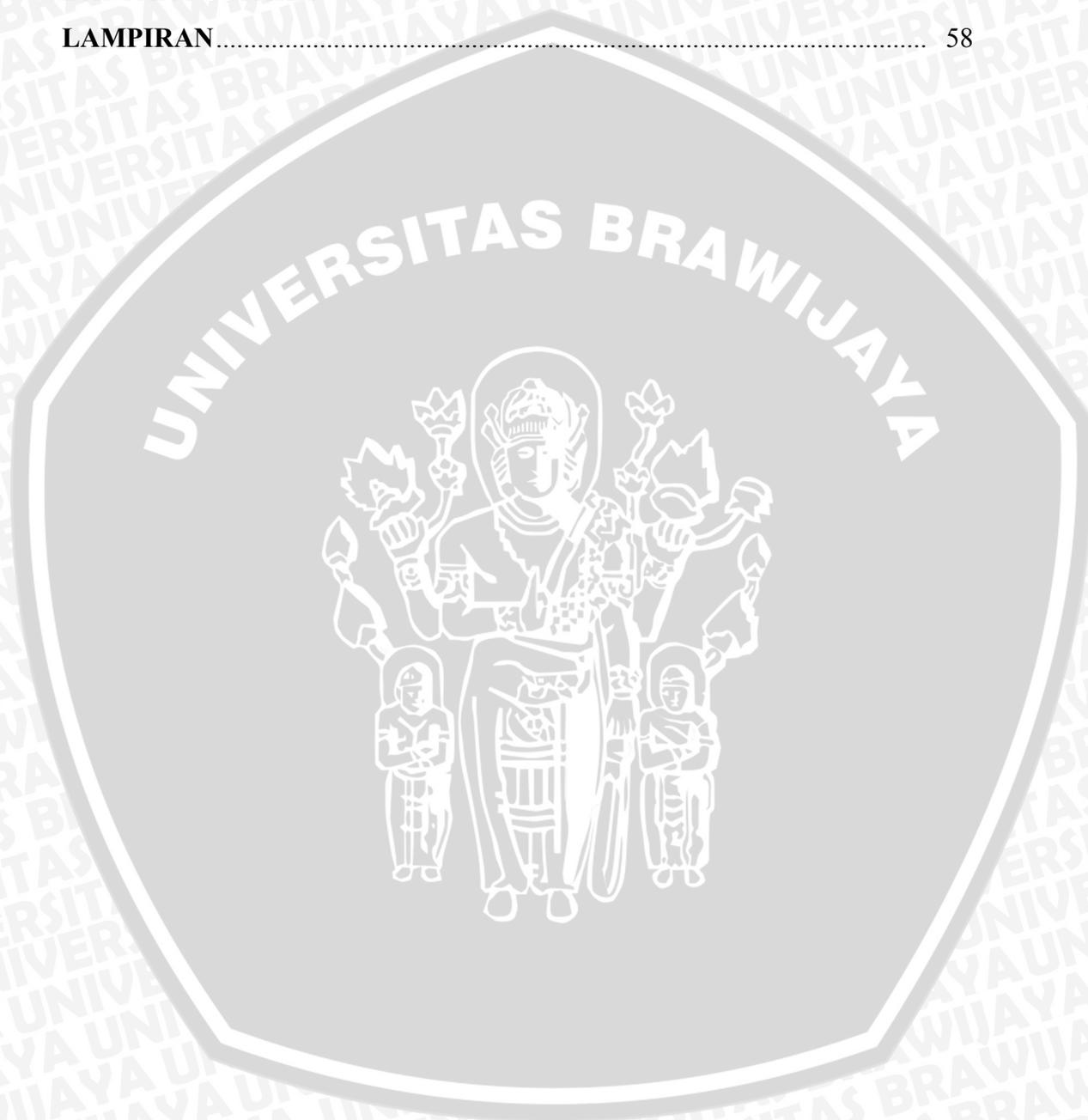
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
RINGKASAN	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Energi Matahari.....	5
2.2 <i>Photovoltaic</i>	5
2.2.1 Modul PV	6
2.2.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi panel surya	10
2.3 Baterai	14
2.3.1 Rating Kapasitas Baterai	15
2.3.2 Cara Kerja Baterai.....	16
2.4 <i>Battery Controller Regulator (BCR)</i>	17
2.5 Rele	17
2.6 Inverter	18
2.7 <i>Switch Controller</i>	19
2.8 Beban Listrik.....	20
2.9 Perhitungan Ekonomi.....	21
2.9.1 Biaya Tetap	22

2.9.2	Biaya Variabel.....	22
2.10	<i>Software</i> Homer	26
2.11	Perhitungan Panel Surya	28
2.11.1	Beban Total	28
2.11.2	Daya Modul Surya	29
2.11.1	Kapasitas Baterai.....	29
2.11.2	Kapasitas <i>Battery Controller Regulator</i>	30
2.11.1	Kapasitas Inverter.....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		32
3.1	Metode penelitian.....	32
3.2	Spesifikasi Sistem	32
3.2.1	Data <i>Photovoltaic</i>	32
3.2.2	Data Baterai.....	33
3.3	Studi Literatur	34
3.4	Analisis Data	34
3.5	Pengambilan Kesimpulan Dan Saran.....	34
3.6	Diagram Alir	34
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		36
4.1	Data Pendukung yang Digunakan Untuk Sistem	36
4.2	Analisis Data	36
4.2.1	Beban Total	36
4.2.2	Perhitungan Kapasitas Daya Modul Surya	38
4.2.3	Perhitungan Kapasitas Baterai	39
4.2.4	Perhitungan Kapasitas <i>Battery Controller Regulator</i>	40
4.2.5	Konverter.....	40
4.2.6	KWH Meter.....	41
4.3	Kapasitas PLTS Terpasang	41
4.4	Konfigurasi Sistem.....	43
4.4.1	Komponen Sistem	43
4.4.2	Komponen Ekonomi	48
4.4.3	Hasil Optimasi.....	52

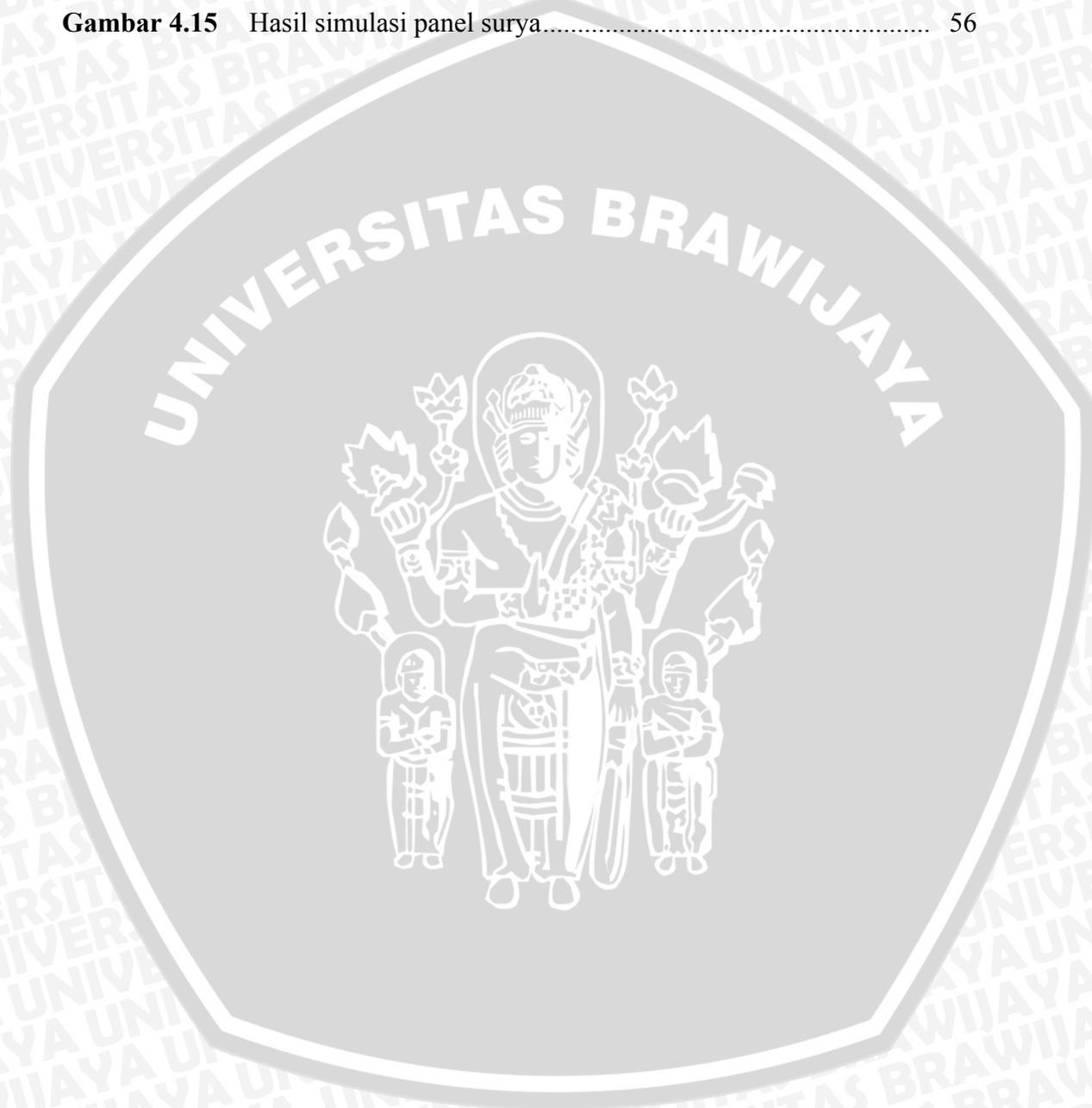
BAB V PENUTUP	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	58



DAFTAR GAMBAR

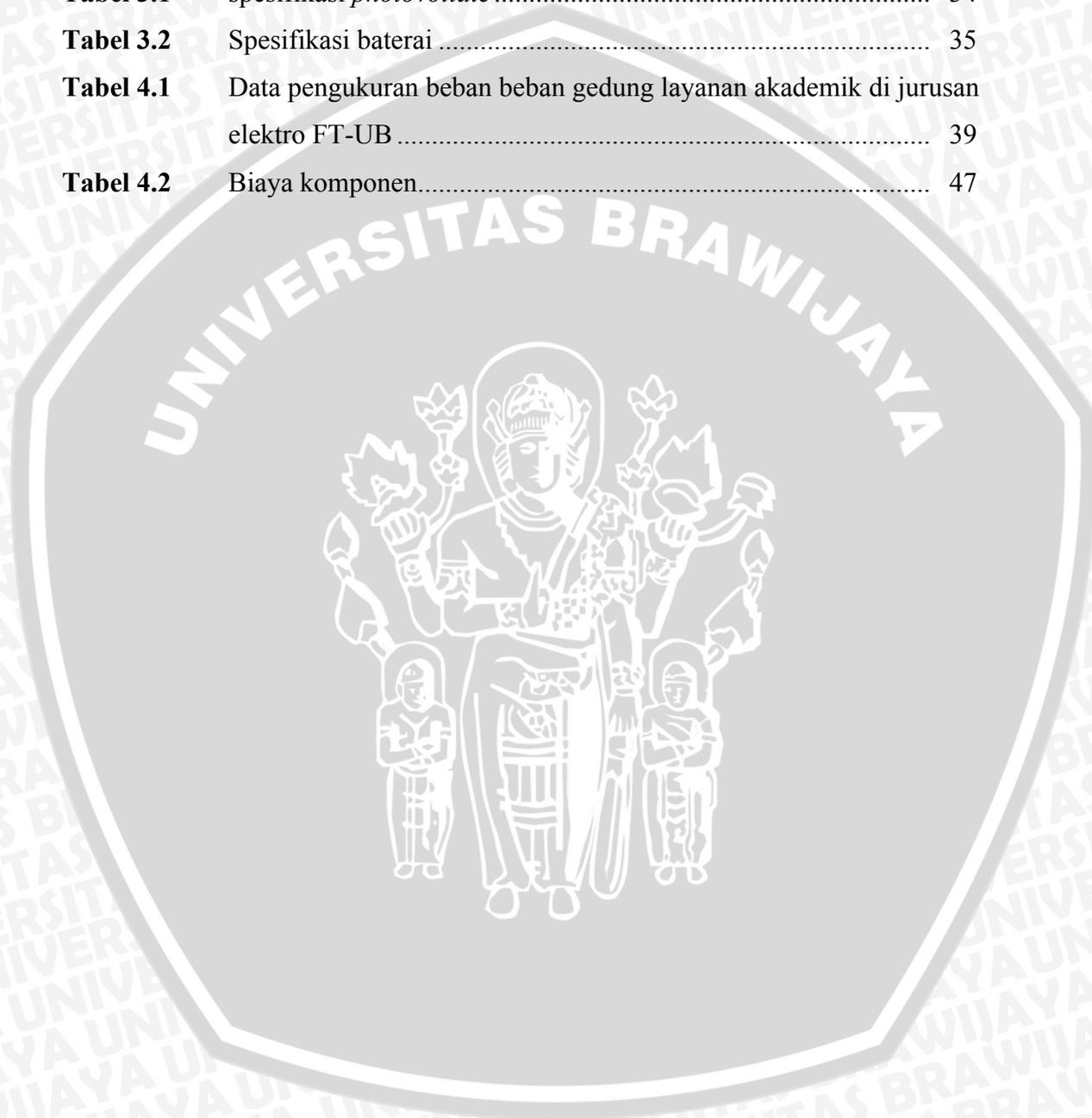
Gambar 2.1	Bagan Sistem <i>Photovoltaic</i>	6
Gambar 2.2	<i>Cell, Module, Panel, dan Array</i>	7
Gambar 2.3	Karakteristik Arus Tegangan dari Solar Sel.....	9
Gambar 2.4	Modul Sel Surya 100Wp.....	9
Gambar 2.5	Kurva Arus-Tegangan untuk Radiasi Matahari yang Berbeda	12
Gambar 2.6	Kurva Arus-Tegangan pada Sel Surya terhadap Perubahan Suhu.....	13
Gambar 2.7	Kurva Arus-Tegangan pada Sel Surya terhadap Perubahan Bayangan.....	14
Gambar 2.8	Contoh Baterai	15
Gambar 2.9	Diagram Baterai Sesudah dan Sebelum Discharge.....	17
Gambar 2.10	Contoh Grafik Karakteristik Beban	21
Gambar 2.11	Diagram Nilai Waktu dari Uang	23
Gambar 2.12	Konfigurasi Sistem pada <i>Software HOMER</i>	27
Gambar 2.13	Hasil Simulasi Konfigurasi Sistem pada <i>Software HOMER</i> ...	28
Gambar 2.14	KWH Meter Analog.....	31
Gambar 2.15	KWH Meter Exim.....	33
Gambar 4.1	Rangkaian pengukuran beban gedung layanan akademik di jurusan elektro FT-UB	39
Gambar 4.2	Grafik data beban per jam di gedung layanan akademik di jurusan elektro FT-UB	40
Gambar 4.3	Rele 220V dan 24V	44
Gambar 4.4	Photovoltaic –PLN secara manual	46
Gambar 4.5	Sistem Photovoltaic-PLN.....	47
Gambar 4.6	Parameter masukan panel surya	48
Gambar 4.7	Parameter masukan konverter	49
Gambar 4.8	Parameter masukan baterai	50
Gambar 4.9	Faktor ekonomi	51
Gambar 4.10	Parameter masukan kontrol.....	52

Gambar 4.11	Parameter masukan <i>constraint</i>	53
Gambar 4.12	Hasil optimasi.....	54
Gambar 4.13	Total biaya NPC	55
Gambar 4.14	Hasil produksi listrik masing-masing komponen.....	55
Gambar 4.15	Hasil simulasi panel surya.....	56



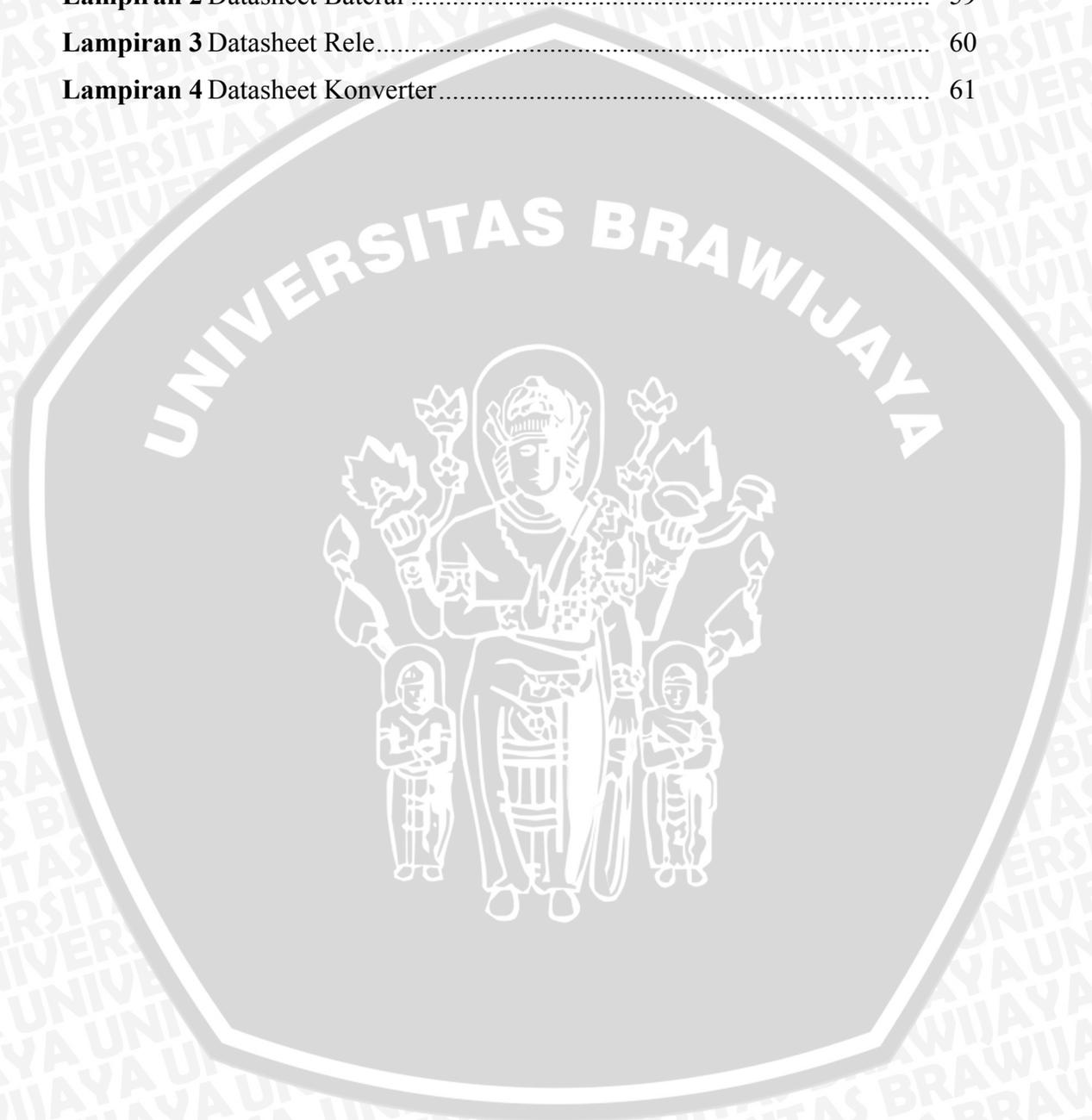
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Contoh Tabel Aliran Dana dengan Dana Kumulatifnya	26
Tabel 3.1	spesifikasi <i>photovoltaic</i>	34
Tabel 3.2	Spesifikasi baterai	35
Tabel 4.1	Data pengukuran beban beban gedung layanan akademik di jurusan elektro FT-UB	39
Tabel 4.2	Biaya komponen.....	47



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Datasheet <i>photovoltaic</i>	58
Lampiran 2 Datasheet Baterai	59
Lampiran 3 Datasheet Rele	60
Lampiran 4 Datasheet Konverter	61



RINGKASAN

Liky Saputra Mulia, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2014, *Analisis Teknik dan Ekonomi Power Hibrida (Photovoltaic-PLN) di Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*, Dosen Pembimbing: Ir. Mahfudz Shidiq, MT. dan Ir. Soeprapto, MT.

Sebagaimana diketahui bahwa matahari adalah sumber penghidupan bagi makhluk hidup, yang diciptakan Tuhan sebagai suatu kelengkapan unsur jagat raya. Energi matahari tersedia dalam jumlah yang sangat besar, tidak bersifat polutif, tidak akan habis namun gratis. Terkadang kita kurang menyadari fungsi dan manfaat matahari terhadap penghidupan makhluk seolah-olah pemanfaatannya adalah otomatis.

Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang merupakan salah satu pelanggan PT. PLN (Persero) Wilayah Malang. Jika terjadi pemadaman energi listrik maka kegiatan pelayanan administrasi akademik akan terganggu akibat padamnya energi listrik tersebut.

Penelitian ini berdasarkan pada aspek teknik yang menyangkut kemungkinan untuk dikerjakan dan aspek ekonomi yang menyangkut keuntungan. Beban listrik pengujian berupa beban penerangan dan beban listrik lainnya pada gedung layanan akademik jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Data dari beban listrik pada gedung layanan akademik jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, dapat ditentukan jumlah panel surya, jumlah baterai, serta jenis BCR dan inverter yang digunakan. Hasil konfigurasi sistem adalah 6 panel surya 205Wp, 16 biji baterai bank 12V 110AH, 1kW konverter dan dengan program HOMER hasil pengujian analisis ekonomi konfigurasi dipilih *Total Net Present Cost (NPC)* yaitu \$2.575, dengan *Initial Capital Cost* \$2.257 dan *Cost of Energy (COE)* \$0.152/kWH.

Kata Kunci: Panel surya, BCR, Inverter, Program HOMER

BABI

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagaimana diketahui bahwa matahari adalah sumber penghidupan bagi makhluk hidup, yang diciptakan Tuhan sebagai suatu kelengkapan unsur jagat raya. Energi matahari tersedia dalam jumlah yang sangat besar, tidak bersifat polutif, tidak akan habis namun gratis. Kadang-kadang kita kurang menyadari fungsi dan manfaat matahari terhadap penghidupan makhluk seolah-olah pemanfaatannya adalah otomatis.

Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang merupakan salah satu pelanggan PT. PLN (Persero) Wilayah Malang. Jika terjadi pemadaman energi listrik maka kegiatan pelayanan administrasi akademik akan terganggu akibat padamnya energi listrik tersebut.

Kebutuhan akan energi listrik yang semakin meningkat dan keterbatasan sumber energi listrik yang ada sekarang ini, serta dalam rangka menjaga kontinuitas penyediaan sumber energi listrik diperlukan sumber energi alternatif yang berkesinambungan. Sebagai energi alternatif yang relatif tidak akan habis seiring berjalannya waktu dapat diambil dari sumber panas matahari (surya). Penyediaan akan energi listrik dari sumber alternatif seperti tenaga surya diharapkan mampu menunjang kebutuhan akan energi listrik. Sehingga diperlukan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Energi baru dan yang terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Hal ini disebabkan penggunaan bahan bakar untuk pembangkit-pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang makin menipis dan juga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Salah satunya upaya yang telah dikembangkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

PLTS atau lebih dikenal dengan sel surya akan lebih diminati karena dapat digunakan untuk berbagai keperluan yang relevan dan di berbagai tempat seperti perkantoran, pabrik, perumahan, dan lainnya. Di Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai potensi energi matahari sangat besar dengan insolasi harian rata-rata 4,5 - 4,8 KWh/m² / hari (JETri, Volume 8, Nomor 1, Agustus 2008). Akan tetapi energi listrik yang dihasilkan sel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sistem. Untuk kekontinuan ketersediaan listrik dan pemanfaatan energi listrik sel surya secara maksimal sangat diperlukan hibrida dengan jala-jala listrik PLN.

Dalam skripsi ini akan dilakukan analisis teknik dan ekonomi power hibrida (*photovoltaic*-PLN) di jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang, maka rumusan masalah ditekankan pada:

1. Bagaimana analisis teknik sistem Pembangkit Listrik Hibrida(*photovoltaic*-PLN).
2. Bagaimana analisis ekonomi sistem Pembangkit Listrik Hibrida(*photovoltaic*-PLN).

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diajukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Pembahasan terkait aspek ekonomi yaitu perhitungan investasi dan nilai uang sesuai dengan faktor-faktor yang berlaku di Indonesia saat ini saja.
2. Studi kelayakan berdasarkan pada aspek teknis yang menyangkut kemungkinan untuk dikerjakan, aspek ekonomis yang menyangkut keuntungan baik secara finansial maupun manfaat yang bisa dirasakan oleh masyarakat jika sistem ini diterapkan.

3. Beban listrik pengujian berupa beban penerangan dan beban listrik lainnya pada gedung layanan akademik jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
4. Sistem hybrid PV- PLN menggunakan *storage*.
5. Menggunakan modul PV 205 Wp.
6. Menggunakan baterai Leoch LPS 12-115
7. Pembahasan aspek ekonomi menggunakan program HOMER
8. Pembahasan aspek teknis
9. Pembahasan terkait aspek ekonomi yaitu perhitungan investasi dan nilai uang sesuai dengan faktor-faktor yang berlaku di Indonesia saat ini saja

1.4 Tujuan

Tujuan dari pembahasan dalam skripsi ini adalah:

1. Menganalisis teknik sistem Pembangkit Listrik Hibrida(*photovoltaic*-PLN).
2. Menganalisis ekonomi sistem Pembangkit Listrik Hibrida(*photovoltaic*-PLN).

1.5 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka atau dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan dan untuk mendukung permasalahan yang diungkapkan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Memberikan penjelasan tentang metode yang digunakan dalam skripsi ini, meliputi metode pengambilan data, pengolahan data, dan analisis data.

BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berisi analisis dan pembahasan terhadap hasil pengukuran dan analisis mengenai penghematan energi listrik.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan hasil penelitian yang telah diuraikan pada bab sebelumnya serta saran - saran kedepan terkait hasil penelitian.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Matahari

Matahari merupakan sebuah bola yang permukaannya di lingkupi oleh gas yang sangat panas, yang berasal dari 98% Hidrogen dan Helium. Di bagian dalam matahari berlangsung reaksi fusi inti secara terus menerus, yang melebur Hidrogen menjadi helium, dan sebagian massanya menjadi energi. Energi inilah yang membuat suhu matahari sangat panas.

Selain dalam bentuk panas, reaksi di dalam inti matahari juga menghasilkan radiasi foton yang dipancarkan ke segala arah di ruang angkasa, termasuk Bumi. Energi matahari yang memasuki atmosfer bumi diperkirakan 1-1.4 kW/m² dengan arah tegak lurus terhadap poros sinar. Dari jumlah tersebut 34% dipantulkan kembali ke luar angkasa, 19% diserap atmosfer yaitu oleh komponen-komponen yang terdapat di udara, dan selebihnya, yaitu kurang lebih 47% atau dibulatkan 560 W/m² diserap oleh bumi. (Kadir,1994:5).

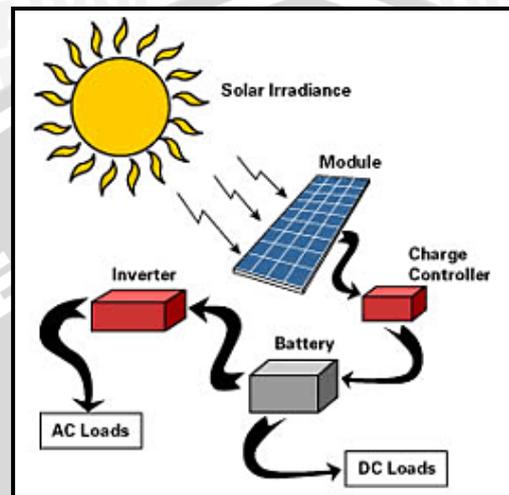
Sinar matahari yang jatuh ke permukaan bumi pada prinsipnya dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu :

1. Sinar langsung, yaitu sinar matahari yang langsung mencapai permukaan bumi.
2. Sinar difusi, yaitu sinar matahari yang telah dipantulkan oleh benda-benda lain seperti awan, gunung, laut, dll.
3. Sinar global, yaitu gabungan dari sinar langsung dan difusi.

2.2 Photovoltaic

Sistem PV (*photovoltaic*) adalah sistem yang mengkonversi sinar matahari menjadi listrik. Sistem PV terdiri dari modul atau panel surya, inverter, *charger* dan baterai. Modul PV menghasilkan listrik DC dan mengirimkannya ke *charge controller* yang mengatur muatan baterai, cadangan listrik baterai yang dapat digunakan pada malam hari atau selama pemadaman atau bisa juga langsung

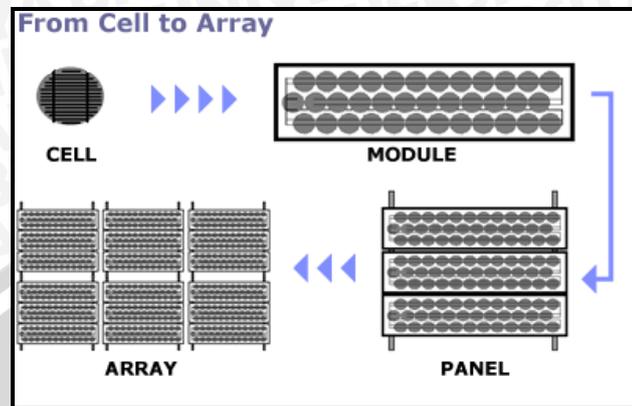
digunakan untuk mencatu beban DC. Inverter mengubah daya DC yang tersimpan pada baterai menjadi listrik AC. Gambar 2.1 memperlihatkan tentang sistem *photovoltaic* beserta komponen-komponen utama penyusunnya. (Kessler,S.1995:25).



Gambar 2.1 Sistem *Photovoltaic*
Sumber: <http://hybridesolarcell.blogspot.com>

2.2.1 Modul PV

Sel surya dapat dianalogikan sebagai divais dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial menghasilkan tegangan dc sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus short-circuit dalam skala milliampere per cm^2 . Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28-36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan dc sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar (Air Mass 1.5). Gambar 2.2 memperlihatkan bahwa modul surya bisa digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu.



Gambar 2.2 Cell, Module, Panel, dan Array

Sumber: <http://www.solardirect.com/pv/pvlist/pvlist.htm>

Keterangan Gambar 2.2 adalah:

1. Sel Semikonduktor adalah perangkat terkecil yang mengubah sinar matahari menjadi listrik arus searah (DC).
2. Modul PV terdiri dari sirkuit sel PV yang disegel dalam suatu laminasi pelindung.
3. Panel PV mencakup satu atau lebih modul Pv.
4. Array PV adalah suatu unit pembangkit listrik yang lengkap, terdiri dari sejumlah modul PV dan panel PV yang terangkai menjadi satu melalui kabel dengan susunan tertentu agar mampu menghasilkan tegangan dan arus tertentu.

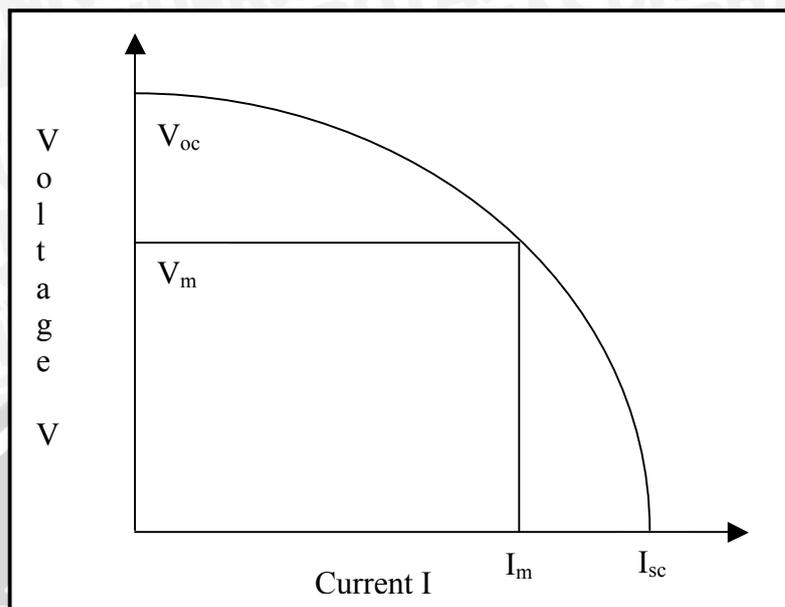
Sel surya pertama kali dibuat dari silikon dan dikembangkan di Amerika Serikat pada 1954. Pada saat itu, sel-sel silikon adalah sel-satunya yang telah mencapai status komersial. Sel silikon konvensional tersebut berbentuk seperti wafer tipis sekitar $300\mu\text{m}$ dengan ketebalan dan 2 sampai 6 cm yang terdiri dari kristal tunggal tipe-n atau tipe-p dengan doping silikon. Elektroda terbuat dari solderan Ti-Ag yang melekat pada bagian depan dan sisi belakang sel. Di sisi depan, elektroda dibuat dalam bentuk grid logam dengan jari-jari tertentu yang memungkinkan sinar matahari lewat, sementara di sisi belakang, elektroda dibuat dalam bentuk

permukaan. Lapisan *antireflection* SiO memiliki ketebalan 0,1 μm juga diletakkan pada permukaan atas.

Ketika radiasi jatuh pada sel, terbentuklah pasangan muatan positif dan negatif, yang disebut pasangan elektron-hole. Muatan positif dan negatif tersebut dipisahkan oleh *p-n junction*. Sehingga dari peristiwa tersebut dihasilkan arus langsung yang terkumpul di elektroda logam dan mengalir ke beban eksternal.

Efisiensi konversi untuk sel silikon berkisar antara 10 dan 15 persen. Bagian penting yang mempengaruhi efisiensi konversi adalah *band gap energi* (E_g). Untuk silikon misalnya, nilai E_g adalah 1,2 eV. Nilai ini dekat dengan nilai optimal yang menghasilkan efisiensi maksimum. Beberapa bahan semikonduktor lainnya juga cocok untuk sel surya karena *band gap energi*-nya yang sesuai, tetapi sejauh ini masih dalam proses penelitian, diantaranya adalah gallium arsenide dan cadmium telluride kadmium sulfida.

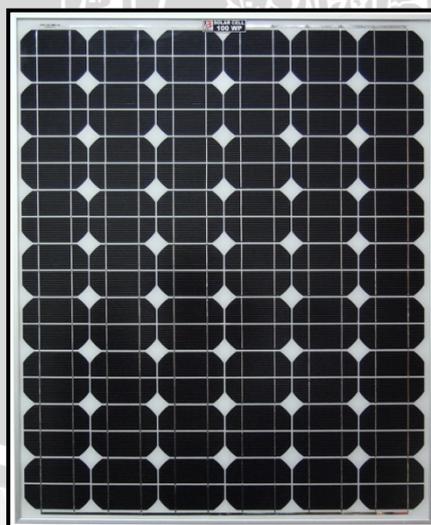
Selain dari *band gap energi*, karakteristik arus-tegangan sel surya juga berpengaruh pada efisiensinya. Gambar 2.3 memperlihatkan karakteristik Arus I_{sc} diperoleh pada tegangan nol disebut arus hubung singkat, sedangkan tegangan V_{oc} diperoleh dengan sirkuit terbuka disebut tegangan hubung buka. Hasilnya adalah besar kekuatan ideal sel. Daya maksimum adalah luas persegi panjang terbesar yang dapat dibentuk di bawah kurva I-V. Jika tegangan dan arus yang sesuai untuk kondisi ini ditandai oleh V_m dan I_m , maka daya yang guna maksimum untuk daya yang ideal disebut faktor pengisian. (Sukhatme, 1990:43).



Gambar 2.3 Karakteristik Arus Tegangan dari Solar Sel

Sumber: Sukhatme, S.P. 1990:43

Modul sel surya terdiri dari beberapa jenis ada yang berkapasitas 20 Wp, 30 Wp, 50 Wp, 100 Wp. Gambar 2.4 memperlihatkan salah satu contoh Modul PV yang berjenis mono kristal, poli kristal, atau *amorphous*.



Gambar 2.4 Modul Sel Surya 100Wp

Sumber: <http://tuban.olx.co.id>

- Daya Maksimal (Pmax) = 100Wp

- Tegangan Maksimal (V_{mp}) = 33.5V
- Arus Maksimal (I_{mp}) = 2.99A
- Tegangan *Open Circuit* (V_{oc}) = 41.5V
- Arus *Short Circuit* (I_{sc}) = 3.57A
- Jumlah *Cell* = Monocrystalline 10
Cell
- Dimensi (ukuran) Module = 1250 x 808 x 35mm
- *Cell* = 125 x 125mm
- Berat = 11.8 Kg

Pada umumnya kurva arus-tegangan dinyatakan dalam *Standar Test Conditions* (STC) 1000 W/m² radiasi (atau disebut satu matahari puncak atau *one peak sun hour*) dan pada suhu 25°C. STC juga mewakili kondisi optimal dalam laboratorium. Kurva arus-tegangan terdiri dari 3 hal yang penting *Maximum Power Point* (V_{mp} dan I_{mp}), *Open Circuit Voltage* (V_{oc}) dan *Short Circuit Current* (I_{sc}). Pada kurva arus-tegangan, *Maximum Power Point* V_{mp} dan I_{mp} , adalah titik operasi, dimana modul *photovoltaic* menghasilkan daya keluaran maksimum. Dengan kata lain, V_{mp} dan I_{mp} dapat diukur pada saat panel *photovoltaic* pada 25°C dan radiasi 1000 watt per meter persegi diberi beban. *Open Circuit Voltage* (V_{oc}) adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus. Daya keluaran modul pada saat V_{oc} ini adalah 0 watt. *Short Circuit Current* (I_{sc}) adalah arus maksimum dari modul *photovoltaic* dalam kondisi dengan tanpa resistansi atau *short circuit*. Daya keluaran modul pada saat I_{sc} ini adalah 0 watt. (Quaschnig, 2005:34).

2.2.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Panel Surya

Lima hal utama yang mempengaruhi unjuk kerja atau performansi dari modul solar cells panel:

a. Bahan pembuat solar *cells* panel

Bahan dasar untuk membuat solar cell adalah *crystalline silicon*. Oleh dari itu pengelompokkan solar cell pun berdasarkan susunan *crystalline silicon* adalah:

- Monokristal (*Mono-crystalline*)

Tipe monokristal merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini karena menghasilkan daya listrik yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Tipe ini memiliki tingkat efisiensi mencapai 15%. Kelemahan dari tipe ini adalah tidak berfungsi dengan baik pada tempat yang cahaya matahari kurang (mendung), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.

- Polykristal (*Poly-crystalline*)

Tipe ini memiliki susunan kristal acak karena dibuat dengan proses pengecoran. Untuk menghasilkan daya listrik yang sama dengan monokristal, tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang lebih rendah.

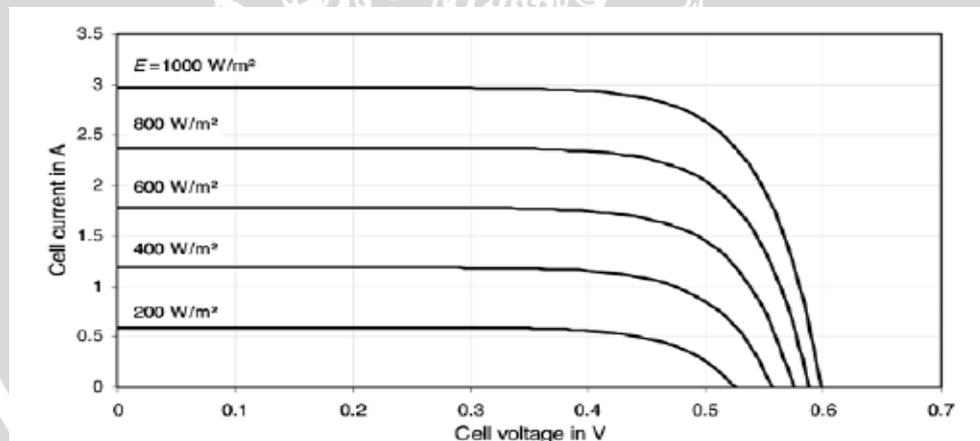
- Thin Film Photovoltaic

Tipe ini merupakan panel surya dengan 2 struktur lapisan tipis, yaitu mikrokristal-silikon dan amorf dengan efisiensi 8,5%. Perkembangan terbaru adalah Thin Film Triple Junction PV (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi daripada panel jenis lain dengan daya yang setara.

b. Resistansi Beban

Tegangan baterai adalah tegangan operasi dari modul panel surya, apabila baterai dihubungkan langsung dengan modul panel surya. Sebagai contoh, umumnya baterai 12 Volt, tegangan baterai biasanya antara 11.5 sampai 15 Volts. Untuk dapat *mencharge* baterai, panel surya harus beroperasi pada tegangan yang lebih tinggi daripada tegangan baterai *bank*.

Gambar 2.5 memperlihatkan bahwa efisiensi paling tinggi adalah saat panel surya beroperasi dekat pada maximum power point. Pada contoh di atas, tegangan baterai harus mendekati tegangan V_{mp} . Apabila tegangan baterai menurun di bawah V_{mp} , ataupun meningkat di atas V_{mp} , maka efisiensi nya berkurang.



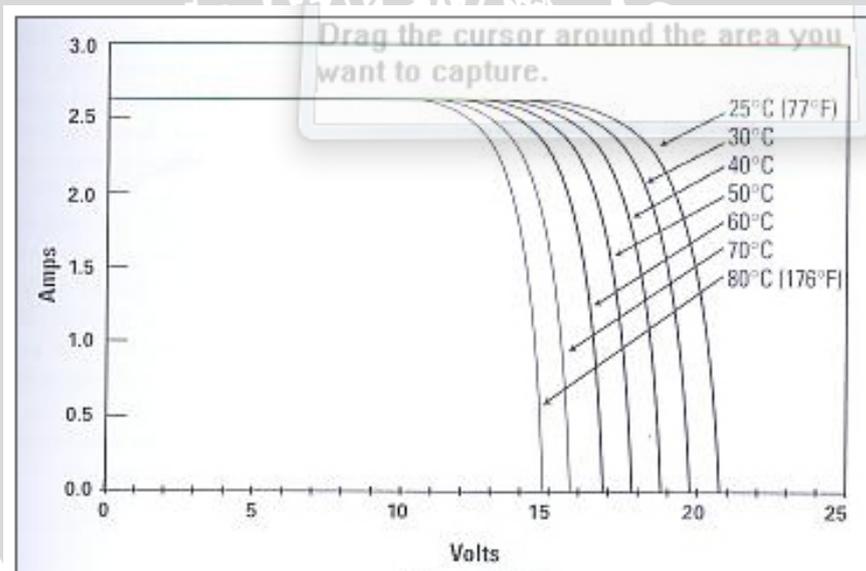
Gambar 2.5 Kurva Arus-Tegangan untuk Radiasi Matahari yang Berbeda
Sumber: Quaschnig, 2005:35

c. Intensitas Cahaya Matahari

Semakin besar intensitas cahaya matahari secara proposional akan menghasilkan arus yang besar.

d. Suhu atau Temperatur panel surya

Sebagaimana suhu panel surya meningkat diatas standar suhu normal 25°C , efisiensi modul panel surya dan tegangan akan berkurang. Gambar 2.6 memperlihatkan bahwa, suhu sel meningkat diatas 25°C (suhu modul panel surya, bukan suhu udara), bentuk kurva I-V tetap sama, tetapi bergeser ke kiri sesuai dengan kenaikan suhu panel surya, menghasilkan tegangan dan daya yang lebih kecil. Panas dalam kasus ini, adalah hambatan listrik untuk aliran elektron. Untuk itu aliran udara di sekeliling modul solar sel sangat penting untuk menghilangkan panas yang menyebabkan suhu panel surya yang tinggi.



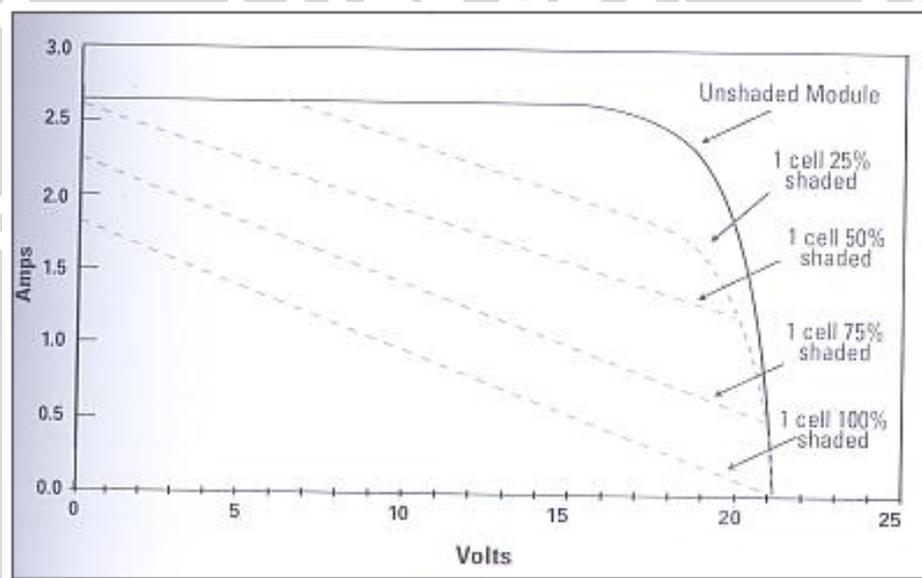
Gambar 2.6 Kurva Arus-Tegangan pada Sel Surya terhadap Perubahan Suhu

Sumber: Quaschnig, 2005:36

e. Bayangan atau Shading

Shading adalah dimana salah satu atau lebih sel silikon dari panel surya tertutup dari sinar matahari. Shading akan

mengurangkan keluarann daya dari panel surya. Beberapa jenis modul panel surya sangat terpengaruh oleh shading dibandingkan yang lain. Gambar 2.7 memperlihatkan efek yang sangat ekstrim pengaruh shading pada satu sel dari modul panel surya *single crystalline* yang tidak memiliki internal *bypass diodes*. Untuk mengatasi hal tersebut panel surya dipasang *bypass diode*, *bypass diode* untuk arus mengalir ke satu arah, mencegah arus ke silikon yang kena bayangan.



Gambar 2.7 Kurva Arus-Tegangan pada Sel Surya terhadap Perubahan Bayangan

Sumber: Quaschnig, 2005:36

2.3 Baterai

Baterai mengakumulasi kelebihan energi yang dihasilkan oleh sistem *photovoltaic* dan menyimpannya untuk digunakan pada saat tidak ada masukan energi dari sumber lain. Kapasitas baterai untuk menyimpan energi dinilai dalam amp.jam: 1 amp dialirkan selama 1 jam = 1 amp.jam.

Produsen biasanya memberi tingkat penyimpanan baterai dalam waktu 20 jam, sehingga suatu baterai dengan kapasitas 220 amp-jam baterai akan memberikan 11 amp selama 20 jam pada tegangan kerjanya. Tingkat ini dirancang

hanya sebagai sarana untuk membandingkan baterai yang berbeda dengan standar yang sama dan tidak dapat dianggap sebagai jaminan kinerja. Gambar 2.8 memperlihatkan contoh baterai yang sensitif terhadap iklim, sejarah pemakaiannya, suhu dan usia. Untuk setiap 1,0 amp.jam dipakai dari baterai, akan perlu mengisi sekitar 1,25 jam.amp kembali untuk mengembalikan baterai ke kondisi semula. Angka ini juga bervariasi sesuai dengan jenis suhu, baterai dan usia. (<http://newcastlebatteries.net.au/motor-home/LPS12-115>, 2014)



Gambar 2.8 Contoh Baterai
Sumber: Baterai Leoch LPS12-115

2.3.1 Rating Kapasitas Baterai

Energi yang tersimpan dalam baterai harus cukup kuat untuk starter, untuk itu baterai harus terisi penuh. Kapasitas baterai menunjukkan jumlah listrik yang disimpan baterai yang dapat dilepaskan sebagai sumber listrik. Kapasitas baterai dipengaruhi oleh ukuran plat, jumlah plat, jumlah sel dan jumlah elektrolit baterai. Terdapat 3 ukuran yang sering menunjukkan kapasitas baterai, yaitu:

1. *Cranking Current Ampere (CCA)*
2. *Reserve Capacity*
3. *Ampere Hour Capacity (AH)*

1. *Cranking Current Ampere (CCA)*

Kapasitas baterai tergantung pada bahan plat yang bersinggungan dengan larutan elektrolit, bukan hanya jumlah plat tetapi besar ukuran (luas permukaan singgung) pada plat yang akan menentukan kapasitasnya. *The Internasional standard* memberikan nilai untuk kapasitas baterai dengan *SAE Cranking Current or Cold*.

2. *Cranking Current (CCA Cold Cranking Ampere)*.

Nilai CCA dari suatu baterai adalah arus (dalam ampere) dari baterai yang diisi penuh sehingga dapat memberikan arus untuk 30 detik pada 18 derajat *Celcius* selama itu tetap menjaga tegangan setiap sel 1.2 volt atau lebih.

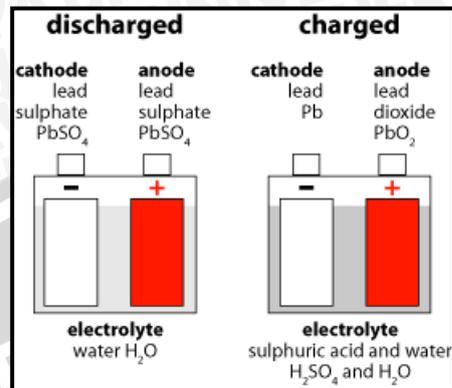
3. *Reserve Capacity*

Kapasitas layanan adalah banyaknya waktu dalam menit pada baterai yang diisi penuh dapat memberikan arus sebesar 25 ampere pada 27 derajat *Celcius* setelah sistem pengisian dilepas. Tegangan tidak boleh turun dibawah 1.75 volt per sel (10.5 volt total untuk baterai 12 volt). Ampere Hour Capacity (AH) Kapasitas baterai adalah banyaknya arus pada baterai yang diisi penuh dapat menyediakan arus selama 20 jam pada 27 derajat *Celcius*, tanpa penurunan tegangan tiap sel dibawah 1.75 volt.

2.3.2 Cara Kerja Baterai

Sel baterai timbal-asam terdiri dari elektrode positif dan negatif dari komposisi yang berbeda tersuspensi dalam larutan asam sulfat yang disebut elektrolit. Gambar 2.9 memperlihatkan bahwa Ketika sel-sel *discharge*, molekul belerang dari ikatan elektrolit dengan elektrode dan elektron lepas. Ketika sel *recharges*, kelebihan elektron kembali ke elektrolit. Baterai memperoleh tegangan dari reaksi kimia. Listrik segera mengalir dari baterai

setelah ada sirkuit antara terminal positif dan negatif. Hal ini terjadi ketika setiap beban (alat) listrik terhubung ke baterai.



Gambar 2.9 Diagram Baterai Sesudah dan Sebelum Discharge

Sumber: Baterai Leoch LPS12-115

2.4 *Battery Controller Regulation (BCR)*

Fungsi yang paling dasar dari BCR adalah untuk mengontrol pengisian dan pembebanan baterai. Pengisian terus menerus akan menyebabkan tegangan/energi baterai naik. Kenaikan ini harus dibatasi karena pengisian tanpa batas dapat menyebabkan usia baterai menurun (cepat rusak), demikian pula sebaliknya pemakaian energi baterai harus dibatasi sampai pada nilai tegangan tertentu. Ketika tegangan baterai mencapai nilai tertinggi yang diperbolehkan, maka lampu indikator BCR menyala hijau berkedip dan ini menunjukkan bahwa baterai terisi penuh. Pemakaian secara terus menerus juga harus dihindari karena juga dapat merusak baterai. Ketika tegangan baterai mencapai nilai terendah yang diijinkan, maka BCR memutus aliran beban dengan indikator lampu warna merah menyala. (Mahfudz, 2013:12)

2.5 Rele

Rele adalah suatu piranti yang bekerja berdasarkan elektromagnetik untuk menggerakkan sejumlah kontaktor (saklar) yang tersusun. Kontaktor akan tertutup (on) atau terbuka (off) karena efek induksi magnet yang dihasilkan kumparan (induktor) ketika dialiri arus listrik. Berbeda dengan saklar dimana pergerakan kontaktor (on/off) dilakukan manual tanpa perlu arus listrik.

Sebagai komponen elektronika, rele mempunyai peran penting dalam sebuah sistem rangkaian elektronika dan rangkaian listrik untuk menggerakkan sebuah perangkat yang memerlukan arus besar tanpa terhubung langsung dengan perangkat pengendali yang mempunyai arus kecil. Dengan demikian rele dapat berfungsi sebagai pengaman.

Ada beberapa jenis rele berdasarkan cara kerjanya yaitu:

1. Normaly On : Kondisi awal kontaktor tertutup (On) dan akan terbuka (Off) jika rele diaktifkan dengan cara memberi arus yang sesuai pada kumparan (coil) rele. Istilah lain kondisi ini adalah Normaly Close (NC).
2. Normaly Off : Kondisi awal kontaktor terbuka (Off) dan akan tertutup jika rele diaktifkan dengan cara memberi arus yang sesuai pada kumparan (coil) rele. Istilah lain kondisi ini adalah Normaly Open (NO).
3. Change-Over (CO) atau Double-Throw (DT) : Rele jenis ini memiliki dua pasang terminal dengan dua kondisi yaitu Normaly Open (NO) dan Normaly Close (NC).

2.6 Inverter

Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak balik (AC). Inverter mengkonversi DC dari perangkat seperti baterai, panel surya menjadi AC. (<http://www.panelsurya.com/index.php/id/inverter>)

Penggunaan inverter dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah untuk perangkat yang menggunakan AC (Alternating Current).

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan inverter:

- Kapasitas beban dalam Watt,
- Input DC 12 Volt atau 24 Volt
- *Sine wave* ataupun *square wave* output AC

True sine wave inverter diperlukan terutama untuk beban-beban yang masih menggunakan motor agar bekerja lebih mudah, lancar dan tidak cepat panas. Oleh karena itu dari sisi harga maka *true sine wave* inverter adalah yang paling mahal

diantara yang lainnya karena dialah yang paling mendekati bentuk gelombang asli dari jaringan listrik PLN.

Dalam perkembangannya di pasaran juga beredar *modified sine wave inverter* yang merupakan kombinasi antara *square wave* dan *sine wave*. Bentuk gelombangnya bila dilihat melalui *oscilloscope* berbentuk sinus dengan ada garis putus-putus di antara sumbu $y=0$ dan grafik sinusnya. Perangkat yang menggunakan kumparan masih bisa beroperasi dengan *modified sine wave inverter*, hanya saja kurang maksimal. Sedangkan pada *square wave inverter* beban-beban listrik yang menggunakan kumparan / motor tidak dapat bekerja sama sekali.

Selain itu dikenal juga istilah *Grid Tie Inverter* yang merupakan special inverter yang biasanya digunakan dalam sistem energi listrik terbarukan yang mengubah arus listrik DC menjadi AC yang kemudian dialirkan ke jaringan listrik yang sudah ada. *Grid Tie Inverter* juga dikenal sebagai *synchronous inverter* dan perangkat ini tidak dapat berdiri sendiri, apalagi bila jaringan tenaga listriknya tidak tersedia. Dengan adanya *grid tie inverter* kelebihan energi yang diperoleh dari sistem PLTS ini bisa disalurkan kembali ke jaringan listrik PLN.

Rugi-rugi / *loss* yang terjadi pada inverter biasanya berupa disipasi daya dalam bentuk panas. Efisiensi tertinggi dipegang oleh *grid tie inverter* yang diclaim bisa mencapai 92-97% bila beban outputnya hampir mendekati rated bebannya. Sedangkan pada umumnya efisiensi inverter adalah berkisar 50-90% tergantung dari beban outputnya. Bila beban outputnya semakin mendekati beban kerja inverter yang tertera maka efisiensinya semakin besar, demikian pula sebaliknya. *Modified sine wave inverter* ataupun *square wave inverter* bila dipaksakan untuk beban-beban induktif maka efisiensinya akan jauh berkurang dibandingkan dengan *true sine wave inverter*. Perangkatnya akan menyedot daya 20% lebih besar dari yang seharusnya.

2.7 *Switch Controller*

Proses kendali sistem hibrid antara PLTS dan PLN dilakukan oleh unit kontroler. Sistem hibrida yang akan dirancang menggunakan prinsip kerja

satu arah, yaitu dalam satu waktu tertentu beban hanya disuplai oleh salah satu pembangkit, oleh karena itu *switch controller* akan bertindak mengatur sumber pembangkit yang akan mensuplai beban. Pada *switch controller* yang akan dirancang, unit kontroler dapat digunakan secara manual maupun otomatis. Secara manual yaitu pengguna dapat memilih sumber pembangkit yang akan mensuplai beban dengan menentukan salah satu sumber pembangkit yang akan bekerja terlebih dahulu. Secara otomatis yaitu unit kontroler akan bekerja secara otomatis mendeteksi kesiapan sumber pembangkit yang akan mensuplai beban. Jika salah satu sumber pembangkit tidak dapat lagi mensuplai beban, maka secara otomatis sumber pembangkit yang lain yang akan menggantikannya.

Pada saat sistem hibrida mulai bekerja (*start*), unit kontroler akan memilih mode yang akan digunakan. Jika yang digunakan mode manual, maka pengguna harus memilih sumber pembangkit yang akan digunakan dengan menentukan pilihan mode PLN atau mode PLTS. Pada saat salah satu sumber pembangkit menurun dalam mensuplai beban, maka pengguna harus mengaktifkan mode untuk pembangkit yang lain secara manual. Jika yang digunakan mode otomatis, maka unit kontroler akan memeriksa tegangan *Battery Controller Regulation*(BCR) pada PLTS. Apabila tegangan tidak lebih besar dari 22,2V, maka PLTS akan melakukan pengisian.(Sistem bekerja pada tegangan 24 Volt). (Liem Ek Bien, 2008:39).

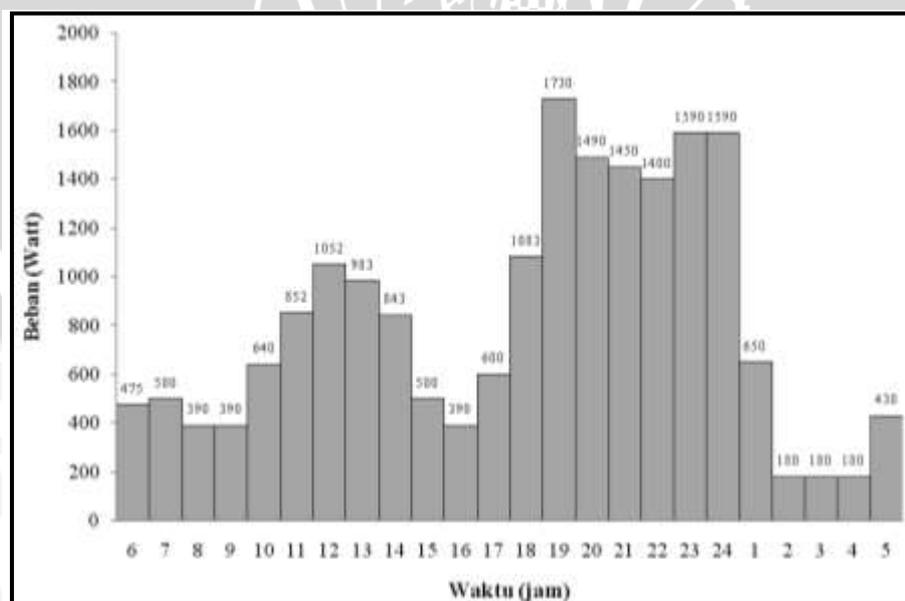
Pada saat PLTS melakukan pengisian (*charging*), perintah diteruskan ke PLN untuk mensuplai beban. Apabila PLTS sudah melakukan proses *charging* sampai pada tegangan lebih besar dari 23,3V, maka PLN akan off dan unit kontroler akan mendeteksi lagi tegangan BCR pada PLTS. Apabila tegangan lebih besar dari 22,2V, maka PLTS akan bekerja mensuplai beban. Pada saat bekerja mensuplai beban, PLTS juga melakukan pengisian (*charging*).

2.8 Beban Listrik

Beban sistem tenaga dapat dibagi menjadi industri, komersial, dan perumahan. Beban-beban industri yang berupa komposit dan motor induksi

membentuk proporsi tinggi. Beban komposit ini adalah fungsi dari tegangan dan frekuensi dan membentuk bagian utama dari beban sistem. Beban komersial dan perumahan sebagian besar terdiri dari penerangan, pemanasan memasak, dan peralatan elektronik. Beban ini independen dari frekuensi dan mengkonsumsi daya reaktif kecil dan diabaikan. Beban bervariasi sepanjang hari, dan harus tersedia bagi konsumen sesuai permintaan. Kurva utilitas beban-sehari adalah gabungan dari permintaan yang dibuat oleh berbagai kelas pengguna. Nilai terbesar dari beban selama periode 24-jam disebut permintaan puncak atau maksimum.

Pada umumnya ada keragaman besarnya beban puncak antara kelas-kelas beban yang berbeda, sehingga faktor beban sistem secara keseluruhan. Agar pembangkit listrik dapat beroperasi secara ekonomis, ia harus memiliki faktor beban yang tinggi. Gambar 2.10 memperlihatkan bahwa Faktor beban sistem umumnya berkisar antara 55 sampai 70 persen. Peramalan beban di semua tingkat adalah fungsi penting dalam operasi, perencanaan operasional, dan perencanaan sistem tenaga listrik. (El-Hawary, 2008:43).



Gambar 2.10 Contoh Grafik Karakteristik Beban

Sumber: *Introduction To Electrical Power Systems*, 2008:43

2.9 Perhitungan Ekonomi

Sebagaimana halnya pada proyek-proyek energi umumnya, pada proyek listrik hal-hal yang menyangkut biaya merupakan persoalan yang sangat penting. Dalam kebanyakan kasus, persoalan biaya menentukan apakah proyek itu akan dibangun atau tidak. Dalam kasus energi listrik yang ingin dibangkitkan dalam biaya seekonomis mungkin, kalkulasi biaya sebuah pusat listrik harus dapat pula dihitung dengan cara optimal dan dapat dipertanggungjawabkan. Perhitungan ini akan sulit, karena banyak komponen biaya berubah dengan waktu dan pandangan umum terhadap fungsi listrik dalam masyarakat yang juga berubah dengan waktu. Secara umum, biaya untuk membangkitkan energi listrik dapat dibagi dalam dua bagian.

2.9.1 Biaya Tetap

Biaya tetap ini tidak akan tergantung dari operasi pusat listrik, dan secara garis besar terdiri atas komponen-komponen berikut:

1. Bunga atas investasi;
2. Depresiasi
3. Asuransi
4. Sebagian besar gaji dan upah
5. Sebagian kecil biaya bahan bakar

2.9.2 Biaya Variabel

Biaya ini tergantung dari cara menjalankan pusat listrik, yaitu berhubungan dengan jumlah energi listrik yang dihasilkan, dan terutama terdiri atas:

1. Sebagian besar biaya bahan bakar;
2. Pemeliharaan dan perbaikan;
3. Sebagian kecil gaji dan upah.

Sebelum membahas lebih lanjut mengenai dasar dasar perhitungan yang berkaitan dengan implementasi konsep nilai waktu dari uang (*time value of money*), terlebih dahulu kita perlu mengenal beberapa notasi lengkap dengan pengertiannya berikut:

i = (*interest*) menunjukkan tingkat suku bunga pada setiap suku periode pembungaan.

n = menunjukkan lamanya (jumlah waktu) periode pembungaan.

P = (*present value*) menunjukkan nilai tunai, yaitu sejumlah uang pada saat sekarang.

F = (*future value*) menunjukkan nilai akhir, yaitu sejumlah uang pada akhir periode pembungaan

A = (*annual value*) menunjukkan suatu pembayaran atau penerimaan secara seri dan sama besar (*uniform*) pada setiap waktu tertentuyang terus menerus, selama periode pembungaan

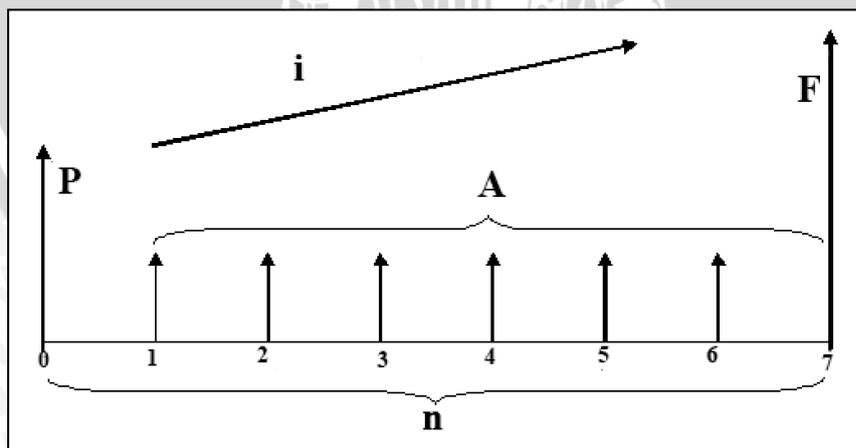
Rumus-rumus yang berlaku antara lain:

$$F = P(1 + i)^n; \quad P = F \left[\frac{1}{(1 + i)^n} \right]$$

$$A = P \left[\frac{i(1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right]; \quad P = A \left[\frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n} \right]$$

$$F = A \left[\frac{(1 + i)^n - 1}{i} \right]; \quad A = F \left[\frac{i}{(1 + i)^n - 1} \right]$$

Gambar 2.11 menjelaskan diagram nilai waktu dari uang



Gambar 2.11 Diagram Nilai Waktu dari Uang

Salah satu tahapan terpenting untuk mengetahui sejauh mana kelayakan ekonomis dari setiap rencana usaha dengan ukuran yang menyeluruh adalah dengan melakukan perbandingan investasi berdasar beberapa kriteria investasi yang telah dikembangkan oleh banyak ahli manajemen. Secara umum terdapat lima metode analisis yang bias digunakan untuk membandingkan alternative dari berbagai rencana investasi yaitu:

1. Analisis Nilai Sekarang (ANS)

Dalam bahasa inggris dikenal dengan istilah Present Value Anayisis, adalah metode perbandingan rencana investasi yang mendasarkan perhitungannya pada waktu sekarang atau nilai sekarang. Pada prinsipnya analisis ini adalah menghitung selisih nilai sekarang (P) antara pemasukan dan pengeluaran total selama periode usaha yang direncanakan. Selisih ini dikenal dengan istilah Nilai Sekarang Bersih (NSB) atau dalam bahasa inggris dikenal dengan istilah Net Present Value (NPV). Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$NSB = NS_{pemasukan} - NS_{pengeluaran}$$

2. Analisis Nilai Tahunan (ANT)

Analisis Nilai Tahunan adalah metode perbandingan rencana investasi yang mendasarkan perhitungannya pada suatu serial penerimaan dan pembayaran yang uniform selama periode analisis. Pada prinsipnya analisis ini adalah menghitung selisih nilai rata-rata tahunan antara pemasukan dan pengeluaran total selama periode usaha yang direncanakan. Selisih ini dikenal dengan istilah Nilai Tahunan Bersih (NTB).

$$NTB = NT_{pemasukan} - NT_{pengeluaran}$$

$$NTB = NSB(A/P, i, n)$$

$$NTB = NS_{pemasukan} \left(\frac{A}{P}, i, n \right) - NS_{pengeluaran} \left(\frac{A}{P}, i, n \right)$$

Implementasi metode analisis nilai tahunan ini lebih sederhana terutama jika dikaitkan dengan pertimbangan berbagai jenis periode analisis.

3. Analisis Laju Pengembalian (ALP)

Analisis laju pengembalian yang dalam bahasa inggrisnya adalah *Internal Rate of Return* (IRR), pada dasarnya mengandung pengertian suatu analisis untuk mendapatkan nilai suku bunga tertentu yang dapat mengakibatkan nilai total pemasukan sama dengan nilai total pengeluaran. Dari pengertian tersebut, dapat diketahui bahwa perhitungan ALP atau IRR dapat menggunakan Analisis nilai sekarang maupun tahunan.

$$NSB=0$$

$$NS_{pemasukan} - NS_{pengeluaran} = 0$$

$$NS_{pemasukan} / NS_{pengeluaran} = 1$$

Atau

$$NTB = 0$$

$$NT_{pemasukan} - NT_{pengeluaran} = 0$$

$$NT_{pemasukan} / NT_{pengeluaran} = 1$$

4. Analisis Rasio Manfaat Biaya (RMB)

Analisis rasio manfaat biaya atau dikenal juga dengan istilah *BenefitCost Ratio*(B/C), pada dasarnya mengandung pengertian suatu analisis untuk mengetahui besarnya perbandingan antara total pendapatan atau pemasukan (manfaat)dengan total pembiayaan atau pengeluaran (biaya) dalam suatu periode tertentu. Secara matematis dapat ditulis:

$$RMB = \frac{NS_{pemasukan}}{NS_{pengeluaran}}; \quad RMB = \frac{NT_{pemasukan}}{NT_{pengeluaran}}$$

5. Analisis Periode Pengembalian (APP)

Analisis Periode Pengembalian sering juga dikenal dengan istilah *Payback period*, yaitu suatu analisis untuk mengetahui lama

waktu yang dibutuhkan agar nilai total masukan sama dengan nilai total pengeluaran .dengan kata lain menentukan berapa “n” saat nilai masukan sama dengan nilai pengeluaran. Analisis dilakukan dengan menghitung aliran dana dari tahun ke tahun seperti tabel berikut:

Tabel 2.1 Contoh Tabel Aliran Dana dengan Dana Kumulatifnya

Tahun ke-	0	1	2	3	4	5	6
Aliran Dana(Rp.)	20000	2000	3000	5000	8000	4000	10000
Kumulatif(Rp.)	-	-	-	-	-	2000	12000
	20000	18000	15000	10000	2000		

Dari Tabel 2.1 memperlihatkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik impas periode pengembalian adalah 4.5 tahun. (Unggul, 2004:34).

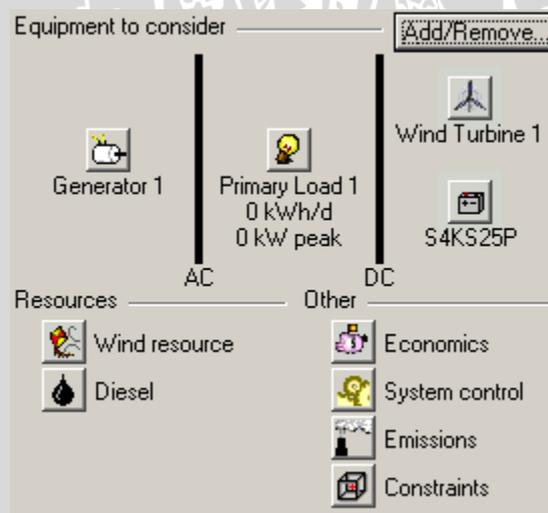
2.10 Software Homer

HOMER adalah suatu model *Micropower* untuk mempermudah dalam mengevaluasi desain dari jaringan tunggal (*grid-off*) maupun jaringan yang terkoneksi dengan sistem (*grid-connected*). Dalam merancang sistem pembangkit harus diperhatikan mengenai konfigurasi sistem, diantaranya: komponen apa saja yang tidak dapat dimasukkan dalam konfigurasi sistem, berapa banyak dan berapa ukuran masing-masing komponen yang harus digunakan, banyaknya pilihan teknologi dalam perhitungan biaya dan ketersediaan sumber daya energi. Pada Gambar 2.12 memperlihatkan optimasi HOMER dan algoritma analisis yang sensitif dapat lebih mudah untuk mengevaluasi konfigurasi sistem dan banyak kemungkinan.

Model ini dapat menganalisa stand alone sistem dengan menggunakan beberapa komponen energi angin, PV dan *fuel cell*, daya DC yang dihasilkan PV dan *fuel cell* diubah menjadi AC dan disalurkan ke bus AC, daya yang dihasilkan wind turbin secara langsung dialirkan ke bus AC, kelebihan daya akan disimpan

di battery dan electrolizer. Software Homer ini menentukan dan menghitung nilai bersih sekarang (*Net Present Cost*, NPC), biaya pembangkitan listrik (*Cost Of Electricity*, COE) dan mengoptimasi berdasarkan nilai NPC terendah.

Untuk data yang digunakan, *software* HOMER dapat memasukkan data pembangkit, peralatan, dan sumber energi baik secara manual ataupun otomatis. Untuk pengambilan data otomatis, yaitu mengambil data yang telah disediakan pada *website* *software* HOMER, seperti karakteristik angin dan matahari pada daerah tertentu. Sedangkan untuk data manual bisa mengisi pada kolom data yang disediakan oleh *software* HOMER. (*Getting Started Guide for HOMER Legacy, NREL version 2.68, january 2011.*) Hasil dari perhitungan *software* HOMER, untuk mengetahui kelebihan energi yang dihasilkan oleh konfigurasi sistem pembangkit yang kita buat, sehingga pada akhirnya diperlukan perbaikan konfigurasi untuk mengurangi kelebihan energi yang dihasilkan.



Gambar 2.12 Konfigurasi Sistem pada *Software* HOMER

Pada Gambar 2.13 memperlihatkan hasil NPC juga terlihat yaitu total biaya yang dikeluarkan untuk mengoptimalkan konfigurasi pembangkit yang dibuat.

Simulation Results									
System Architecture: 1 Generic 10kW 15 kW Generator 1 8 Trojan L16P					6 kW Inverter 6 kW Rectifier Cycle Charging				
					Total NPC: \$ 337,194 Levelized COE: \$ 0.850/kWh Operating Cost: \$ 21,614/yr				
Cost Summary		Cash Flow		Electrical		G10		Label	
Production		kWh/yr		%		Consumption		kWh/yr	
Wind turbine		8,337		20		AC primary load		31,025	
Generator 1		32,376		80		Total		31,025	
Total		40,712		100					
		Quantity		kWh/yr		%			
		Excess electricity		7,462		18.3			
		Unmet electric load		0.0000176		0.0			
		Capacity shortage		0.00		0.0			
		Quantity		Value					
		Renewable fraction		0.205					

Gambar 2.13 Hasil Simulasi Konfigurasi Sistem pada *Software* HOMER

Sumber : *Getting Started Guide for HOMER Legacy, NREL*

Pada intinya, *software* ini bekerja berdasarkan tiga langkah, yaitu simulasi, optimasi dan analisis sensitivitas.

- **Simulasi**

Software ini akan melakukan simulasi pengoperasian sistem Pembangkit Listrik Hibrida dengan membuat perhitungan keseimbangan energi selama 8.760 jam dalam kurun satu tahun. Untuk setiap jamnya, *software* HOMER membandingkan kebutuhan listrik dan panas dengan energi yang dapat dipasok oleh sistem pada jam tersebut, dan menghitung aliran energi dari dan ke setiap komponen dari sistem. Untuk sistem dengan baterai atau generator bahan bakar, HOMER juga memutuskan kapan akan mengoperasikan generator dan mengisi atau mengosongkan baterai.

- **Optimasi**

Setelah melalui tahap simulasi, tahapan selanjutnya adalah mengoptimasi semua kemungkinan konfigurasi sistem kemudian diurutkan berdasarkan nilai bersih sekarang (*Net Present Cost*) yang digunakan untuk membandingkan pilihan desain sistem.

- **Analisis Sensitivitas**

Ketika variabel sensitivitas ditambahkan, HOMER mengulangi proses optimasi untuk setiap variabel sensitivitas yang ditentukan. Misalnya, jika ditetapkan konsumsi beban (kWh/hari) sebagai sensitivitas variabel, maka HOMER akan melakukan simulasi konfigurasi sistem untuk berbagai konsumsi beban tersebut.

2.11 Perhitungan Panel Surya

2.11.1 Beban Total

Langkah awal dalam analisis sistem hibrida PLTS dan PLN adalah menentukan beban total pada harian pada sistem itu sendiri. Dari penentuan beban kurva beban listrik rumah tangga. Beban total harian merupakan jumlah energi yang dibutuhkan oleh beban listrik sistem setiap harinya.

Penentuan kebutuhan total beban sistem merupakan langkah awal dalam merancang sistem hibrida PLTS dan PLN. Penentuan kebutuhan total beban sistem telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Besar energi beban yang akan disuplai oleh PLTS adalah sebesar:

$$\text{Energi awa } (E_A) = \frac{h}{2} \{P_o + 2 \sum_{i=1}^{n-1} P_i + P_n\} \quad (2.1)$$

Dengan h = selang pengukuran (60 menit)

P_n = Daya hasil pengukuran ke n (Watt)

P_i = Daya pengukuran $P_1 + P_{n-1}$

Pada modul PV akan selalu ada daya yang hilang, besarnya tergantung pada jenis dan kualitas dari modul surya, untuk amannya maka kalikan total watt jam perhari dengan 1,3, nilai inilah yang harus dihasilkan oleh sistem PV (Mark, 1991). Total energi sistem yang disyaratkan adalah sebesar:

$$E_T = E_A \times \text{rugi-rugi sistem} \quad (2.2)$$

Dengan E_T = Energi total

E_A = Energi Awal

2.11.2 Daya Modul Surya

Kapasitas daya modul sel surya dapat diperhitungkan dengan memperhatikan beberapa faktor, yaitu kebutuhan energi sistem yang disyaratkan, insolasi matahari, dan faktor penyesuaian (*adjustment factor*).

Di Indonesia umumnya energi surya yang dapat diserap dan dikonversi kedalam energi listrik berlangsung selama 5 jam, karena itu untuk menghitung berapa kebutuhan modul surya adalah dengan cara membagi angka kebutuhan daya tersebut dengan 5. (Chris, 2009:23).

$$\text{Kebutuhan panel surya} = \frac{E_T}{5 h} \quad (2.3)$$

$$\text{Panel surya} = \frac{\text{kebutuhan panel surya}}{\text{daya panel surya yang digunakan}} \quad (2.4)$$

2.11.3 Kapasitas Baterai

Suatu energi (dalam Wh) dikonversikan menjadi Ah yang sesuai dengan satuan kapasitas baterai sebagai berikut :

$$\text{Ah} = \frac{E_T}{V_S} \quad (2.5)$$

Dimana, Ah = kapasitas baterai

E_T = Energi Total

Hari otonomi yang ditentukan adalah tiga hari, jadi baterai hanya menyimpan energi dan menyalurkan pada hari itu juga. Besarnya *deep of discharge* (DOD) pada baterai adalah 85%. Kapasitas baterai yang dibutuhkan adalah:

$$C_b = \frac{Ah \times d}{DOD} \quad (2.6)$$

$$\text{Baterai} = \frac{\text{kapasitas baterai}}{\text{baterai yang akan digunakan}} \quad (2.7)$$

Dimana, C_b = Kapasitas baterai

d = Banyak hari otonomi

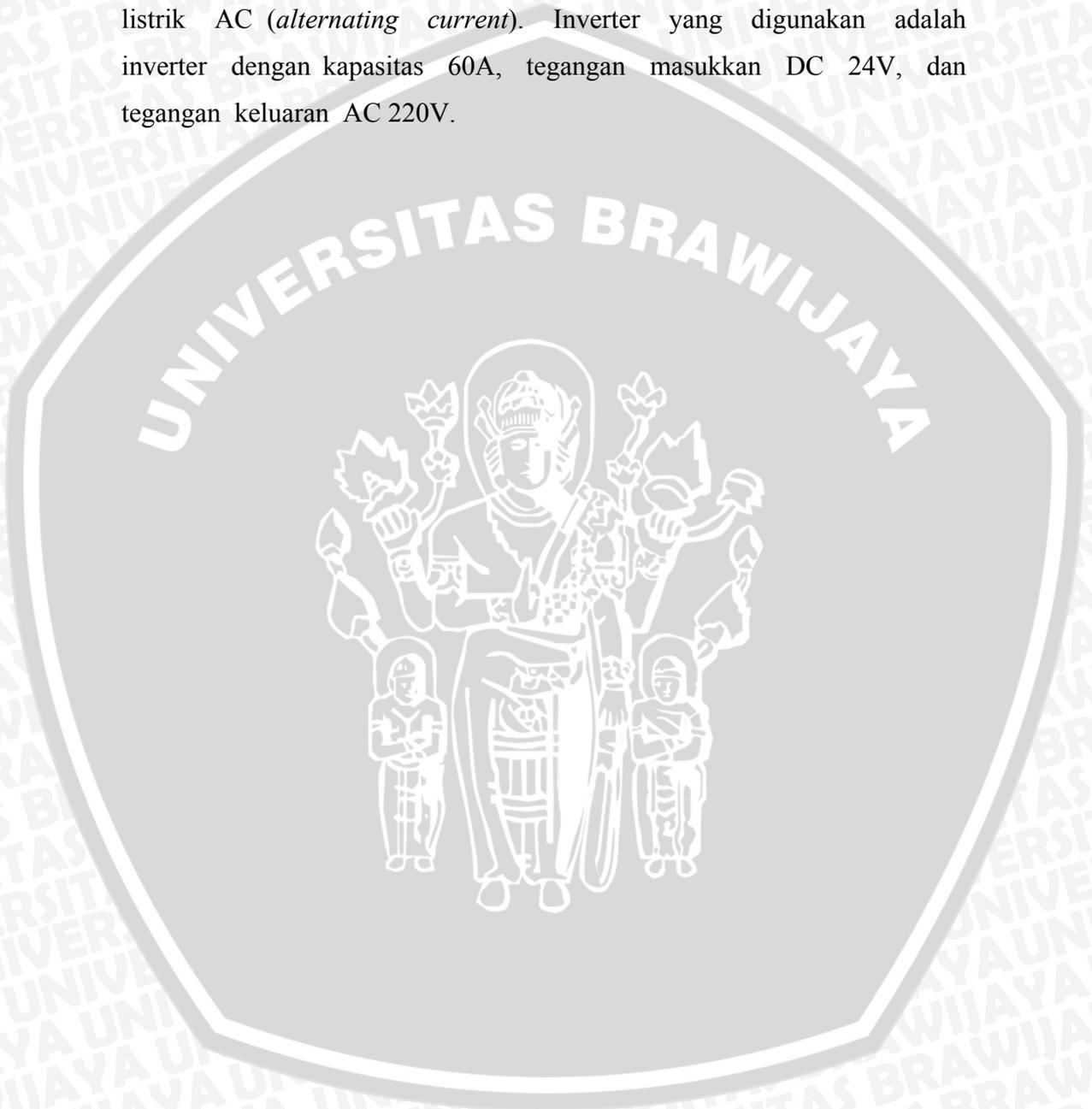
DOD = *deep of discharge*

2.11.4 Kapasitas Baterai Controller Regulator

Battery Controller Regulator (BCR) mempunyai dua fungsi utama. Fungsi utama sebagai titik pusat sambungan ke beban, modul sel surya dan baterai. Fungsi yang kedua adalah sebagai pengatur sistem agar penggunaan listriknya aman dan efektif, sehingga semua komponen-komponen sistem aman dari bahaya perubahan level tegangan.

2.11.5 Kapasitas Inverter

Inverter berfungsi untuk merubah arus dan tegangan listrik DC (*direct current*) yang dihasilkan array PV menjadi arus dan tegangan listrik AC (*alternating current*). Inverter yang digunakan adalah inverter dengan kapasitas 60A, tegangan masukan DC 24V, dan tegangan keluaran AC 220V.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penyusunan penelitian ini didasarkan pada masalah yang bersifat analisis, yaitu perencanaan dan analisis data agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk menganalisis sistem ini adalah penentuan spesifikasi sistem, studi literatur, analisis data, dan pengambilan kesimpulan.

3.2 Spesifikasi Sistem

Data-data yang digunakan dalam pembahasan ini terdiri dari data sekunder.

3.2.1 Data *Photovoltaic*

Dalam sistem ini juga dibutuhkan data spesifikasi komponen sistem yang telah ada di pasaran, yaitu modul *photovoltaic*, baterai, *Battery Control Regulator*, dan inverter. Dengan demikian setelah spesifikasi yang dibutuhkan selesai dihitung, dapat dianalisis langkah apa yang harus diambil agar sistem yang dirancang dapat terealisasi.

Spesifikasi utama dari modul *Photovoltaic* ditunjukkan oleh besarnya daya keluaran maksimumnya, dinyatakan dalam satuan *watt-peak* (Wp). Tabel 3.1 memperlihatkan spesifikasi dari modul *Photovoltaic* yang ada.

Tabel 3.1 Spesifikasi *photovoltaic*

	ES-E-	ES-E-	ES-E-	ES-E-	ES-E-195
<i>Characteristics</i>	195	195	195	195	-fc3*
	-fc3*	-fc3*	-fc3*	-fc3*	
<i>Max. power</i>	200W	205W	210W	215W	220W
<i>Power tolerance</i>	±5%	±5%	±5%	±5%	±5%

<i>Voltage at max power</i>	28,3V	28,5V	28,7V	28,9V	29,2V
<i>Current at max power</i>	7,10A	7,21A	7,32A	7,43A	7,54A
<i>Open circuit voltage</i>	35,0V	35,2V	35,4V	35,6V	35,9V
<i>Short circuit current</i>	7,81A	7,91A	8,01A	8,12A	8,22A
<i>Operating temperatur</i>	-40°C to+80°C	-40°C to+80°C	-40°C to+80°C	-40°C to+80°C	-40°C to+80°C
<i>Max. system voltage</i>	1000V	1000V	1000V	1000V	1000V
<i>Max. Series fuse rating</i>	15A	15A	15A	15A	15A
<i>Standart Test Condition</i>	<i>Irradiance 1000W/m², Module temperature 25 °C, AM=1,5</i>				

Sumber: www.evergreensolar.com

3.2.2 Data Baterai

Spesifikasi utama dari baterai adalah kapasitas baterai yang dinyatakan dalam ampere.hour(Ah). Tabel 3.2 Memperlihatkan spesifikasi baterai yang digunakan adalah:

Tabel 3.2 Spesifikasi baterai

Normal Capacity	110Ah
Nominal Voltage	12 V
Rated Capacity	110Ah 1.80V/cell, 25°C
Mac. Discharge Current	1200A(5s)
Cycle Use	14,4V-15,0V at 25°C
Standby Use	13,5V-13,8V at 25°C

Sumber: Baterai Leoch LPS12-115

3.3 Studi Literatur

Dalam penyusunan penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dengan melakukan studi literatur (*library research*), penelusuran informasi digital, dan wawancara narasumber dengan sasaran tinjauan antara lain :

1. Informasi internet.
2. Pustaka-pustaka referensi.
3. Pustaka penunjang.

Studi literatur yang dilakukan bertujuan untuk mengkaji hal-hal yang berhubungan dengan teori-teori yang mendukung dalam menganalisis sistem.

3.4 Analisis Data

Penelitian tentang pemanfaatan Pembangkit Listrik Surya yang di hibrida dengan PLN di gedung layanan akademik jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, tahapannya sebagai berikut:

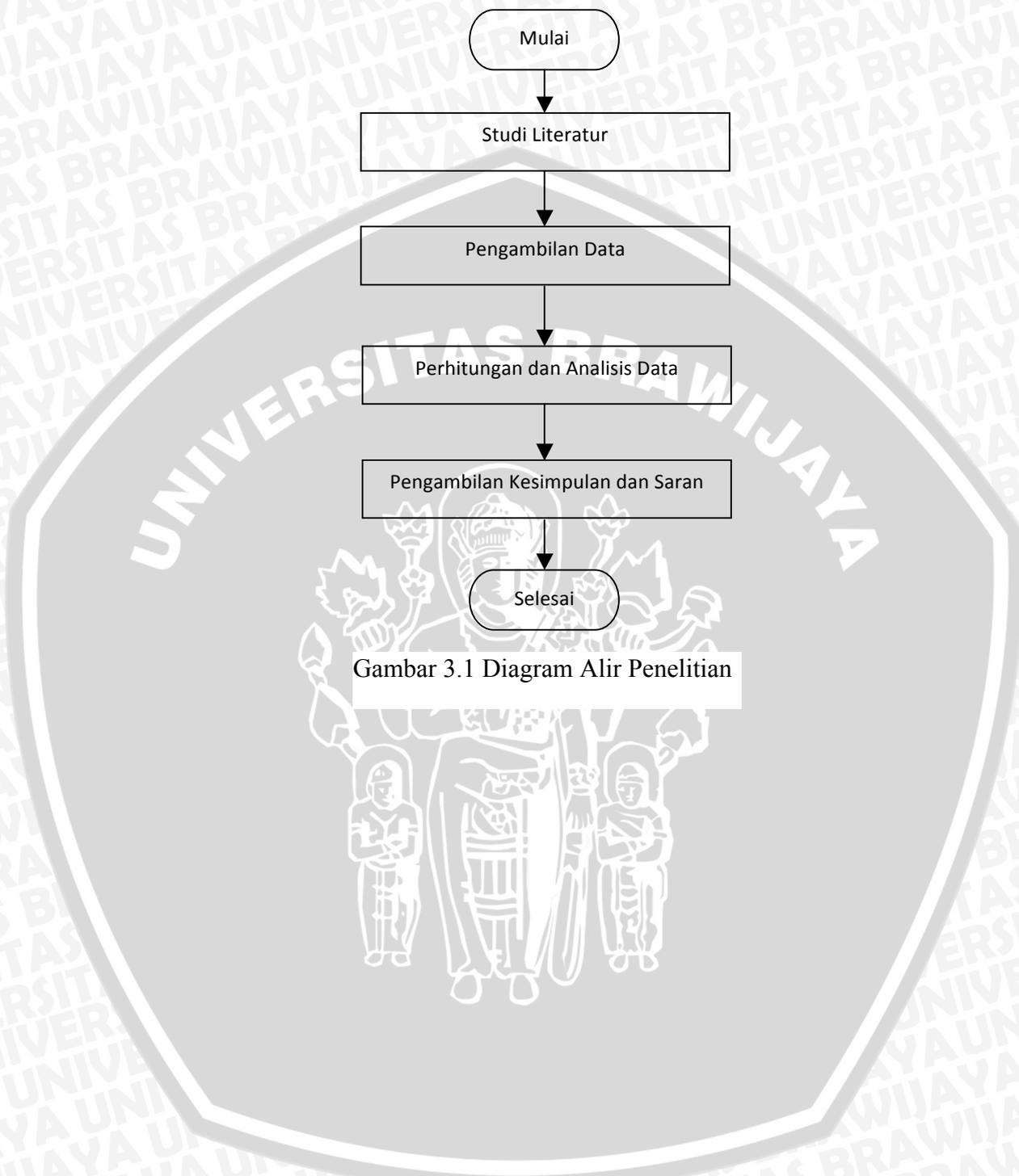
1. Pengumpulan data, mulai dari mencatat kapasitas beban yang ada dengan cara melakukan pengukuran di gedung layanan akademik jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, mencatat kapasitas PLN yang di hibrida dengan PLTS.
2. Menganalisis data-data yang sudah terkumpul secara teknik dan ekonomis menggunakan *software* HOMER.

3.5 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan teori, hasil perhitungan serta analisis, yaitu kelayakan proyek ini untuk dilaksanakan Dan juga dilakukan pemberian saran kepada pembaca yang akan melakukan studi terkait dengan skripsi ini. Meliputi hal-hal yang menjadi kendala dalam penelitian ini, atau hal-hal yang masih memerlukan kajian lebih dalam lagi.

3.6 Diagram alir

Berdasarkan langkah-langkah pada tahapan penelitian, maka diagram alur penelitian dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

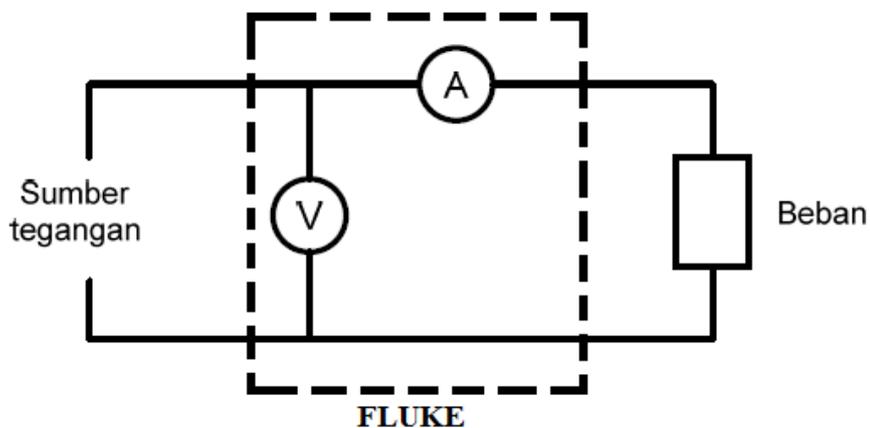
4.1 Data Pendukung yang Digunakan untuk Sistem

Yang dimaksud dengan data pendukung disini adalah data yang diperlukan sebagai pendukung atau pelengkap agar perhitungan dan analisis dapat dilakukan dengan benar, sesuai dengan kondisi dan keadaan yang ada. Data pendukung juga sering disebut data sekunder, artinya bukan data utama yang didapatkan secara langsung melalui pengukuran oleh penulis, tetapi data yang diperoleh dari sumber-sumber terpercaya. Walaupun bukan yang utama, bukan berarti data-data ini tidak penting.

4.2 Analisis Data

4.2.1 Beban Total

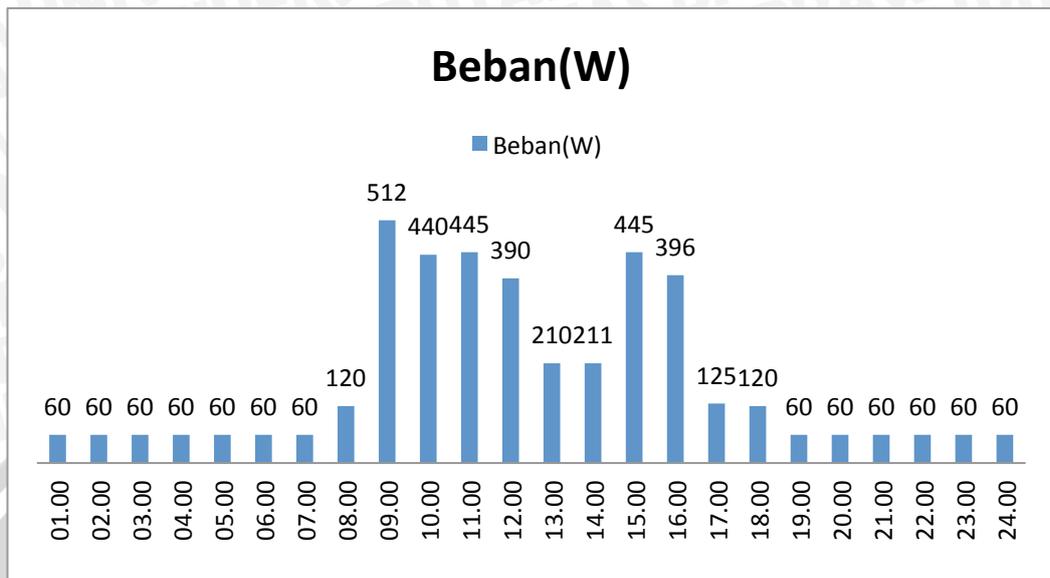
Langkah awal dalam analisis sistem hibrida PLTS dan PLN adalah menentukan beban total harian pada sistem itu sendiri. Beban total harian merupakan jumlah energi yang dibutuhkan oleh beban listrik sistem setiap harinya. Beban terpasang, daya terpasang, lama penggunaan beban, serta kebutuhan energi setiap hari pada sistem. Gambar.4.1 memperlihatkan gambar rangkaian pengukuran beban dan Tabel 4.1 memperlihatkan pengambilan data beban selama satu hari. Gambar 4.2 memperlihatkan Grafik data beban per jam gedung layanan akademik di jurusan elektro FT-UB.



Gambar 4.1 Rangkaian pengukuran beban gedung layanan akademik di jurusan elektro FT-UB

Tabel 4.1 Data pengukuran beban gedung layanan akademik di jurusan elektro FT-UB

Waktu(H)	Beban(W)	Waktu(H)	Beban(W)
01.00	60	13.00	210
02.00	60	14.00	211
03.00	60	15.00	445
04.00	60	16.00	396
05.00	60	17.00	125
06.00	60	18.00	120
07.00	60	19.00	60
08.00	120	20.00	60
09.00	512	21.00	60
10.00	440	22.00	60
11.00	445	23.00	60
12.00	390	24.00	60



Gambar 4.2 Grafik data beban per jam gedung layanan akademik di jurusan elektro FT-UB

Sumber: pengukuran pada tanggal 10-02-2014

Penentuan kebutuhan total beban sistem merupakan langkah awal dalam merancang sistem hibrida PLTS dan PLN. Penentuan kebutuhan total beban sistem telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Besar energi beban yang akan disuplai oleh PLTS adalah sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Energi awal}(E_A) &= \frac{h}{2} \{P_o + 2 \sum_{i=1}^{n-1} P_i + P_n\} \\ &= 4194 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Pada modul PV akan selalu ada daya yang hilang, besarnya tergantung pada jenis dan kualitas dari modul surya, untuk amannya maka kalikan total watt jam perhari dengan 1,3, nilai inilah yang harus dihasilkan oleh sistem PV. Total energi sistem yang disyaratkan adalah sebesar:

$$\begin{aligned} E_T &= E_A \times \text{rugi-rugi sistem} \\ &= 4194 \times 1,3 \\ &= 5452,2 \text{ Wh} \end{aligned}$$

4.2.2 Perhitungan Kapasitas Daya Modul Surya

Kapasitas daya modul sel surya dapat diperhitungkan dengan memperhatikan beberapa faktor, yaitu kebutuhan energi sistem yang disyaratkan, insolasi matahari, dan faktor penyesuaian (*adjustment factor*).

Kebutuhan energi sistem yang disyaratkan telah dihitung dalam bahasan sebelumnya, yaitu sebesar 5452,2 Wh. Di Indonesia umumnya energi surya yang dapat diserap dan dikonversi kedalam energi listrik berlangsung selama 5 jam, karena itu untuk menghitung berapa kebutuhan modul surya adalah dengan cara membagi angka kebutuhan daya tersebut dengan 5.

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan panel surya} &= \frac{ET}{5h} \\ &= \frac{5452,2Wh}{5h} \\ &= 1090,44 \text{ Watt-peak}\end{aligned}$$

Pada sistem ini menggunakan modul panel surya 205 Wp, maka kebutuhan modul surya adalah nilai kebutuhan watt peak tersebut dibagi dengan nilai daya panel surya.

$$\begin{aligned}\text{Panel surya} &= \frac{1090,44 \text{ Wp}}{205 \text{ Wp}} \\ &= 6 \text{ Panel Surya}\end{aligned}$$

Jadi panel surya yang dibutuhkan adalah 6 panel surya dengan ukuran 205Wp.

4.2.3 Perhitungan Kapasitas Baterai

Suatu energi (dalam Wh) dikonversikan menjadi Ah yang sesuai dengan satuan kapasitas baterai sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Ah} &= \frac{ET}{VS} \\ &= \frac{5452,2 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} \\ &= 454,35 \text{ Ah}\end{aligned}$$

Hari otonomi yang ditentukan adalah tiga hari, jadi baterai hanya menyimpan energi dan menyalurkan pada hari itu juga. Besarnya *deep of discharge* (DOD) pada baterai adalah 85%. Kapasitas baterai yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{Ah \times d}{DOD} \\
 &= \frac{454,35Ah \times 3}{0,85} \\
 &= 1603,58 Ah
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan baterai 12 V 110 Ah, maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Baterai} &= \frac{1603,58Ah}{110Ah} \\
 &= 14,57 \\
 &= 16 \text{ baterai}
 \end{aligned}$$

Jadi baterai yang dibutuhkan adalah 16 baterai 12V 110Ah.

4.2.4 Perhitungan Kapasitas *Battery Controller Regulator* (BCR)

Kapasitas arus yang mengalir pada BCR dapat ditentukan dengan mengetahui beban maksimal yang terpasang. Pada Gambar 4.2 Beban maksimal yang terjadi pada 512 watt pukul 09.00.

$$\begin{aligned}
 I_{\max} &= \frac{P_{\max}}{V_s} \\
 &= \frac{512 \text{ watt}}{24 \text{ volt}} \\
 &= 21,33 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

Jadi kapasitas BCR yang harus digunakan harus lebih besar dari 21,33 Ampere.

4.2.5 Konverter

Fungsi konverter adalah untuk mengubah tegangan DC 24 volt menjadi 220 volt AC. Karena beban puncak sistem adalah 512 W/h maka menggunakan konverter 1kw. Untuk menjaga agar tegangan baterai tidak turun terlalu rendah yang dapat menyebabkan kerusakan, maka ON dan OFF dari konverter dikendalikan oleh BCR dengan menggunakan rele 24 volt DC.

4.2.6 KWH Meter

Dapat dilihat dari grafik data beban, terdapat beberapa waktu yang berpotensi mendapatkan energi surya yang maksimal, namun penggunaan energinya minimum. Pada jam 12.00-14.00 penggunaan energi menurun dikarenakan jam istirahat, sedangkan pada jam-jam tersebut merupakan puncak panas matahari. Oleh sebab itu, untuk memaksimalkan pengelolaan energi tersebut, pemerintah mencanangkan peraturan direksi PT PLN untuk menggunakan KWH Meter Exim.

4.3 Kapasitas PLTS Terpasang

a. Modul Surya

Modul surya terdiri dari 6 modul PV yang dihubungkan secara seri dan paralel, 3 modul dipasang secara seri, kemudian 2 modul kelompok seri dipasang secara paralel. Kapasitas daya listrik setiap modul pada kondisi standar adalah 205Wp (*watt-peak*) dengan arus maksimum (I_{max}) 7,21 ampere dan tegangan maksimum (V_{max}) 28,5 volt. Array PV mempunyai $I_m = 14,42$ A dan $V_m = 85,5$ V yang setara dengan daya keluaran (P_{max}) 1230,91 watt.

b. Baterai

Kapasitas baterai yang digunakan adalah 110 AH dengan tegangan 12V. Karena tegangan sistem yang digunakan adalah 24V, maka delapan baterai dipasang secara seri, kemudian 2 pasang baterai seri dipasang secara paralel.

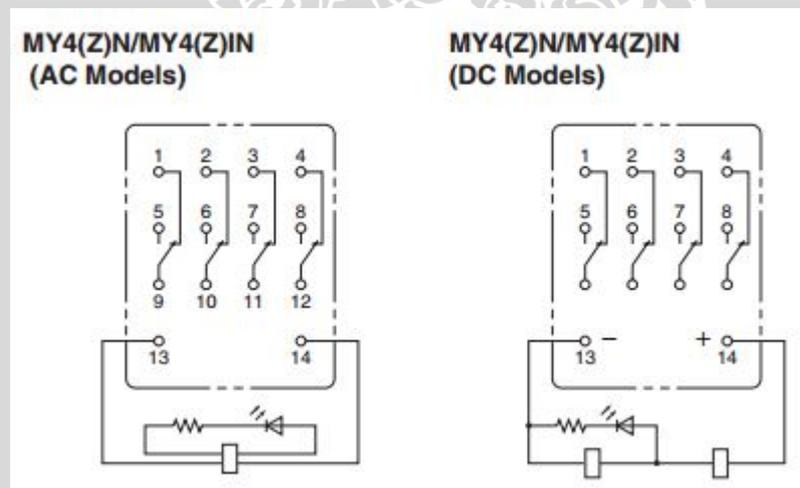
c. Battery Controller Regulator

Fungsi yang paling dasar dari BCR adalah untuk mengontrol pengisian dan pembebanan baterai. Pengisian terus menerus akan menyebabkan tegangan/energi baterai naik. Kenaikan ini harus dibatasi karena pengisian tanpa batas dapat menyebabkan usia baterai menurun (cepat rusak), demikian pula sebaliknya pemakaian energi baterai harus dibatasi sampai pada nilai

tegangan tertentu. Ketika tegangan baterai mencapai nilai tertinggi yang diperbolehkan, maka lampu indikator BCR menyala hijau berkedip dan ini menunjukkan bahwa baterai terisi penuh. Pemakaian secara terus menerus juga harus dihindari karena juga dapat merusak baterai. Ketika tegangan baterai mencapai nilai terendah yang diijinkan, maka BCR memutus aliran beban dengan indikator lampu warna merah menyala. BCR yang digunakan adalah BCR dengan kapasitas arus 30A, dan tegangan 24V.

d. Rele

Rele adalah suatu piranti yang bekerja berdasarkan elektromagnetik untuk menggerakkan sejumlah kontaktor (saklar) yang tersusun. Kontaktor akan tertutup (on) atau terbuka (off) karena efek induksi magnet yang dihasilkan kumparan (induktor) ketika dialiri arus listrik. Gambar 4.3 memperlihatkan contoh rele 24V dan rele 220V.



Gambar 4.3 Rele 220V dan 24V

Pada rele 220V terdapat 4 pasang kaki atau terminal. 1 pasang terminal *output*, 1 pasang terminal *normally open* (NO), 1 pasang terminal *normally closed* (NC), dan 1 pasang terminal tegangan penggerak rele. Pada sistem ini terminal *output* dihubungkan ke beban, sumber tegangan PLN dihubungkan ke terminal NC, sedangkan tegangan *output* dari konverter dihubungkan ke terminal NO dan sekaligus digunakan untuk penggerak rele. Ketika konverter

OFF, maka output rele adalah tegangan dari PLN dan ketika konverter ON, maka tegangan konverter akan menggerakkan terminal rele yang memindahkan saklar dari posisi NC ke posisi NO dan tegangan *output* merupakan tegangan konverter. Selanjutnya, jika tegangan baterai turun karena pemakaian dan mencapai nilai terendah yang diijinkan, maka BCR memutuskan *output* bebannya sehingga tidak ada tegangan di konverter dan saklar rele akan kembali ke posisi NC. Dengan demikian beban AC di ambil alih(*take over*) oleh PLN.

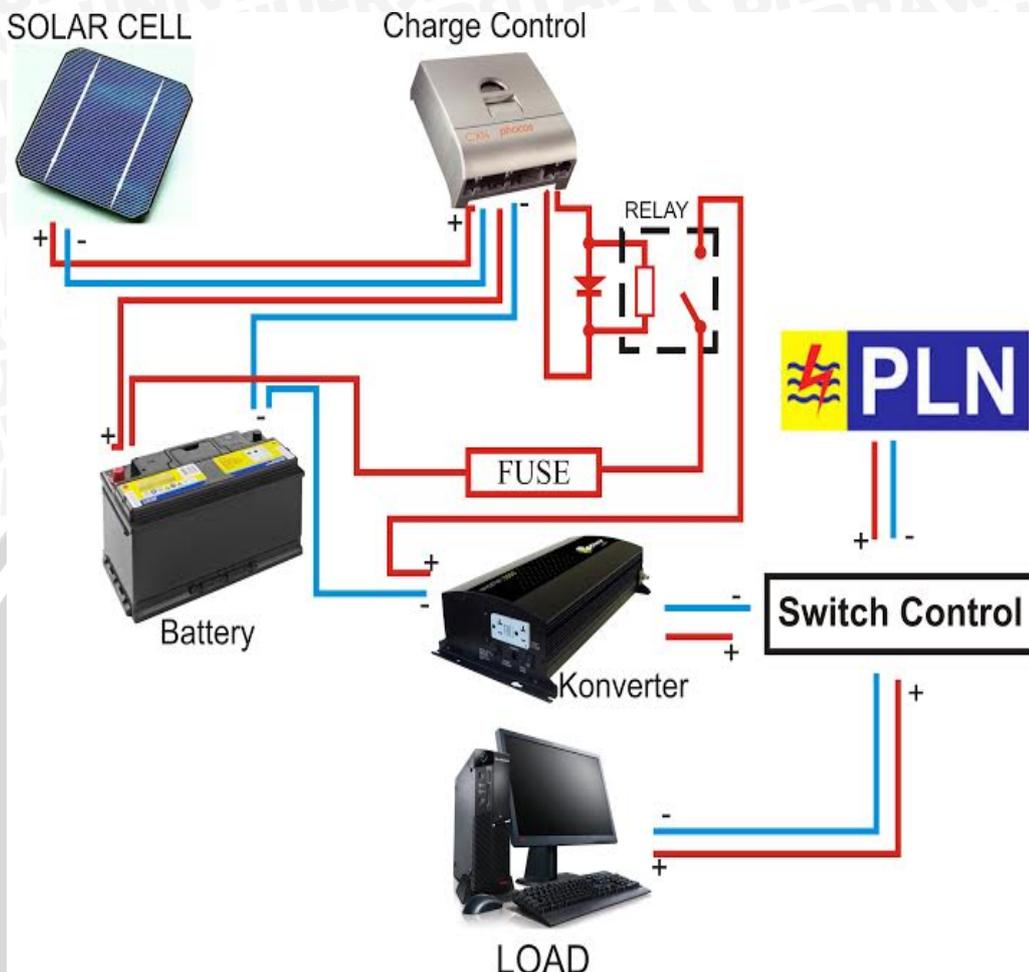
e. Konverter

Konverter berfungsi untuk merubah arus dan tegangan listrik DC(*direct current*) yang dihasilkan array PV menjadi arus dan tegangan listrik AC(*alternating current*). Konverter yang digunakan adalah konverter dengan kapasitas 30A, tegangan masukan DC 24V, dan tegangan keluaran AC 220V.

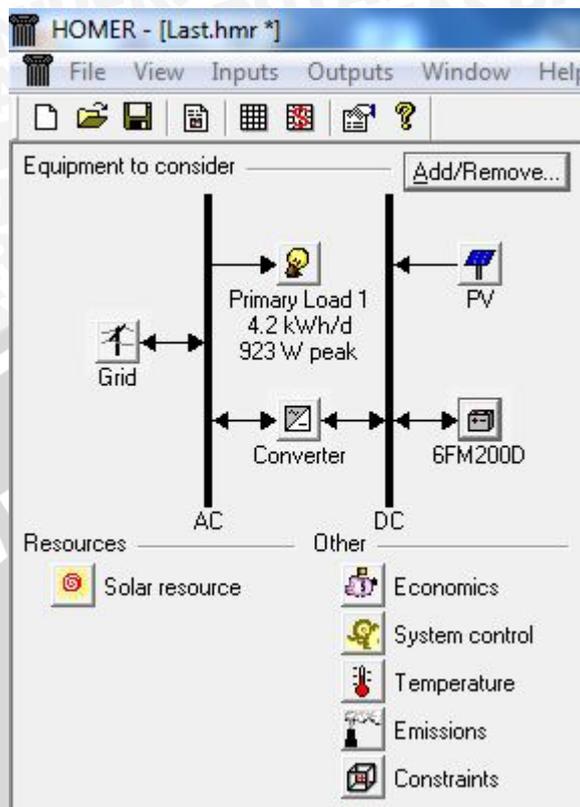
4.4 Konfigurasi Sistem

4.4.1 Komponen Sistem

Komponen – komponen utama sistem adalah *photovoltaic*, PLN, sedangkan komponen pendukung dari sistem adalah baterai bank, ac dan dc bus, konverter. Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 memperlihatkan sistem *photovoltaic*-PLN yang digambarkan secara manual dan program homer.



Gambar 4.4 Photovoltaic –PLN secara manual



Gambar 4.5 Sistem Photovoltaic-PLN

Tabel 4.2 memperlihatkan komponen-komponen yang digunakan serta biaya pemeliharaan.

Tabel 4.2 Biaya komponen

Komponen	Daya	Modal	Biaya Pengganti	Operasi & Pemeliharaan	lifetime
PV	1,230 kW	\$1132	\$1132	0	25 tahun
Konverter	1kW	\$1000	\$1000	\$10/tahun	25 tahun
Baterai	110Ah/12v	\$250	\$250	\$10/tahun	10.140kWh

(Nilai mata uang yang digunakan adalah US\$. Dengan harga 1 US\$ = Rp 11.318,00 di update tanggal 31/3/2014).

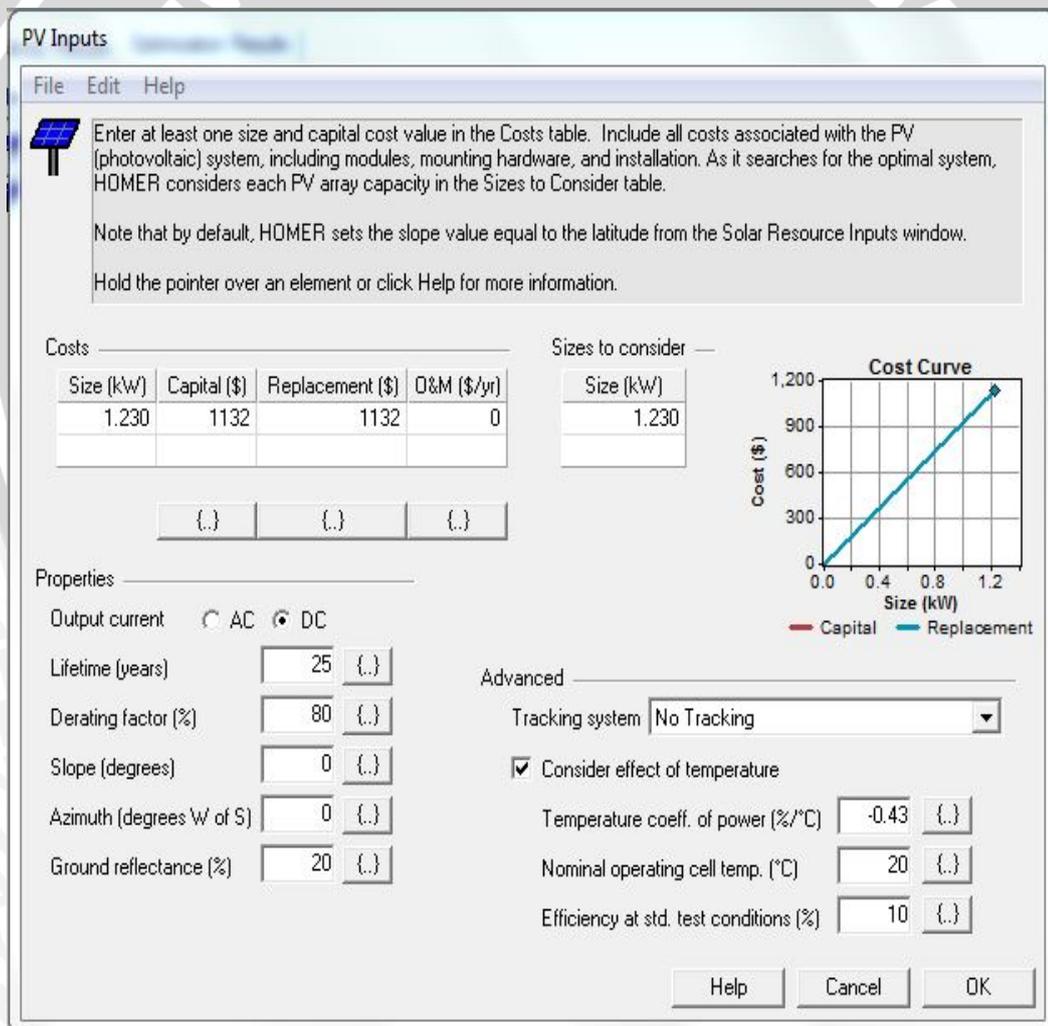
a. Panel surya

Panel sel surya yang digunakan adalah Evergreen Solar ES-E205-FC3. Satu panel sel surya berkapasitas 205Wp dengan harga



\$1132. Biaya tersebut termasuk biaya pemesanan *online*, biaya pengiriman, biaya instalasi. Pada umumnya modul sel surya dipasarkan dengan kapasitas 100 Watt-peak(Wp) dan kelipatannya. Unit satuan Watt-peak adalah satuan daya yang dapat dibangkitkan oleh modul photovoltaic dalam keadaan uji *Standar Test Condition* (STC). Gambar 4.6 memperlihatkan Parameter masukan sel surya.

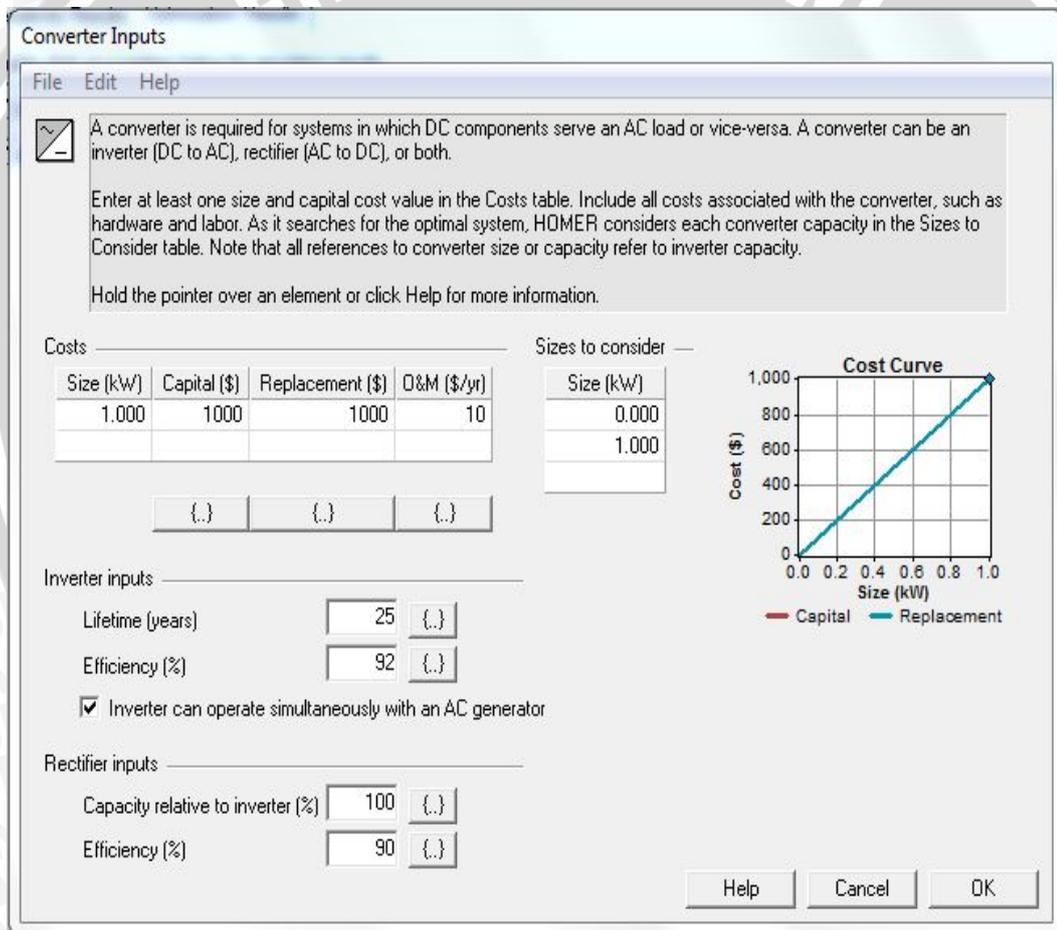
Dalam sebuah sistem, panel surya ini dapat disusun dan dirangkai menjadi beberapa buah panel, sesuai dengan daya yang dibutuhkan. Panel surya ini memiliki kelebihan yaitu struktur lapisan film photovoltaic yang tahan cuaca, tetap stabil dibawah suhu yang tinggi.



Gambar 4.6 Parameter masukan panel surya

b. Konverter

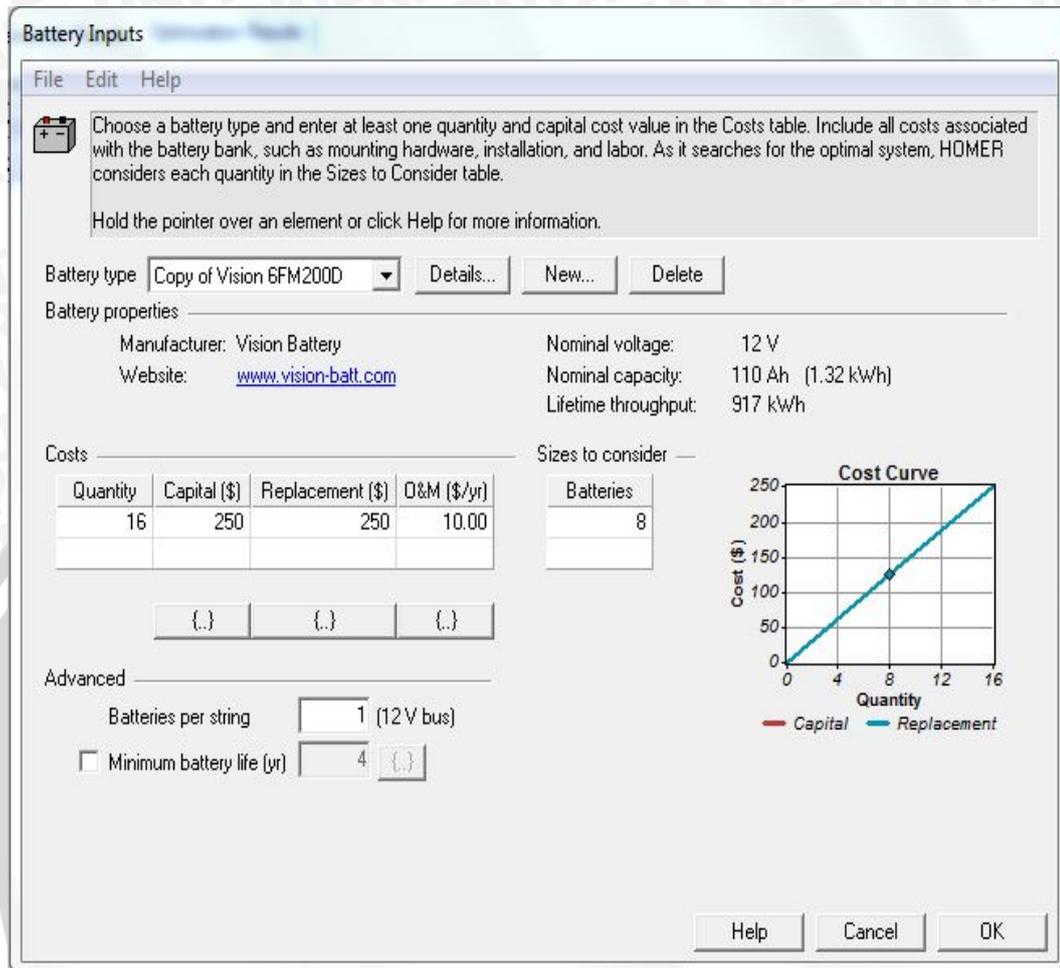
Konverter ini bersifat untuk mengubah tegangan ac ke dc, Karena Beban listrik *maximum* yang ingin di back up adalah 512 W/h maka menggunakan *konverter 1000 watt*, boleh lebih tetapi tidak boleh kurang. Dengan mempertimbangkan faktor efisiensi, sebaiknya daya watt konverter mendekati daya watt beban. Komponen pendukung konverter ini terdiri dari inverter dan rectifier. Masing-masing memiliki efisiensi sebesar 92%. Biaya untuk pembelian konverter sebesar \$1000, garansi selama 25 tahun. Gambar 4.7 memperlihatkan parameter masukan konverter.



Gambar 4.7 Parameter masukan konverter

c. Baterai Bank

Baterai bank yang digunakan dalam analisis ini terdiri dari 12V 110Ah. Biaya dari semua perlengkapan sebesar \$250. Gambar 4.8 memperlihatkan parameter masukan baterai.



Gambar 4.8 Parameter masukan baterai

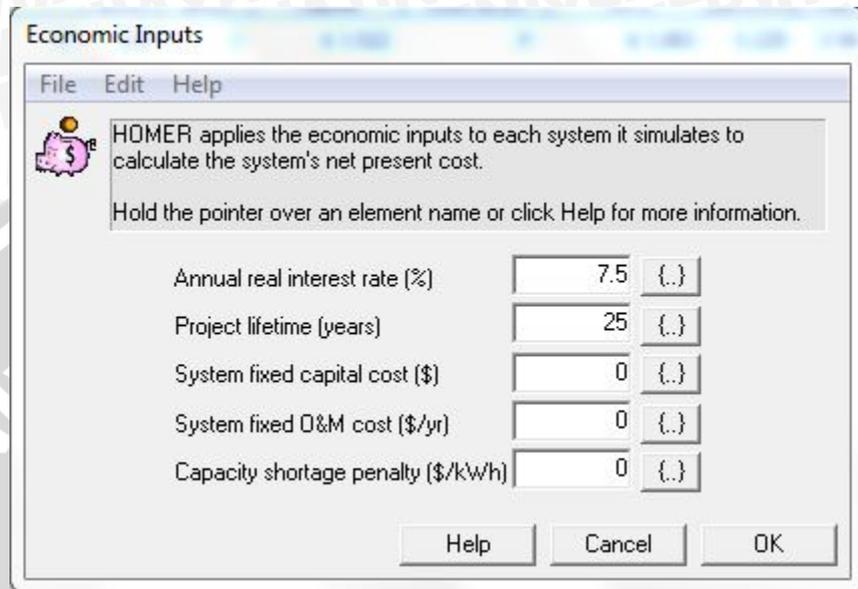
4.4.2 Komponen Ekonomi

a. Faktor Ekonomi

Suku bunga per tahun adalah nilai nominal suku bunga dikurangi nilai inflasi. Suku bunga per tahun pada negara indonesia per bulan desember 2013 sebesar 7,5%. Nilai yang tepat untuk suku bunga sangatlah bergantung pada makroekonomi saat ini, kekuatan finansial dan berbagai kebijakan lainnya. Gambar 4.9 memperlihatkan parameter suku bunga dan jangka waktu proyek.

Umur proyek (tahun) adalah perkiraan lamanya umur proyek yang akan dibangun. Lamanya umur proyek dapat ditentukan dan disesuaikan dengan garansi komponen terlama. Diperkirakan lama umur proyek

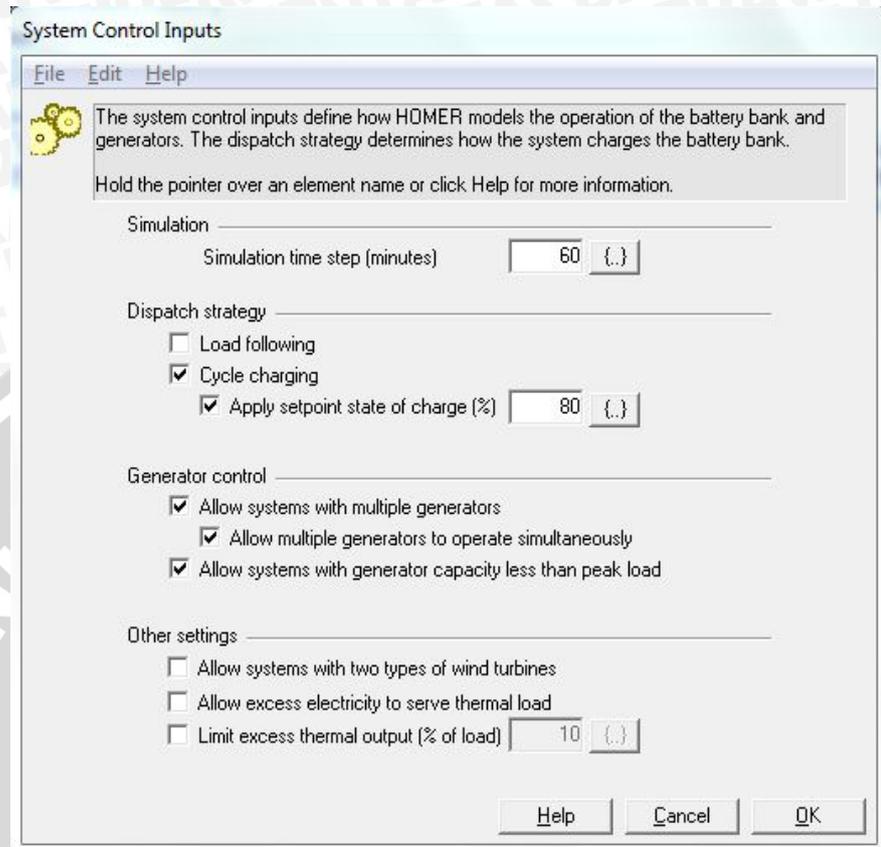
berlangsung selama 25 tahun, disesuaikan dengan garansi dari sel surya. Homer menggunakan umur proyek untuk menghitung biaya pengganti selama setahun dan biaya dari masing-masing komponen.



Gambar 4.9 Faktor ekonomi

b. Faktor Kontrol Sistem

Parameter masukan kontrol sistem menetapkan bagaimana homer memodelkan pengoperasian dari baterai bank. Pada *dispatch startegy* terdapat 2 cara melakukan pengisian baterai, yaitu *load following* dan *cycle charging*. Gambar 4.10 memperlihatkan pengisian baterai pada sistem ini menggunakan cara *cycle charging*. Cara ini dipilih karena sumber energi solar sell yang akan mengisi baterai ketika tegangan drop sampai 80%.



Gambar 4.10 Parameter masukan kontrol

c. Faktor Constraint

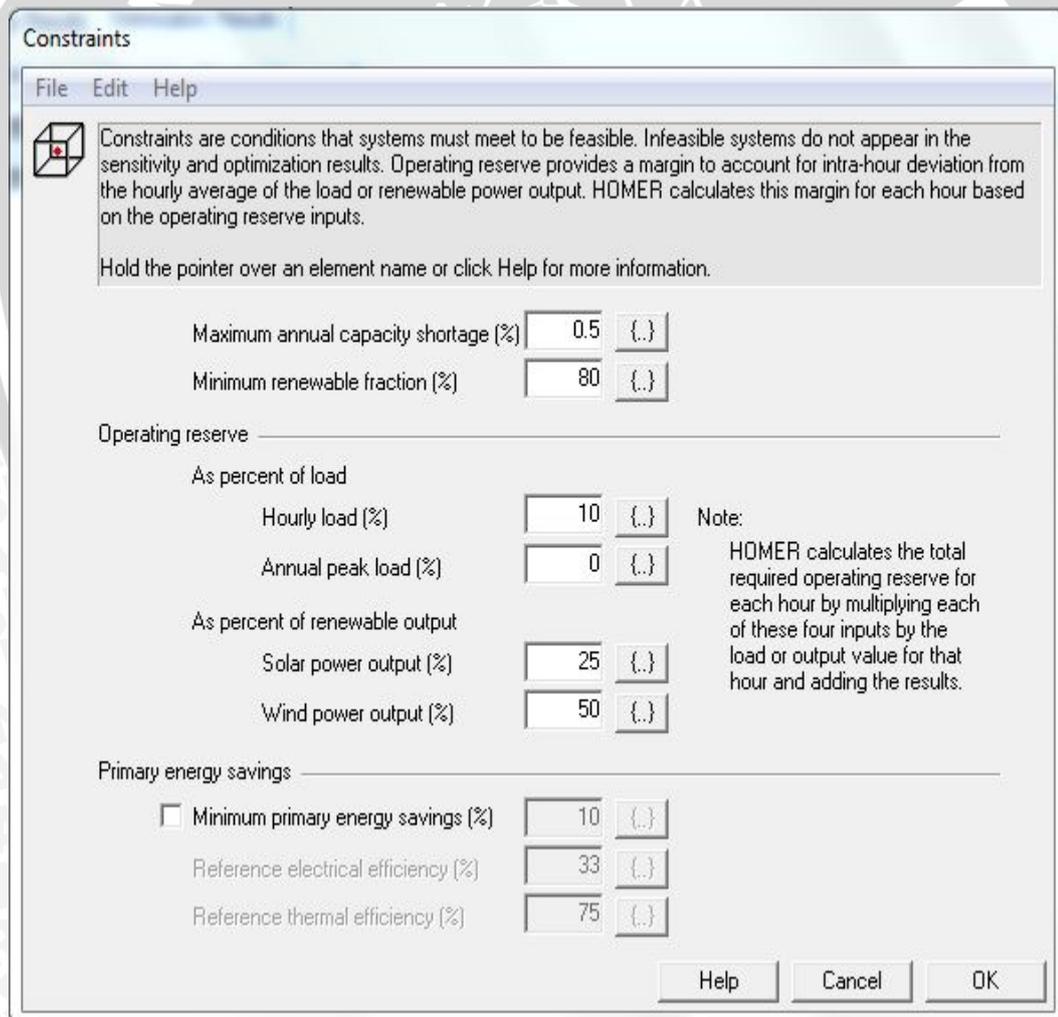
Constraint adalah kondisi dimana konfigurasi sistem sangat memungkinkan untuk dirancang dan dibuat. Konfigurasi sistem yang tidak memungkinkan tidak akan ditampilkan didalam hasil optimasi dan analisis sensitifitas, Gambar 4.11 memperlihatkan parameter masukan constraint yang terdapat pada homer.

- *Maximum annual capacity shortage* adalah presentasi jumlah kekurangan energi listrik pada setiap harinya. Diasumsikan nilainya sebesar 0,5%.
- *Minimum renewable fraction* adalah presentasi jumlah energi terbarukan. Diasumsikan nilai *minimum renewable fraction* sebesar 80%.

Tenaga cadangan dibutuhkan untuk mengantisipasi apabila terjadi jumlah kenaikan beban secara tiba-tiba dan penurunan energi keluaran

(*output*) pada tenaga hibrida. Tenaga cadangan ini dapat dikendalikan dengan mengatur beban per jam, data beban puncak, data energi keluaran pada sel surya.

- *Hourly load* adalah jumlah presentasi besarnya nilai yang ditambahkan pada beban setiap jamnya. Besar *hourly load* pada sistem ini sebesar 10% untuk mengantisipasi terjadinya kenaikan beban sebesar 10%.
- *Annual peak load* adalah presentasi besarnya nilai yang ditambahkan hanya pada beban puncak.
- *Solar power output* adalah presentasi besarnya nilai untuk mengantisipasi apabila energi keluaran sel surya menurun 25%.

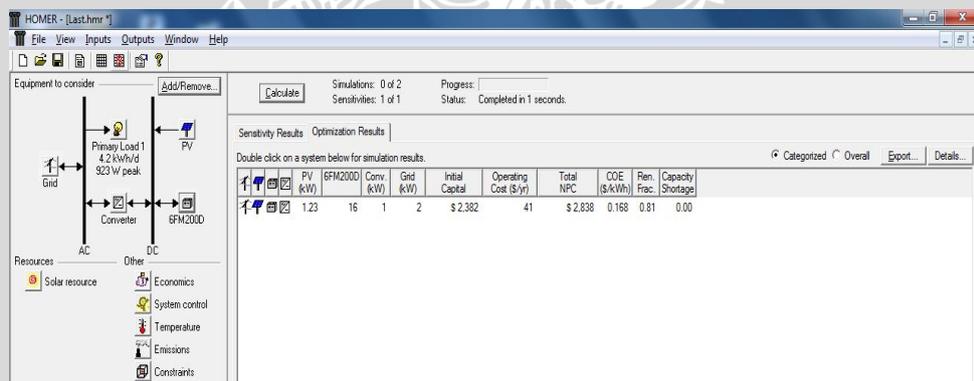


Gambar 4.11 Parameter masukan *constraint*

4.4.3 Hasil Optimasi

Proses optimasi dilakukan setelah proses simulasi dilakukan. Proses simulasi memodelkan dan merancang konfigurasi sistem secara khusus, maka proses optimasi dilakukan untuk menentukan kemungkinan terbaik dalam konfigurasi sistem.

Pada penelitian ini didapatkan konfigurasi sistem berupa, 6 panel surya 205Wp, 16 biji baterai bank 12V 110AH, 1kW konverter. Konfigurasi ini dipilih berdasarkan *Total Net Present Cost* (NPC) yaitu \$2.838, dengan *Initial Capital Cost* \$2.382 dan *Cost of Energy* (COE) \$0.168/kWh. Untuk hasil simulasi *renewable fraction*, homer mendapatkan nilai sebesar 81%. Gambar 4.12 memperlihatkan Hasil konfigurasi sistem yang paling optimum ditentukan oleh besarnya NPC(*Net Present Cost*), karena NPC adalah biaya keseluruhan sistem selama jangka waktu 25 tahun.



Gambar 4.12 Hasil optimasi

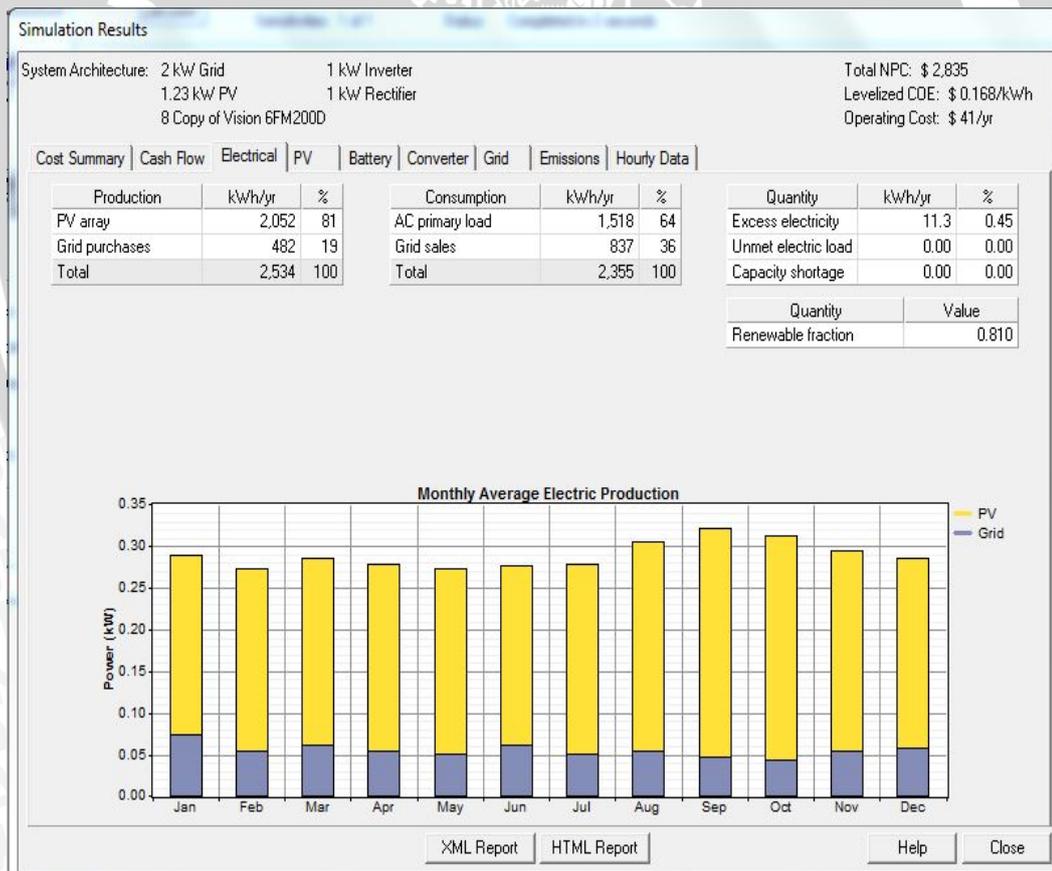
Gambar 4.13 memperlihatkan total biaya NPC mencakup semua biaya yang dikeluarkan *salvage value* selama proyek berlangsung, terdiri dari biaya komponen, biaya pengganti, biaya pemeliharaan, biaya suku bunga. Program Homer juga menghitung *salvage value* untuk baterai dan dimana sebagai nilai sisa pada komponen sistem hingga batas akhir proyek berlangsung.

Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	1,132	0	0	0	0	1,132
Grid	0	0	74	0	0	74
Copy of Vision 6FM200D	250	180	111	0	-20	521
Converter	1,000	0	111	0	0	1,111
System	2,382	180	297	0	-20	2,838

Gambar 4.13 Total biaya NPC

Pada Gambar 4.14 memperlihatkan secara keseluruhan sistem menghasilkan energi listrik sebesar 2.534 kWh/yr.



Gambar 4.14 Hasil produksi listrik masing-masing komponen

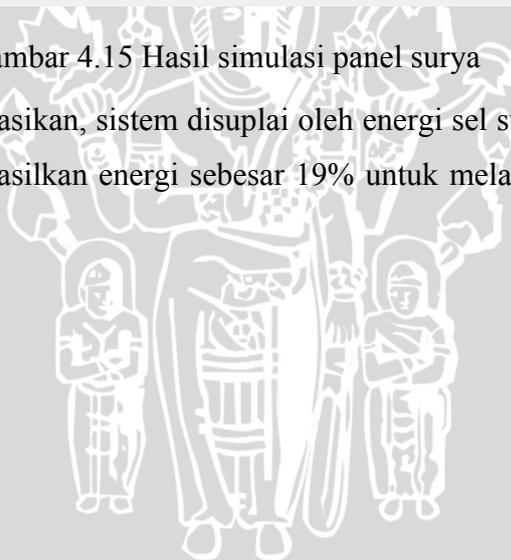
Gambar 4.15. memperlihatkan hasil simulasi parameter keluaran untuk masing-masing komponen ditunjukkan Dimana menghasilkan pengeluaran energi rata-rata sel surya sebesar 0,23 kW atau 5,62 kWh/d .

$$\begin{aligned}
 \text{Total Production PV} &= \text{Mean output} \times 8760 \text{ h} \\
 &= 0,23 \text{ kW} \times 8760 \text{ h} \\
 &= 2.014,8 \text{ kWh/yr}
 \end{aligned}$$

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Rated capacity	1.23	kW	Minimum output	0.00	kW
Mean output	0.23	kW	Maximum output	1.31	kW
Mean output	5.62	kWh/d	PV penetration	135	%
Capacity factor	19.0	%	Hours of operation	4,380	hr/yr
Total production	2,052	kWh/yr	Levelized cost	0.0495	\$/kWh

Gambar 4.15 Hasil simulasi panel surya

Setelah disimulasikan, sistem disuplai oleh energi sel surya sebesar 81%, sedangkan PLN menghasilkan energi sebesar 19% untuk melayani beban selama setahun.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan penelitian sistem energi alternatif ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini didapatkan konfigurasi sistem berupa, 6 panel surya 205Wp, 16 biji baterai bank 12V 110AH, 1kW konverter.
2. Penentuan lama penyerapan energi matahari selama 5 jam(09.00-14.00), didapat dari efektivitas rata-rata waktu sinar matahari bersinar di negara tropis seperti Indonesia.
3. Sistem disuplai oleh energi sel surya sebesar 81%, sedangkan PLN menghasilkan energi sebesar 19% untuk melayani beban selama setahun.
4. Berdasarkan analisis ekonomi konfigurasi dipilih *Total Net Present Cost(NPC)* yaitu \$2.838, dengan *Initial Capital Cost* \$2.832 dan *Cost of Energy(COE)* \$0.168/kWH. Jika di akumulasikan dalam rupiah maka akan didapatkan *Total Net Present Cost (NPC)* yaitu Rp 32.120.484,00 dengan *Initial Capital Cost* Rp 26.959.476,00 dan *Cost of Energy(COE)* Rp 1.901,00/kWH.

5.2 Saran

Dalam analisis sistem ini masih terdapat kelemahan dan kekurangan. Saran-saran untuk penyempurnaan dan pengembangan lebih lanjut adalah Adanya studi lanjutan tentang masing-masing komponen sistem dalam kapasitas yang lebih besar lagi, karena untuk saat ini semua komponen masih didatangkan dari luar negeri. Jika komponen sudah mampu diproduksi di dalam negeri, tentu harganya akan semakin dapat ditekan.

DAFTAR PUSTAKA

El-Hawary, Mohamed E. 2008. *Introduction To Electrical Power Systems*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.

ES-E-Series Photovoltaic Panels (fc3 variant) Safety, Installation and Operation Manual Limited Warranty

Getting Started Guide for HOMER Legacy, NREL version 2.68, january 2011.

Hankins, Mark. 1991. *Small Solar Electric Systems for Africa*. Motif Creative Arts, Ltd. Kenya.

JETri, Volume 8, Nomor 1, Agustus 2008, Halaman 37-56, ISSN 1412-0372

Kadir, Abdul, Prof, Ir., *Energi : Suatu Perkembangan, Listrik Pedesaan di Indonesia*, UI Press, Jakarta, 1994

Kessler, S. 1995. *Photovoltaic*. Malang: VEDC

Liem Ek Bien, Ishak Kasim & Wahyu Wibowo. *Perancangan Sistem Hibrid Pembangkit Listrik*, 2008.

Mk6 Genius Energy Meter. Mk6E Energy Meter User Manual Revision D1, 3 November 2004, 1680-E-00.

Peraturan Direksi PT PLN (PERSERO) nomor : 0733.K/DIR/2013. Tentang : PEMANFAATAN ENERGI LISTRIK DARI FOTOVOLTAIK OLEH PELANGGAN PT PLN (PERSERO).

Quaschnig, V.: *Understanding Renewable Energy Systems*. Earthscan London, ISBN 1-84407-128-6, 1st edition 2005.

Sukhatme, S.P. 1990. *Solar Energi, Principles of Thermal Collection and Storage*. New Delhi : Tata Mc. Graw

Shidiq, Mahfud, MT, Ir.dkk, kajian pemanfaatan energi listrik sistem hibrid diesel-surya diuruskan elektro universitas brawijaya, Malang, 2013

Timotius Chris, Ratnata I Wayan, Mulyadi Yadi, Mulyana Elih, (2009), Perancangan dan Pembuatan Listrik Tenaga Surya, Laporan Penelitian Hibah Kompetitif, Perancangan dan Pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

Wibawa, Unggul. 2004. *Manajemen Industri- II, Malang : Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.*

<http://www.bankmandiri.co.id/resource/kurs.asp?row=2> Tanggal Akses 13 Maret 2014

<http://newcastlebatteries.net.au/motor-home/LPS12-115> Tanggal Akses 5 Januari 2014

<http://doni-marsas.blogspot.com/2012/12/materi-pembelajaran-baterai.html> Tanggal Akses 20 Desember 2013

<http://hybridesolarcell.blogspot.com> Tanggal Akses 11 Desember 2013

<http://www.solardirect.com/pv/pvlist/pvlist.htm> Tanggal Akses 11 Desember 2013

<http://tuban.olx.co.id> Tanggal Akses 11 Desember 2013

<http://www.linksukses.com/2011/11/carakerja.html> Tanggal Akses 27 Maret 2014

<http://www.panelsurya.com/index.php/id/inverter> Tanggal Akses 27 Maret 2014