



**PERANCANGAN SISTEM HIBRID *SOLAR CELL* – BATERAI – PLN
MENGUNAKAN *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS***

SKRIPSI

Oleh

**Puloeng Raharjo
NIM 071910201088**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2013**



**PERANCANGAN SISTEM HIBRID *SOLAR CELL* – BATERAI – PLN
MENGUNAKAN *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Puloeng Raharjo
NIM 071910201088**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2013**

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Perancangan Sistem Hibrid *Solar Cell* – Baterai – PLN Menggunakan *Programmable Logic Controllers*” telah diuji dan disahkan pada :

Hari, Tanggal : Jum’at, 27 September 2013

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

NIP 19631201 199402 1 002

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

NIP 19700826 199702 1 001

Penguji I

Penguji II

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.

NIP 19710402 200312 1 001

H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T.

NIP 19690608 199903 1 002

Mengesahkan
Dekan
Fakultas Teknik

Ir. Widyono Hadi, M.T.

NIP 19610414 198902 1 001

Perancangan Sistem Hibrid Solar cell – baterai – pln menggunakan programmable logic controllers

Puloeng Raharjo

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Kebutuhan energi di dunia terus meningkat sedangkan sumber energi fosil yang digunakan terus menipis, sehingga dibutuhkan suatu energi alternatif untuk memasok kebutuhan energi. Skripsi ini merancang sistem hibrid antara solar cell, baterai, PLN untuk mensuplai beban DC 12V. Sistem ini menggunakan solar cell sebesar 100wp dan mengalami keadaan puncak pada pukul 13.00 dengan menghasilkan tegangan 20,03V, arus 4,52A dan daya sebesar 90,52W. Tegangan keluaran dari *solar cell* akan diturunkan dan dinaikkan terlebih dahulu dengan *DC-DC converter* setelah itu dihubungkan ke rangkaian pembangkit PWM menggunakan IC LM 324 untuk mengatur duty cycle sebagai trigger mosfet dari buck boost converter. Penyearah digunakan untuk mengubah tegangan AC 220V menjadi tegangan DC 12V. Keadaan baterai 100% ketika tegangan mencapai 12,7V dan dilakukan pengisian ketika keadaan baterai 30%-40% dengan tegangan sebesar 11,8V. Semua sistem dikontrol dengan PLC menggunakan bahasa ladder diagram, input yang digunakan adalah sensor tegangan untuk mengetahui tegangan solar cell dan tegangan baterai. Solar cell digunakan mensuplai beban jika tegangan output lebih besar dari 13V. Baterai dapat mensuplai beban jika tegangan output lebih besar dai 11,8v. Pengujian sistem menunjukkan bahwa sistem telah berjalan sesuai perencanaan

Kata kunci: sistem hibrid, solar cell, baterai, pln, programmable logic controllers

Design of Hybrid Systems (Solar cell – battery – PLN) using programmable logic controllers

Puloeng Raharjo

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRACT

The demand of energy in the world always increases, but the availability of the fossil energy is extremely decreased. So an alternative energy is needed to supply the energy demand. This research proposes a design of a hybrid system that integrated solar cell – battery – PLN to supply load in the 12 V. This system uses a 100 Wp solar cell. This system has peak performance at 13.00 which produces voltage 20,03 V, current 4,52A and power 90,52W. The voltage output of the solar cell will be regulated by a DC-DC converter and then the output of DC-DC converter will be connected to the PWM generator circuit that using IC LM 324 to sets the duty cycle as the mosfet trigger of buck boost converter circuit. It is expected that the output of the circuit is in the constant value. The battery is fully charged when the voltage achieves 12.7 V, and the battery is charging when it's 30-40% of full charge, which reach voltage about 11.8 V. PLC use the ladder diagram to implement switch the hybrid systems, the voltage sensor is used as the input to measure the solar cell and battery voltage. The solar cell use to supply load when the voltage output is bigger than 13 V. Battery will be supply when the output is less than 11.8 V. The test shows that the system could work like expected value.

Keyword: hybrid system, solar cell, battery, PLN, programmable logic controllers

RINGKASAN

Perancangan Sistem Hibrid *Solar Cell* – Baterai - PLN Menggunakan *Programmable Logic Controllers*; Puloeng Raharjo, 071910201088; 2013 : 63 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kebutuhan energi di Indonesia khususnya dan di dunia pada umumnya terus meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri. Namun selama ini hampir semua kebutuhan energi di dunia masih bergantung pada bahan bakar fosil yang semakin menipis ketersediannya. Energi matahari merupakan satu diantara sumber energi yang dapat dimanfaatkan untuk memasok kebutuhan energi sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Namun dalam pengaplikasiannya PLTS tidak dapat digunakan selama sehari penuh karena sumber energi matahari hanya tersedia pada siang hari maka tetap dibutuhkan sumber dari PLN untuk *memback up* energi agar dapat mensuplai energi listrik secara terus menerus. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem *switch* otomatis yang dapat mengatur sumber yang digunakan dengan kondisi tertentu.

Pada sistem hibrid yang dibuat, menggunakan beberapa perangkat keras yang terdiri dari solar cell, baterai, charging baterai, dan buck boost konverter. Sedangkan untuk sistem switch menggunakan programmable logic control.

Buck boost konverter merupakan dc-dc konverter yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan sesuai dengan yang diinginkan, buck boost konverter bekerja berdasarkan duty cycle yang dihasilkan oleh pembangkit PWM untuk mentrigger mosfet. Jika duty cycle kurang dari 50% maka rangkaian akan berada dalam mode boost untuk menaikkan tegangan output, sedangkan jika duty cycle lebih

dari 50% maka rangkaian akan berada pada mode buck untuk menurunkan tegangan output sesuai dengan yang diharapkan.

Pemrograman ladder diagram untuk sistem hibrid Solar Cell – Battery - PLN dilakukan dengan menggunakan *software Zelio Soft 2*. Adapun input yang digunakan adalah tegangan dari solar cell dan juga tegangan dari baterai untuk mengetahui kapasitas baterai yang mengatur pensaklaran sistem hibrid.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
RINGKASAN	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan	5
1.4. Manfaat	5
1.5. Batasan Masalah	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Programmable Logic Controllers	6
2.1.1. Pengertian PLC	6
2.1.2. Fungsi PLC.....	7

2.1.3. Diagram Blok Dan Prinsip Kerja PLC.....	8
2.1.4. Jenis Jenis PLC.....	12
2.2. Solar Cell.....	14
2.2.1.Prinsip Kerja.....	14
2.2.2. Karakteristik Solar Cell.....	15
2.2.3. Parameter Solar Cell.....	19
2.2.4. Jenis – Jenis Solar Cell.....	20
2.3. Accumulator	21
2.3.1. Struktur Accumulator.....	21
2.3.2. Reaksi Kimia Accumulator	21
2.3.3. Metode Pengisian Dan Pelepasan	23
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	28
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	28
3.2. Tahapan Penelitian	28
3.2.1 Diagram Alir Analisis Data.....	29
3.2.2 Studi Literatur	30
3.2.3. Perangkat Keras.....	30
3.2.4 Pemrograman PLC	30
3.2.5 Pengolahan Hasil Dan Data.....	30
3.2.6 Penyusunan Laporan	30
3.3. Desain Sistem	31
3.3.1. Blok Diagram Sistem	31
3.3.2 Battery Charger	32
3.3.3. Buck Boost Converter	33
3.3.4. Perancangan Rangkaian Sistem MonoStable.....	35
3.3.5. Konverter AC-DC	36
3.3.5. Diagram Alir Sistem Hibrid Energi Listrik.....	37

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1. Pengujian Solar Cell.....	38
4.2 Pengujian Rangkaian Battery Charger.....	40
4.3. Pengujian DC – DC Konverter	43
4.3.1. Rangkaian Pembangkit PWM	43
4.3.2. Rangkaian Buck Boost Converter	47
4.4. Pengujian AC-DC Konverter	47
4.4. Ladder Diagram	49
4.4.1. Sensor Tegangan	49
4.4.2 Tabel Kebenaran Sistem hibrid	50
4.5. Pengujian Seluruh Sistem.....	52
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1. Kesimpulan	55
5.2. Saran.....	56
DAFTAR PUSATAKA	57
LAMPIRAN.....

DAFTAR GAMBAR

1.1	Kebutuhan Energi Di Indonesia.....	1
1.2	Penggunaan Energi di Indonesia	2
2.1	Diagram Blok Sistem PLC	8
2.2	Simbol Perangkat Masukan PLC.....	9
2.3	PLC Scheinder SR2B201BD.....	13
2.4	PLC Modular Dari Omron.....	14
2.5	Panel Surya	15
2.6	Rangkaian Persamaan Sel Surya	16
2.7	Kurva I - V.....	16
2.8	Grafik Arus Terhadap Temperatur	17
2.9	Grafik Arus Terhadap Tegangan	18
2.10	Proses Charge Dengan Arus Konstan.....	23
2.11	Proses Discharge Dengan Arus Konstan	23
2.12	Proses Charge Dengan Daya Konstan	24
2.13	Proses Discharge Dengan Daya Konstan	24
2.14	Proses Discharge Dengan Arus Konstan / Tegangan Konstan.....	25
3.1	Diagram Alir Analisis Data	29
3.2.	Blok Diagram Sistem Hibrid Energi Listrik.....	31
3.3	Rangkaian Baterai Charger.....	32
3.4	Rangkaian Sederhana Buck-Boost Converter	33
3.5	Rangkaian Monostable Multivibrator.....	36
3.6	Rangkaian Penyearah Diode <i>Brigde</i>	36
3.7	Diagram Alir Sistem Hibrid Energi Listrik	37
4.1	Grafik Perubahan Tegangan Dan Daya Terhadap Waktu	39

4.2	Grafik Nilai Tegangan Dan Arus Terhadap Waktu.....	42
4.3	Skema Rangkaian Pembangkit PWM.....	43
4.4	Gelombang Yang Dihasilkan Pembangkit Segitiga	43
4.5	Gelombang Yang Dihasilkan Dengan Tegangan Input 18volt.....	44
4.6	Gelombang Yang Dihasilkan Dari Tegangan Input 13volt.....	45
4.7	Skema Rangkaian Optocouler	45
4.8	Skema Rangkaian Buck Boost Converter.....	47
4.9	Grafik Vout buck boost converter terhadap Vin.....	48
4.10	Skema rangkaian AC-DC konverter.....	48
4.11	Rangkaian Pembagi Tegangan	49

DAFTAR TABEL

2.1	<i>State of Charge Standart Batteries</i>	27
4.1	Pengujian Solar Cell 100wp Menggunakan Cahaya Matahari	39
4.2	Data Pengisian Baterai Menggunakan PLN	41
4.3	Hasil Pengukuran Buck Boost Konverter	47
4.4	Pengujian AC DC Konverter	49
4.5	Hasil Pengukuran Rangkaian Pembagi Tegangan	50
4.6	Tabel kebenaran Sistem Hibrid	51
4.7	Logika Yang Sesuai Dengan Sistem Yang Digunakan	52
4.8	Tabel Pengujian Sensor Tegangan Pada Solar Cell.....	52
4.9	Kondisi pengisian baterai 12 volt	53
4.10	Tabel Pengujian Sensor Tegangan Pada Baterai	53
4.11	Tabel Pengujian pensaklaran sistem hibrid	54

DAFTAR LAMPIRAN

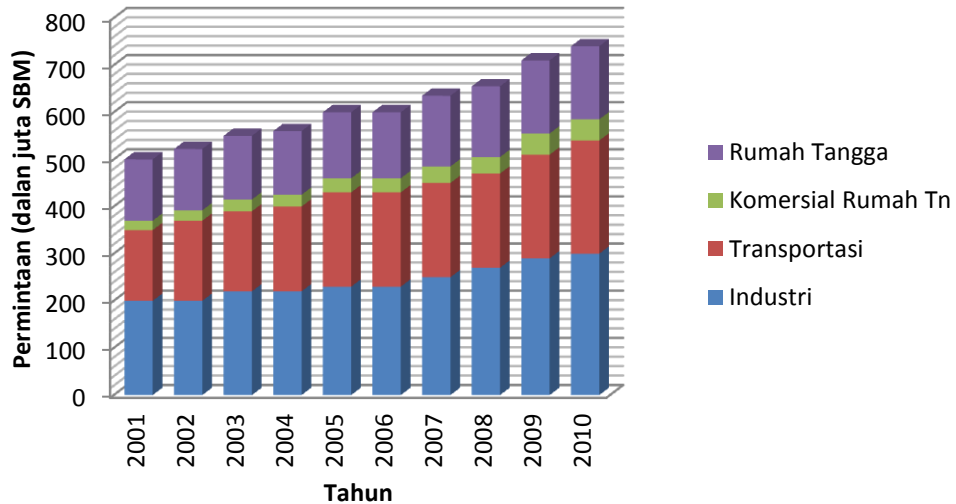
1. Gambar.....
2. Ladder Diagram Sistem Hibrid.....
3. Datasheet Schneider SR2B201BD.....

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

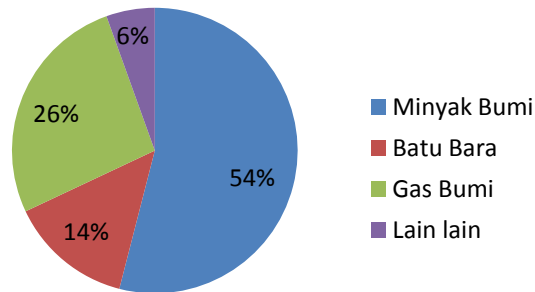
Kehidupan manusia modern semakin tergantung kepada energi, sehingga kesejahteraannya sangat ditentukan oleh jumlah dan mutu energi yang dimanfaatkannya baik secara langsung maupun tidak langsung. Di samping itu, energi juga merupakan unsur penunjang yang amat penting dalam proses pertumbuhan ekonomi dan ikut menentukan keberhasilan pembangunan di sektor lain.

Namun kebutuhan energi di Indonesia khususnya dan di dunia pada umumnya terus meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri. Jika diasumsikan rata-rata pertumbuhan kebutuhan listrik adalah sebesar 7% per tahun selama kurun waktu 30 tahun, maka konsumsi listrik akan meningkat dengan tajam, contohnya pada sektor rumah tangga, konsumsi akan meningkat dari 21,52 Gwh di tahun 2000 menjadi sekitar 444,53 Gwh pada tahun 2030 (EECCHI, 2012).



Gambar 1.1 Kebutuhan energi di Indonesia (EECCHI, 2012)

Kebutuhan energi di dunia hingga detik ini cenderung dipenuhi dengan bahan bakar fosil. Diperkirakan pemakaian energi dunia hingga tahun 2025 akan masih didominasi bahan bakar fosil yakni minyak, gas alam dan batubara. Kecenderungan seperti ini pun juga terjadi di Indonesia (Energy Information Administration, 2010).



Gambar 1.2 Penggunaan Energi di Indonesia (Kemen ESDM, 2009)

Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menyebutkan bahwa minyak bumi mendominasi 54 persen penggunaan energi di Indonesia. Sedangkan penggunaan gas bumi sebesar 26,5 persen dan batu bara hanya 14 persen dari total penggunaan energi. Kementerian Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral juga menyebutkan bahwa cadangan minyak bumi Indonesia hanya cukup untuk 18 tahun ke depan, sementara cadangan gas bumi masih mencukupi untuk 61 tahun ke depan dan cadangan batu bara baru habis dalam waktu 147 tahun lagi. Oleh karena itu dibutuhkan sumber energi lain yang secara cepat dapat diproduksi kembali melalui proses alam.

Kondisi geografis negara Indonesia yang terdiri atas ribuan pulau dan kepulauan, tersebar dan tidak meratanya pusat-pusat beban listrik, rendahnya tingkat permintaan listrik di beberapa wilayah, tingginya biaya marginal pembangunan sistem suplai energi listrik (Ramani K.V, 1992) serta terbatasnya kemampuan finansial, merupakan faktor-faktor penghambat penyediaan energi listrik dalam skala nasional. Selain itu, makin berkurangnya ketersediaan sumber daya energi fosil, khususnya minyak bumi,

yang sampai saat ini masih merupakan tulang punggung dan komponen utama penghasil energi listrik di Indonesia, serta makin meningkatnya kesadaran akan usaha untuk melestarikan lingkungan, menyebabkan kita harus berpikir untuk mencari alternatif penyediaan energi listrik yang memiliki karakter:

1. dapat mengurangi ketergantungan terhadap pemakaian energi fosil, khususnya minyak bumi
2. dapat menyediakan energilistrik dalam skala lokal regional
3. mampu memanfaatkan potensi sumber daya energi setempat, serta
4. cinta lingkungan, dalam artian proses produksi dan pembuangan hasil produksinya tidak merusak lingkungan hidup disekitarnya.

Sistem penyediaan energi listrik yang dapat memenuhi kriteria di atas adalah sistem konversi energi yang memanfaatkan sumber daya energi terbarukan, seperti: matahari, angin, air, biomas dan lain sebagainya (Djojonegoro, 1992). Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari alam seperti cahaya matahari, angin, tenaga air, tenaga gelombang dan geothermal yang dapat diperbarui secara alamiah. Alam menyediakan berbagai sumber energi ini dalam jumlah yang sangat besar karena hampir selalu ada dan siap diolah menjadi sumber energi. Pemanfaatan sumber daya energi terbarukan sebagai bahan baku produksi energi listrik mempunyai kelebihan antara lain:

1. Sumber relatif mudah didapat.
2. Dapat diperoleh dengan gratis.
3. Tidak mengenal problem limbah.
4. Tidak mempengaruhi suhu bumi secara global.
5. Tidak terpengaruh kenaikan harga bahan bakar (Jarass, 1980).

Sumber energi terbarukan adalah sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global seperti pada sumber-sumber tradisional lain. Ini adalah alasan utama mengapa energi terbarukan sangat terkait dengan masalah lingkungan dan ekologi di mata banyak orang.

Dapat kita ketahui bahwa PLN sebagai sumber utama energi listrik di Indonesia tidak selamanya kontinu dalam menyalurkan sumber listrik, Suatu saat pasti terjadi pemadaman total yang dapat disebabkan oleh gangguan dan pemeliharaan pada sistem pembangkit, atau gangguan pada sistem transmisi dan sistem distribusi, sedangkan suplai energi listrik sangat diperlukan terus menerus. Berdasarkan hal tersebut, maka dibutuhkan sumber energi lain selain PLN.

Pemanfaatan energi matahari merupakan satu diantara sumber energi yang dapat dimanfaatkan untuk memasok kebutuhan energi sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Selain tersedia secara gratis pemanfaatan energi matahari ini sebagai salah satu upaya untuk mengurangi ketergantungan manusia terhadap energi batubara, minyak bumi dan gas alam yang masih digunakan untuk sumber energi PLN yang pada kenyataannya sulit untuk diperbaharui.

Namun dalam pengaplikasiannya PLTS tidak dapat digunakan selama sehari penuh karena sumber energi matahari hanya tersedia pada siang hari maka tetap dibutuhkan sumber dari PLN agar dapat mensuplai energi listrik secara terus menerus. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem *switch* otomatis yang dapat mengatur sumber yang digunakan dengan kondisi tertentu.

1.2. Rumusan masalah

Dalam penelitian ini dirumuskan masalah yaitu:

1. Bagaimana rancangan sistem hibrid energi listrik *Solar cell* – Baterai - PLN menggunakan *Programmable Logic Controllers*
2. Bagaimana kinerja sistem hibrid yang dihasilkan

1.3. Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang diuraikan di atas, tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mendapatkan rancangan sistem *hybrid Solar cell* – Baterai - PLN dengan menggunakan *programmable logic controllers*.
2. Mendapatkan kinerja sistem hybrid yang dihasilkan.

1.4. Manfaat

Alat ini digunakan untuk pemanfaatan energi matahari sebagai energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi dalam kehidupan sehari – hari serta digunakan untuk modul pembelajaran mahasiswa Teknik Elektro Universitas Jember.

1.5. Batasan Masalah

Untuk memperjelas arah dari pembahasan penelitian ini, maka diberikan batasan masalah yang meliputi:

1. Bahasa yang digunakan dalam pemrograman PLC adalah *Ladder Diagram*.
2. Rangkaian *DC-DC converter* ini digunakan untuk menurunkan dan menaikkan tegangan keluaran dari *solar cell* sebesar volt 11 sampai 20 volt menuju 14 dengan penyulutan PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dibangkitkan oleh rangkaian *PWM Generator*.
3. Waktu *solar cell* untuk men-*supply* beban tidak ditentukan, hal ini tergantung dengan keadaan cuaca dan kondisi *accumulator*.
4. Pengujian *Solar cell* disimulasikan dengan menggunakan power DC generator.
5. Beban yang digunakan adalah beban yang bersumber tegangan DC.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang dasar-dasar teori untuk perancangan sistem hybrid menggunakan *programmable logic controllers* di laboratorium konversi energi listrik di Fakultas Teknik Universitas Jember.

2.1. *Programmable Logic Controllers (PLC)*

2.1.1. Pengertian PLC

Programmable Logic Controllers (PLC) adalah komputer elektronik yang mudah digunakan (*user friendly*) yang memiliki fungsi kendali untuk berbagai tipe dan tingkat kesulitan yang beraneka ragam. Definisi *Programmable Logic Controller* Capiel (1982) adalah sistem elektronik yang beroperasi secara digital dan didisain untuk pemakaian di lingkungan industri, dimana sistem ini menggunakan memori yang dapat diprogram untuk penyimpanan secara internal instruksi-instruksi yang mengimplementasikan fungsi-fungsi spesifik seperti logika, urutan, perwaktuan, pencacahan dan operasi aritmatik untuk mengontrol mesin atau proses melalui modul-modul I/O digital maupun analog, (Capiel, 1982). PLC sebagai suatu perangkat elektronik digital dengan memori yang dapat diprogram untuk menyimpan instruksi-instruksi yang menjalankan fungsi-fungsi spesifik seperti: logika, sekuen, timing, counting, dan aritmatika untuk mengontrol suatu mesin industri atau proses industri sesuai dengan yang diinginkan, (National Electrical Manufacturing Assosiation, 2006). Singkatnya PLC merupakan komputer elektronik yang mudah digunakan yang memiliki fungsi kendali untuk berbagai tipe dan tingkat kesulitan yang beraneka ragam. PLC bekerja dengan cara mengamati masukan (melalui sensor-sensor terkait), kemudian melakukan proses dan melakukan tindakan sesuai yang dibutuhkan, yang berupa menghidupkan atau mematikan keluarannya (logik, 0 atau 1, hidup atau mati).

Berdasarkan namanya konsep PLC adalah sebagai berikut :

1. *Programmable*, menunjukkan kemampuan dalam hal memori untuk menyimpan program yang telah dibuat yang dengan mudah diubah-ubah fungsi atau kegunaannya.
2. *Logic*, menunjukkan kemampuan dalam memproses input secara aritmatik dan logic (ALU), yakni melakukan operasi membandingkan, menjumlahkan, mengalikan, membagi, mengurangi, negasi, AND, OR, dan lain sebagainya.
3. *Controller*, menunjukkan kemampuan dalam mengontrol dan mengatur proses sehingga menghasilkan output yang diinginkan.

PLC ini dirancang untuk menggantikan suatu rangkaian relay sequensial dalam suatu sistem kontrol. Selain dapat diprogram, alat ini juga dapat dikendalikan, dan dioperasikan oleh orang yang tidak memiliki pengetahuan di bidang pengoperasian komputer secara khusus. PLC ini memiliki bahasa pemrograman yang mudah dipahami dan dapat dioperasikan bila program yang telah dibuat dengan menggunakan software yang sesuai dengan jenis PLC yang digunakan sudah dimasukkan. Alat ini bekerja berdasarkan input-input yang ada dan tergantung dari keadaan pada suatu waktu tertentu yang kemudian akan meng-*ON* atau meng-*OFF* kan *output-output*. 1 menunjukkan bahwa keadaan yang diharapkan terpenuhi sedangkan 0 berarti keadaan yang diharapkan tidak terpenuhi. PLC juga dapat diterapkan untuk pengendalian sistem yang memiliki output banyak.

2.1.2. Fungsi PLC

Fungsi dan kegunaan PLC sangat luas. Dalam prakteknya PLC dapat dibagi secara umum dan secara khusus. Secara umum fungsi PLC sebagai berikut:

1. Sekuensial Control. PLC memproses input sinyal biner menjadi output yang digunakan untuk keperluan pemrosesan teknik secara berurutan (*sekuensial*), disini PLC menjaga agar semua step atau langkah dalam proses sekuensial berlangsung dalam urutan yang tepat.
2. Monitoring Plant. PLC secara terus menerus memonitor status suatu sistem (misalnya temperatur, tekanan, tingkat ketinggian) dan mengambil

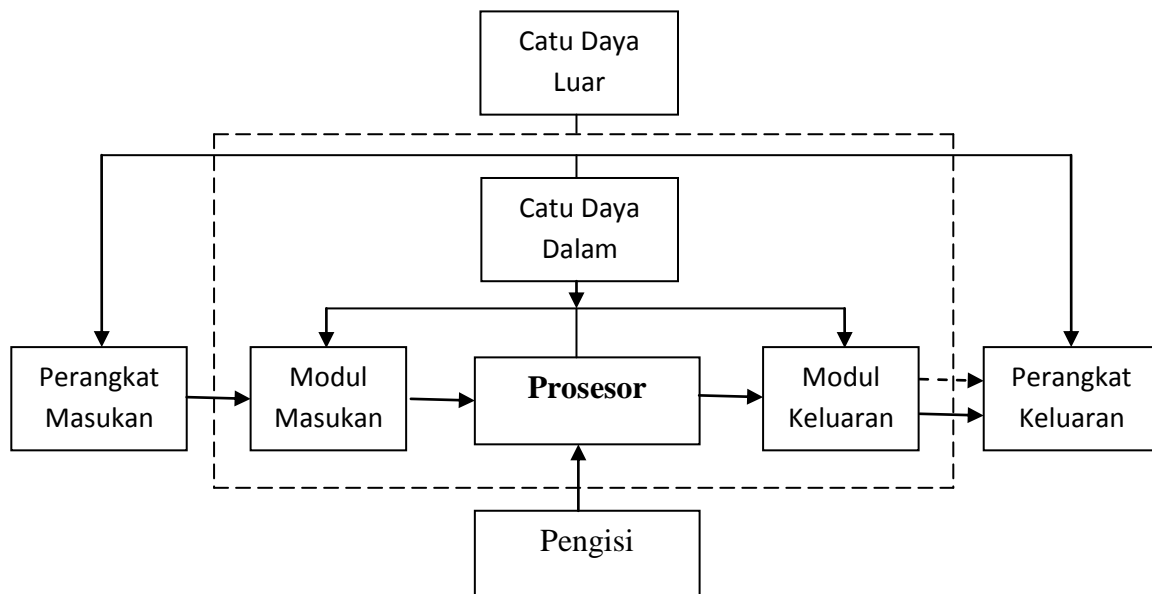
tindakan yang diperlukan sehubungan dengan proses yang dikontrol (misalnya nilai sudah melebihi batas) atau menampilkan pesan tersebut pada operator.

(Sumber: Pusat pengembangan bahan ajar UMB)

Sedangkan fungsi PLC secara khusus adalah dapat memberikan input ke CNC (*Computerized Numerical Control*). Beberapa PLC dapat memberikan input ke CNC untuk kepentingan pemrosesan lebih lanjut. CNC bila dibandingkan dengan PLC mempunyai ketelitian yang lebih tinggi dan lebih mahal harganya. CNC biasanya dipakai untuk proses finishing, membentuk benda kerja, moulding dan sebagainya.

2.1.3. Diagram Blok dan Prinsip Kerja PLC

Sistem *PLC* memiliki tiga komponen utama yaitu unit prosesor, bagian masukan/keluaran, dan perangkat pemrograman.



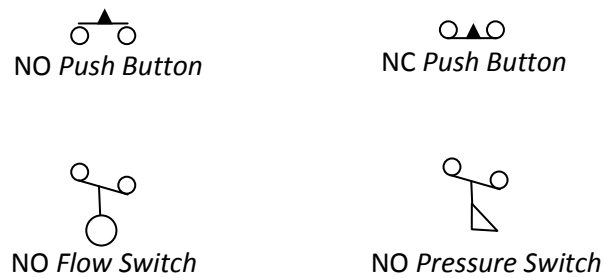
Gambar 2.1 Diagram Blok Sistem PLC (Irianto, 2005 Modul Pengenalan Dasar PLC dan Dasar Pemrograman Syswin 3.2)

Urutan kerja dari gambar diagram blok diatas dimulai dari perangkat masukan yang akan memberikan sinyal pada modul masukan. Sinyal tersebut diteruskan ke

prosesor dan akan diolah sesuai dengan program dibuat. Sinyal dari prosesor kemudian diberikan ke modul keluaran untuk mengaktifkan perangkat keluaran.

a. Perangkat dan Modul Masukan

Perangkat masukan merupakan perangkat keras yang dapat digunakan untuk memberikan sinyal kepada modul masukan. Sistem *PLC* dapat memiliki jumlah perangkat masukan sesuai dengan sistem yang diinginkan. Fungsi dari perangkat masukan untuk memberikan perintah khusus sesuai dengan kinerja perangkat masukan yang digunakan, misalnya menjalankan atau menghentikan motor. Dalam hal tersebut seperti misalnya, perangkat masukan yang digunakan adalah *push button* yang bekerja secara *Normally Open* (NO) ataupun *Normally Close* (NC). Ada bermacam-macam perangkat masukan yang dapat digunakan dalam pembentukan suatu sistem kendali seperti misalnya : *selector switches*, *foot switches*, *flow switches*, *proximity sensors* dan lain-lain. Gambar 3 memperlihatkan simbol-simbol perangkat masukan yang sering digunakan pada sistem kendali.



Gambar 2.2 Simbol Perangkat Masukan PLC (Irianto, 2005, Modul Pengenalan Dasar PLC dan Dasar Pemrograman Syswin 3.2)

Modul masukan adalah bagian dari sistem *PLC* yang berfungsi memproses sinyal dari perangkat masukan yang kemudian memberikan sinyal tersebut ke prosesor. Suatu sistem *PLC* dapat memiliki beberapa modul masukan. Masing-masing modul dapat mempunyai jumlah terminal masukan tertentu, yang berarti modul tersebut dapat melayani beberapa perangkat masukan. Pada umumnya modul masukan ditempatkan pada sebuah rak.

b. Prosesor

Prosesor adalah bagian pemroses dari sistem *PLC* yang akan membuat keputusan logika. Keputusan yang telah dibuat berdasarkan pada program yang telah disimpan pada memori. Prosesor adalah bagian dari *Central Processing Unit* (CPU) dari *PLC* yang akan menerima, menganalisa, memproses dan memberikan informasi ke modul keluaran. Didalam CPU *PLC* dapat dibayangkan seperti kumpulan dari ribuan *relay*. Hal tersebut bukan berarti di dalamnya terdapat banyak *relay* dalam ukuran yang sangat kecil tetapi berisi rangkaian elektronika digital yang dapat difungsikan sebagai kontak NO dan NC *relay*.

Memori berfungsi sebagai tempat dimana informasi tersebut disimpan. Ada bermacam-macam jenis serpih memori dalam bentuk *Integrated Circuits* (IC). Masing-masing jenis memori memiliki keuntungan dan kerugian dan dipilih untuk spesifikasi yang terbaik sesuai dengan aplikasinya.

Salah satu jenis memori yang digunakan dalam CPU *PLC* adalah *Random Access Memory* (RAM). Satu kerugian dari jenis memori tersebut adalah diperlukannya catu daya untuk menjaga agar memori tetap bekerja. Pada aplikasi *PLC* diperlukan catu daya cadangan yang digunakan untuk menjaga agar isi dari memori tidak hilang apabila tiba-tiba catu daya hilang. RAM sering digunakan untuk keperluan memori karena RAM mudah diubah dengan cepat ketika di bandingkan dengan jenis memori yang lain. RAM disebut juga sebagai memori baca/tulis, karena dengan RAM dapat dibaca dan ditulis data untuk disimpan di RAM.

Read Only Memory (ROM) adalah jenis memori yang semi permanen dan tidak dapat diubah dengan pengubah program. Memori tersebut hanya digunakan untuk membaca saja dan jenis memori tersebut tidak memerlukan catu daya cadangan karena isi memori tidak hilang meskipun catu daya terputus.

Programmable Read Only Memory (PROM) adalah jenis lain dari memori yang bekerja hampir menyerupai ROM, dengan satu pengecualian yaitu bisa diprogram. PROM di rancang untuk diisi dengan program yang terprogram. Apabila data dapat diubah, maka dapat diadakan pemrograman. Pemrograman ulang dari PROM, membutuhkan perlengkapan khusus yaitu *PROM Programmer* dimana *PLC* sendiri tidak dapat melakukannya.

c. Perangkat dan Modul Keluaran

Perangkat keluaran adalah komponen-komponen yang memerlukan sinyal untuk mengaktifkan komponen tersebut. Pada sistem *PLC* dapat mempunyai beberapa perangkat keluaran seperti motor listrik, lampu indikator, sirine dan lain-lain.

PLC dapat memiliki beberapa modul keluaran tergantung dari ukuran yang ada dan aplikasinya pada sistem kendali. Perangkat keluaran disambungkan ke modul keluaran dan akan aktif pada saat sinyal diterima oleh modul keluaran dari prosesor sesuai dengan program sistem kendali yang telah diisi ke memorinya. Catu daya yang digunakan untuk mengaktifkan perangkat keluaran tidak langsung dari modul keluaran tetapi berasal dari catu daya luar, sehingga modul keluaran sebagai saklar yang akan menyalurkan catu daya dari catu daya luar ke perangkat keluaran.

d. Catu Daya

Sistem *PLC* memiliki dua macam catu daya dibedakan berdasarkan fungsi dan operasinya yaitu catu daya dalam dan catu daya luar. Catu daya dalam merupakan bagian dari unit *PLC* itu sendiri sedangkan catu daya luar yang memberikan catu daya pada keseluruhan bagian dari sistem termasuk didalamnya untuk memberikan catu daya pada catu daya dalam dari *PLC*. Catu daya dalam akan mengaktifkan proses kerja pada *PLC*. Besarnya tegangan catu daya yang dipakai disesuaikan dengan karakteristik *PLC*. Bagian catu daya dalam pada *PLC* sama dengan bagian-bagian yang lain dimana terdapat langsung pada satu unit *PLC* atau terpisah dengan bagian yang lain.

e. Pengisi Program

Pemrograman *PLC* adalah memasukkan instruksi-instruksi dasar *PLC* yang telah membentuk logika pengendalian suatu sistem kendali yang diinginkan. Bahasa pemrograman biasanya telah disesuaikan dengan ketentuan dari pembuat *PLC* itu sendiri. Dalam hal ini setiap pembuat *PLC* memberikan aturan-aturan tertentu yang sudah disesuaikan dengan pemrograman CPU yang digunakan pada *PLC* tersebut.

Program yang digunakan dalam pemrograman *PLC* tergantung dari jenis atau merk *PLC* itu sendiri, karena *PLC* yang akan dijadikan sebagai bahan penelitian menggunakan *PLC* merk Omron maka program yang digunakan adalah Syswin. Sedangkan seri Syswin yang digunakan adalah *Syswin 3.2*. Program yang akan dimasukkan ke dalam *PLC* sebagai perintah adalah menggunakan Diagram Tangga (*Ladder Diagram*).

Ladder logic adalah bahasa pemrograman dengan bahasa grafik atau bahasa yang digambar secara grafik. Pemrogram dengan mudah menggambar skematik diagram dari program pada layar. Hal tersebut menyerupai diagram dasar yang digunakan pada logika kendali sistem kontrol panel dimana ketentuan instruksi terdiri dari koil-koil, NO, NC dan dalam bentuk penyimbolan. Pemrograman tersebut akan memudahkan pemrogram dalam mentransisikan logika pengendaliannya khususnya bagi para pemrogram yang telah memahami logika pengendalian sistem kontrol panel. Simbol-simbol tersebut tidak dapat dipresentasikan sebagai komponen tetapi dalam pemrogramannya simbol-simbol tersebut dipresentasikan sebagai fungsi dari komponen sebenarnya.

2.1.4. Jenis Jenis PLC

Dari ukuran dan kemampuannya, PLC dibagi menjadi jenis - jenis berikut:

1. Tipe *compact*.

PLC *compact* sering juga disebut dengan jenis "*based*" dimana komponen – komponen Processor, I/O, dan Catu daya melekat menjadi 1 bagian pada 1 unit yang tidak terpisahkan.

Ciri - Ciri PLC tipe *compact* antara lain:

- Seluruh komponen (*power supply*, CPU, modul *input – output*, modul komunikasi) menjadi satu.
- Umumnya berukuran kecil (*compact*).
- Mempunyai jumlah input/output relatif sedikit dan tidak dapat di*expand*.
- Tidak dapat ditambah modul – modul khusus.



Gambar 2.3 PLC *Schneider* SR2B201BD

2. Tipe Modular

PLC sistem modular yang sering disebut juga dengan sistem “*rack*” merupakan jenis PLC yang sangat besar dan lengkap pemrogramannya. Dimana semua komponen-komponennya dapat dipisahkan satu sama lainnya dengan sistem penempatan tetap pada satu modul besar, misal Processor tersendiri, I/O tersendiri, bahkan catu dayanya juga dapat dipisahkan.

Ciri - Ciri PLC tipe *compact* antara lain:

- Komponen – komponennya terpisah ke dalam modul – modul.
- Berukuran besar.
- Memungkinkan untuk ekspansi jumlah input /output (sehingga jumlah lebih banyak).
- Memungkinkan penambahan modul – modul khusus.



Gambar 2.4 PLC modular dari Omron (OMRON, 2004)

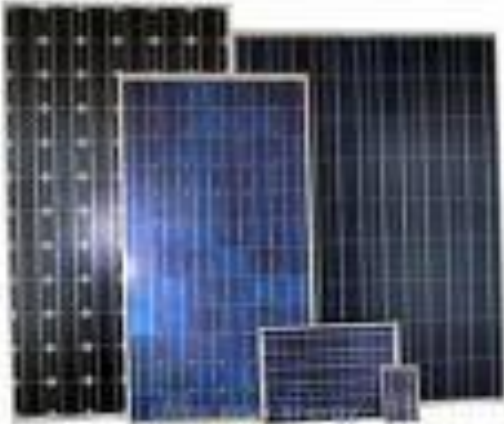
2.2. Solar Cell

2.2.1. Prinsip Kerja

Energi Surya adalah salah satu jenis dari energi terbarukan (*Renewable Energy*). Matahari (Surya) adalah sumber energi yang dijumpai dalam sistem galaksi, yang menghasilkan energi sepanjang usia Matahari. Maksud energi surya adalah energi yang didapatkan langsung dari cahaya matahari.

Sebelum membahas sistem, pertama - tama akan dijelaskan secara singkat komponen penting dalam sistem ini yang berfungsi sebagai pengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Listrik tenaga matahari dibangkitkan oleh komponen yang disebut solar cell yang besarnya sekitar 10 - 15 cm persegi. Komponen ini mengkonfirmasi energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik. Solar cell merupakan komponen vital yang umumnya terbuat dari bahan semi konduktor.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh satu solar cell sangat kecil maka beberapa solar cell harus digabungkan sehingga terbentuklah satuan komponen yang disebut module. Produk yang dikeluarkan oleh industri-industri *solar cell* adalah dalam bentuk module yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Pada aplikasinya, tenaga listrik yang dihasilkan oleh satu module masih cukup kecil (rata-rata maksimum tenaga listrik yang dihasilkan 130 W) maka dalam pemanfaatannya beberapa module digabungkan dan terbentuklah apa yang disebut *array*. Sebagai contoh untuk menghasilkan listrik sebesar 3 kW dibutuhkan array seluas kira-kira 20 - 30 meter persegi.

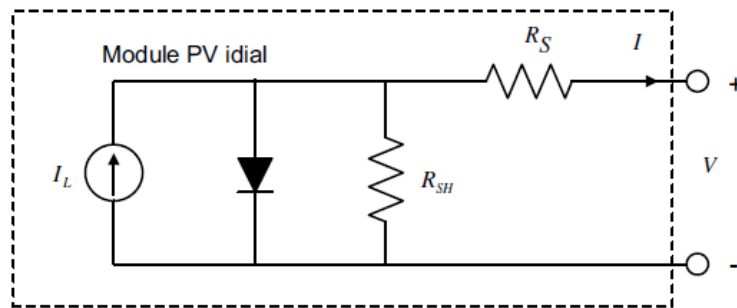


Gambar 2.5 Panel Surya (Indrawan, 2004)

2.2.2. Karakteristik *Solar Cell*

Sel Surya diproduksi dari bahan semikonduktor yaitu silikon yang berperan sebagai insulator pada temperatur rendah dan sebagai konduktor bila ada energi dan panas. Sebuah Silikon Sel Surya adalah sebuah diode yang terbentuk dari 3 lapisan atas silikon tipe n (*silicon doping of "phosphorous"*), dan lapisan bawah silikon tipe p (*silicon doping of "boron"*). Elektron-elektron bebas terbentuk dari milion photon atau benturan atom pada lapisan penghubung (*junction= 0.2-0.5 micron*) menyebabkan terjadinya aliran listrik.

Sebuah Sel Surya dalam menghasilkan energi listrik (energi sinar matahari menjadi photon) tidak tergantung pada besaran luas bidang Silikon, dan secara konstan akan menghasilkan energi berkisar ± 0.5 volt — max. 600 mV pada 2 amp , dengan kekuatan radiasi solar matahari $1000 \text{ W/m}^2 = \text{"1 Sun"}$ akan menghasilkan arus listrik (I) sekitar 30 mA/cm^2 per sel surya. Pada Gambar 2.2 grafik I-V Curve dibawah yang menggambarkan keadaan sebuah Sel Surya beroperasi secara normal. Sel Surya akanmenghasilkan energi maximum jika nilai V_m dan I_m juga maximum. Sedangkan I_{sc} adalah arus listrik maximum pada nilai volt = nol; I_{sc} berbanding langsung dengan tersedianya sinar matahari. V_{oc} adalah volt maximum pada nilai arus nol; V_{oc} naik secara logaritma dengan peningkatan sinar matahari, karakter ini yang memungkinkan Sel Surya untuk mengisi accu.



Gambar 2.6 Rangkaian Persamaan Sel Surya (Wulandari Triyas Ika, 2010)

Persamaan dari rangkaian di atas adalah:

$$I = I_L - I_o \left[\exp\left(\frac{(V + IR_S)}{nkT / q}\right) - 1 \right] - \frac{(V + IR_S)}{R_{SH}} \quad (2.1)$$

Dimana :

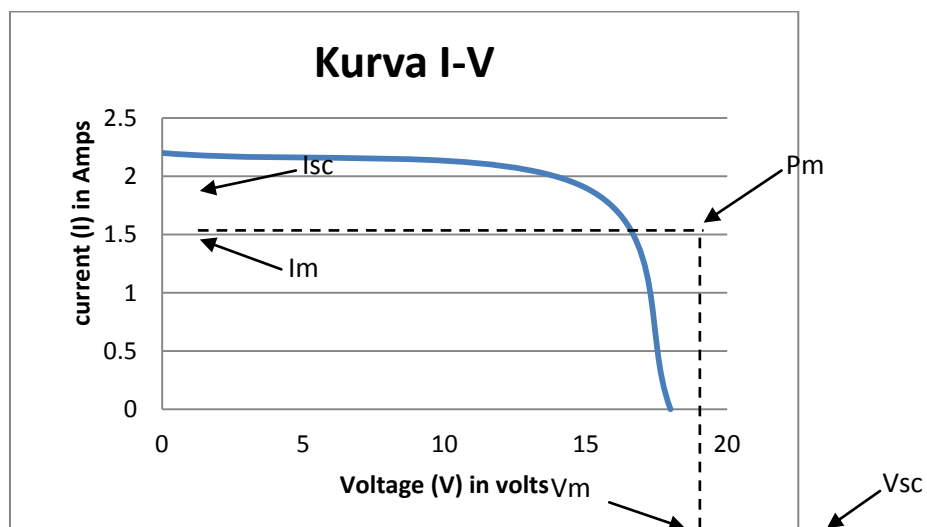
I_o = arus saturasi *reverse* (Ampere)

n =faktor ideal dioda (bernilai 1 untuk dioda ideal)

q =pengisian electron ($1.602 \cdot 10^{-19}$ C)

k =konstanta Boltzman ($1.3806 \cdot 10^{-23}$ J.K-1)

T =temperatur solar sel (o K)



Gambar 2.7 kurva I-V (Strong, Steven J, The Solar Electric House, p. 58)

Keterangan:

I_{sc} = Short-circuit current

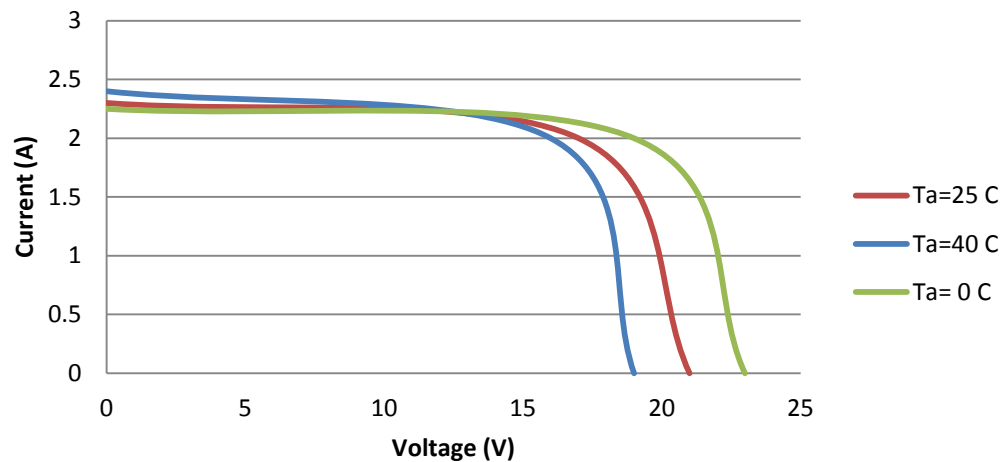
V_{sc} = Open-circuit voltage

V_m = Voltage maximum power

I_m = Current maximum power

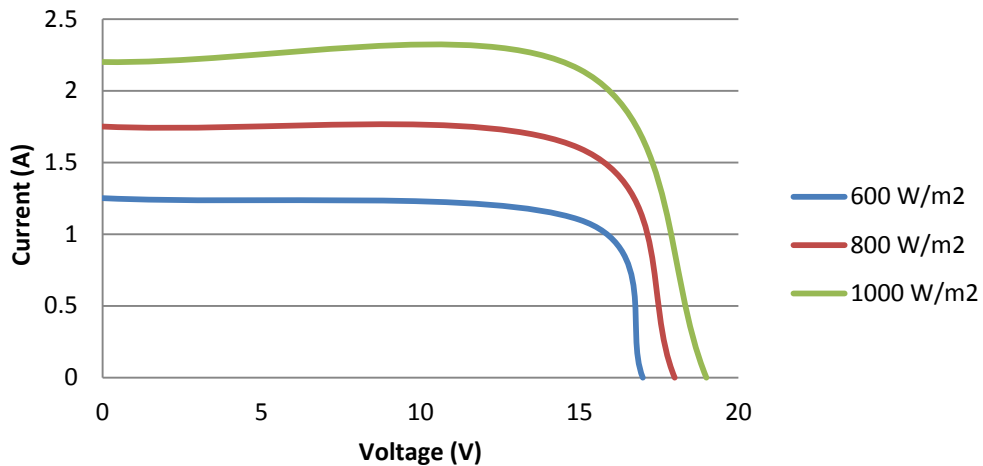
P_m = Power maximum-output dari PV array (watt)

Sebuah Sel surya dapat beroperasi secara maximum jika temperatur sel tetap normal (pada 25 derajat celsius), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada PV sel akan melemahkan voltage (V_{oc}). Setiap kenaikan temperatur sel surya 1 derajat celsius (dari 25 derajat) akan berkurang sekitar 0.4 % pada total tenaga yang dihasilkan 8 atau akan melemah 2x lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10 derajat C. Gambar 2.8 merupakan grafik pengaruh temperatur pada solar cell dalam °C.



Gambar 2.8 Grafik Arus Terhadap Temperatur (Wulandari Triyas Ika, 2010)

Radiasi solar matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. Insolation solar matahari akan banyak berpengaruh pada current (I) sedikit pada volt. Gambar 2.9 merupakan grafik pengaruh temperatur pada solar cell dalam W/m^2 .



Gambar 2.9 Grafik Arus Terhadap Tegangan (*Wulandari Triyas Ika, 2010*)

Kecepatan tiup angin disekitar lokasi PV array dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca PV array. Keadaan atmosfer bumi—berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dari deretan PV.

Orientasi dari rangkaian PV (array) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan PV dapat menghasilkan energi maximum. Selain arah orientasi, sudut orientasi (tilt angle) dari panel/deretan PV juga sangat mempengaruhi hasil energi maximum (lihat penjelasan tilt angle). Sebagai guideline: untuk lokasi yang terletak di belahan utara latitude, maka panel/deretan PV sebaiknya diorientasikan ke Selatan, orientasi ke timur—barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel-panel/deretan PV, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum.

Pada gambar 2.5 tilt angle (sudut orientasi matahari) mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel PV secara tegak lurus akan mendapatkan energi maximum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$ atau 1 kW/m^2 .

Kalau tidak dapat mempertahankan ketegak lurus antara sinar matahari dengan bidang PV, maka extra luasan bidang panel PV dibutuhkan (bidang panel PV terhadap sun altitude yang berubah setiap jam dalam sehari).

2.2.3. Parameter *Solar Cell*

Pengoperasian maximum Sel Surya sangat tergantung pada :

a. Ambient air temperature

Sebuah Sel Surya dapat beroperasi secara maximum jika temperatur sel tetap normal (pada 25 derajat Celsius), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperature normal pada PV sel akan melemahkan voltage (Voc). Setiap kenaikan temperatur Sel Surya 1 derajat celsius (dari 25 derajat) akan berkurang sekitar 0.4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah 2x lipat untuk kenaikan temperatur Sel per 10 derajat C.

b. Radiasi solar matahari (insolation)

Radiasi solar matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. Insolation solar matahari akan banyak berpengaruh pada current (I) sedikit pada volt

c. Kecepatan angin bertiup

Kecepatan tiup angin disekitar lokasi PV array dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca PV array.

d. Keadaan atmosfer bumi

Keadaan atmosfer bumi—berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dari deretan PV.

e. Orientasi panel atau array PV

Orientasi dari rangkaian PV (array) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan PV dapat menghasilkan energi maximum. Selain arah orientasi, sudut orientasi (tilt angle) dari panel/deretan PV juga sangat mempengaruhi

hasil energi maximum (lihat penjelasan tilt angle). Sebagai guideline: untuk lokasi yang terletak di belahan Utara latitude, maka panel/deretan PV sebaiknya diorientasikan ke Selatan, orientasi ke Timur—Barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel/deretan PV, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum. *Posisi letak sel surya (array) terhadap matahari (tilt angle)* Tilt Angle (sudut orientasi Matahari), Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel PV secara tegak lurus akan mendapatkan energi maximum 1000 W/m² atau 1 kW/m². Kalau tidak dapat mempertahankan ketegak lurus antara sinar matahari dengan bidang PV, maka extra luasan bidang panel PV dibutuhkan (bidang panel PV terhadap sun altitude yang berubah setiap jam dalam sehari).

2.2.4. Jenis – Jenis *Solar Cell*

Pengembangan Sel Surya Silikon secara Individu (chip) :

a. *Mono-crystalline* (Si)

Dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur. Sekarang *Mono-crystalline* dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 24%.

b. *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 *Poly crystalline* (efektivitas 18%), tetapi biaya lebih murah.

c. Gallium Arsenide (GaAs)

Sel Surya III-V semikonduktor yang sangat efisien sekitar 25%.

2.3. Accumulator

2.3.1. Struktur Accumulator

Accumulator atau sering disebut aki, adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau motor, semua memerlukan aki untuk dapat menghidupkan mesin kendaraan (mencatu arus pada dinamo stater kendaraan). Aki mampu mengubah tenaga kimia menjadi tenaga listrik.

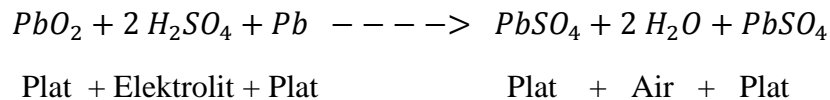
Dikenal dua jenis elemen yang merupakan sumber arus searah (DC) dari proses kimiawi, yaitu elemen primer dan elemen sekunder. Elemen primer terdiri dari elemen basah dan elemen kering. Reaksi kimia pada elemen primer yang menyebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif (katoda) ke elektroda positif (anoda) tidak dapat dibalik arahnya. Maka jika muatannya habis, maka elemen primer tidak dapat dimuati kembali dan memerlukan penggantian bahan pereaksinya (elemen kering). Sehingga dilihat dari sisi ekonomis elemen primer dapat dikatakan cukup boros. Contoh elemen primer adalah batu baterai (dry cells).

Elemen sekunder dalam pemakaiannya harus diberi muatan terlebih dahulu sebelum digunakan, yaitu dengan cara mengalirkan arus, tidak seperti elemen primer, elemen sekunder dapat dimuati kembali berulang kali. Elemen sekunder ini lebih dikenal dengan aki. Dalam sebuah aki berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (bolak-balik) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel yaitu di dalam aki saat dipakai berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (discharging). Sedangkan saat diisi atau dimuati, terjadi proses tenaga listrik menjadi tenaga kimia (charging).

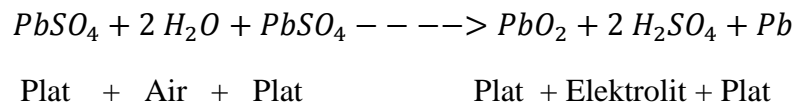
Pada aki kendaraan bermotor arus yang terdapat di dalamnya dinamakan dengan kapasitas aki yang disebut Ampere-Hour/AH (Ampere-jam). Contohnya untuk aki dengan kapasitas arus 5 AH, maka aki tersebut dapat mencatu arus 5 Ampere selama 1 jam atau 1 Ampere selama 5 jam.

2.3.2. Reaksi Kimia Accumulator

Pengosongan dan pengisian baterai merupakan suatu siklus seperti reaksi kimia di bawah ini. Reaksi kimia pada waktu baterai mengeluarkan arus :



Ketika baterai mengeluarkan arus listrik, timah hitam pada plat positif maupun negatif bergabung dengan SO₄ yang terdapat dalam elektrolit, sehingga membentuk PbSO₄. Dengan adanya reaksi tersebut, elektrolit H₂SO₄ sedikit demi sedikit menjadi air, sehingga elektrolit berkurang konsentrasinya, mengakibatkan berat jenisnya pun menurun. Reaksi kimia pada waktu baterai diisi :



Selama pengisian, arus listrik mengalir ke dalam baterai dengan arah yang berlawanan, sehingga mengakibatkan kebalikan reaksi di dalam baterai.

H₂SO₄ terpisah dari PbSO₄ pada tiap-tiap plat sehingga plat positif akan terdapat Pb. Dalam reaksi ini H₂SO₄ akan terbentuk kembali di dalam elektrolit sehingga konsentrasi dan berat jenisnya akan naik. Akibat reaksi kimia (ketika aki dipakai), pada kutub-kutub anoda dan katoda lama kelamaan terjadi endapan PbO sehingga tidak terjadi selisih potensial lagi (aki kosong). Untuk mengisinya kembali maka kita harus mengalirkan arus listrik ke arah yang berlawanan dengan arus yang dikeluarkan oleh aki tersebut. GGLaki ini sekitar 2 volt. Efisiensi aki ialah perbandingan energi listrik yang dapat dipakai menjadi kalor dibandingkan dengan energi listrik yang diisikan. berkisar 80-90%.

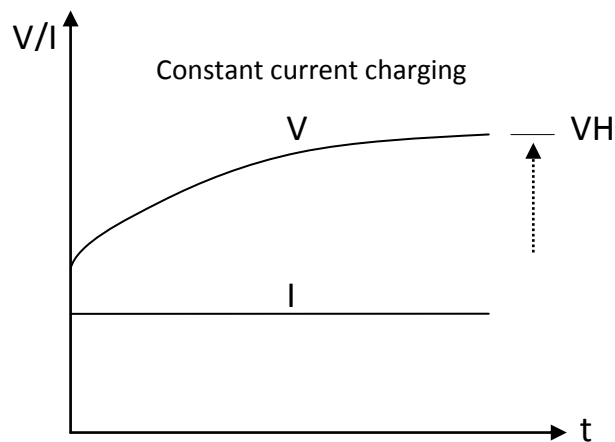
2.3.3. Metode Pengisian dan Pelepasan

Battery (accumulator) merupakan salah satu komponen yang sangat penting untuk memberikan *supply* tenaga, akan tetapi dalam alat ini, accumulator digunakan untuk menyimpan energi listrik yang berasal dari *solar cell*.

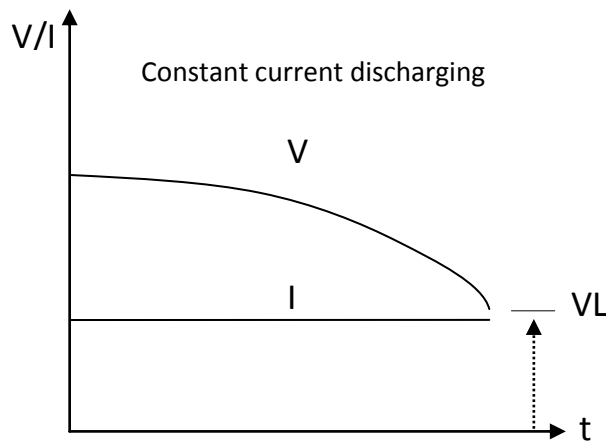
Penelitian atau percobaan tentang Proses Charge dan Discharge telah menghasilkan banyak sekali metode yaitu antara lain:

a. Proses Charge dan Discharge dengan Arus Konstan.

Proses Charge dan Proses Discharge dengan arus konstan yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 dan Gambar 2.11 dapat diambil kesimpulan bahwa, proses charge discharge akan berakhir ketika waktu yang telah diset terlampaui atau apabila kapasitas battery (accumulator) yang ditentukan telah terpenuhi.



Gambar 2.10 Proses *charge* dengan arus konstan (Wulandari Triyas Ika, 2010)

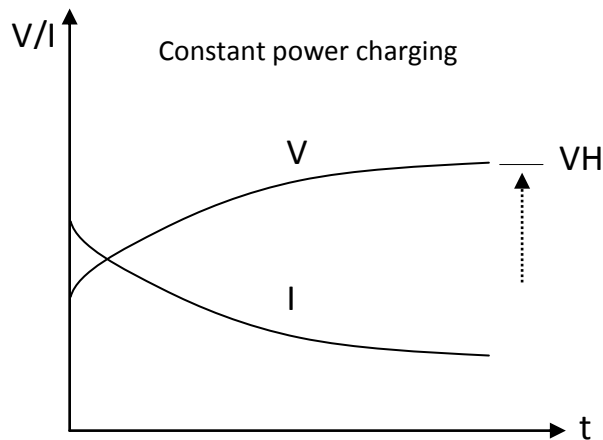


Gambar 2.11 Proses Discharge dengan Arus Konstan (Wulandari Triyas Ika, 2010)

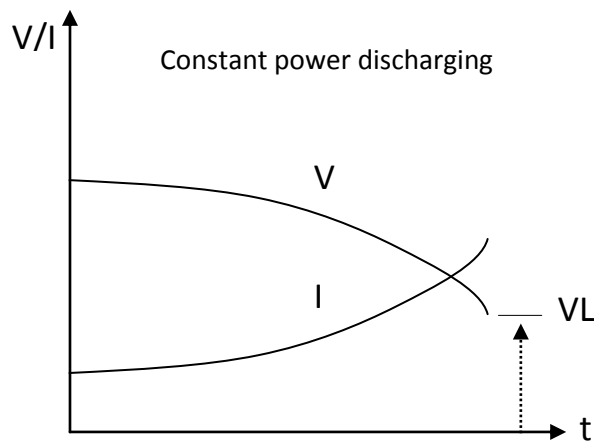
b. Proses Charge Discharge dengan Daya Konstan.

Proses Charge dengan daya konstan yang ditunjukkan pada Gambar 2.12 dilakukan ketika tegangan naik dan arus turun, proses ini berakhir ketika set

time terpenuhi atau tegangan pada battery terpenuhi. Sedangkan Proses Discharge dengan daya konstan yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 dilakukan ketika tegangan battery turun dan arus naik dan discharge berakhir saat set time terlampaui atau tegangan beban terpenuhi.

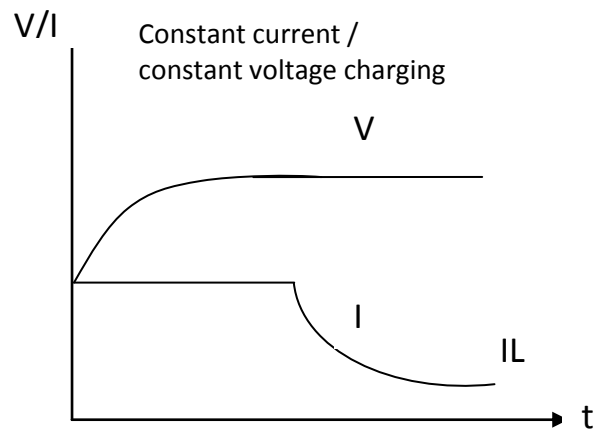


Gambar 2.12 Proses Charge dengan Daya Konstan (Wulandari Triyas Ika, 2010)



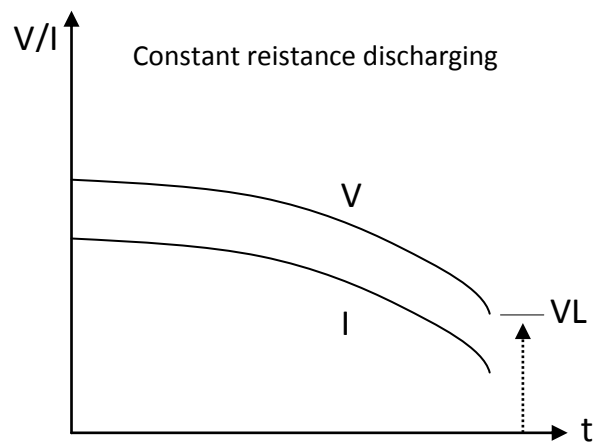
Gambar 2.13 Proses Discharge dengan Daya Konstan (Wulandari Triyas Ika, 2010)

Gambar 2.14 menunjukkan proses charge dengan arus konstan ketika tegangan terminal lebih rendah daripada tegangan charge



Gambar 2.14 Proses charge dengan arus konstan / tegangan konstan (Wulandari Triyas Ika, 2010)

- c. Gambar 2.15 menunjukkan Proses Discharge dengan resistansi konstan ketika tegangan battery turun dan arus juga turun.



Gambar 2.15 Proses discharge dengan resistansi konstan (Wulandari Triyas Ika, 2010)

Untuk mengetahui waktu dalam proses pengisian accumulator, dapat menggunakan perhitungan pada persamaan (2.2) dan persamaan

(2.3):

- Lama pengisian Arus:

$$Ta = \frac{Ah}{h} \quad (2.2)$$

Keterangan :

Ta = Lamanya pengisian arus (jam).

Ah = Besarnya kapasitas accumulator (Ampere hours).

A = Besarnya arus pengisian ke accumulator (Ampere).

- Lama pengisian Daya:

$$Td = \frac{\text{daya Ah}}{\text{daya A}} \quad (2.3)$$

Keterangan :

Td = Lamanya pengisian Daya (jam).

Daya Ah = Besarnya daya yang didapat dari perkalian Ah dengan besar tegangan accumulator (Watt hours).

Daya A = Besarnya daya yang didapat dari perkalian A dengan besar tegangan accumulator (Watt).

2.3.4. State Of Charge Accumulator

Status pengisian accumulator dapat diketahui berdasarkan tegangan atau berat jenis elektrolit. Perubahan kepadatan berat jenis asam sulfat dari accumulator memberikan suatu keadaan pengisian yang berbeda. Berat jenis elektrolit accumulator dapat dibaca menggunakan hydrometer untuk memberikan informasi tentang keadaan pengisian secara tepat. Namun hydrometer tidak dapat digunakan untuk accumulator berjenis *sealed*, AGM, dan *gel cell* accumulator.

Voltmeter juga dapat digunakan untuk menunjukkan kondisi pengisian accumulator. Voltmeter memberikan akurasi untuk membaca tegangan dan mudah untuk digunakan.

Tabel 2.1 *State of charge standart batteries*

Percent Of Charge	Specific Grafity	6v (volt)	8v (volt)	12v (volt)	24v (volt)	36v (volt)	42v (volt)	48v (volt)	72v (volt)	120v (volt)
100%	1.277	6.37	8.49	12.73	25.48	38.22	44.59	50.96	76.44	127.4
90%	1.258	6.31	8.41	12.62	25.24	27.86	44.17	50.48	75.72	126.2
80%	1.238	6.25	8.33	12.5	25	27.5	43.75	50	75	125
70%	1.217	6.19	8.25	12.37	24.76	37.14	43.33	49.52	74.28	123.8
60%	1.195	6.12	8.15	12.24	24.48	36.72	42.84	48.96	73.44	122.4
50%	1.172	6.05	8.07	12.1	24.2	36.3	42.35	48.5	72.6	121
40%	1.148	5.98	7.97	11.86	23.92	35.88	41.86	47.84	71.76	119.6
30%	1.124	5.91	7.88	11.71	23.64	35.46	41.37	47.28	70.92	118.2
20%	1.098	5.83	7.77	11.66	23.32	34.98	40.81	46.64	69.96	116.6
10%	1.073	5.75	7.67	11.51	23	34.5	40.25	46	69	115

Sumber : <http://www.cartaholics.com>

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan tempat penelitian

Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Slamet Riyadi No. 62 Patrang, Jember 68111. Sedangkan waktu pelaksanaan mulai dari studi pustaka hingga penyusunan laporan dilakukan selama satu semester.

3.2. Tahapan Penelitian

Tahap-tahap dalam penelitian ini secara garis besarnya meliputi:

1. Tahap Studi Pustaka

2. Tahap perancangan dan pembuatan perangkat keras

3. Tahap perancangan dan pembuatan perangkat lunak

Pengujian perangkat penyusun sistem yang sudah dirancang, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak sebelum diintegrasikan menjadi sistem keseluruhan.

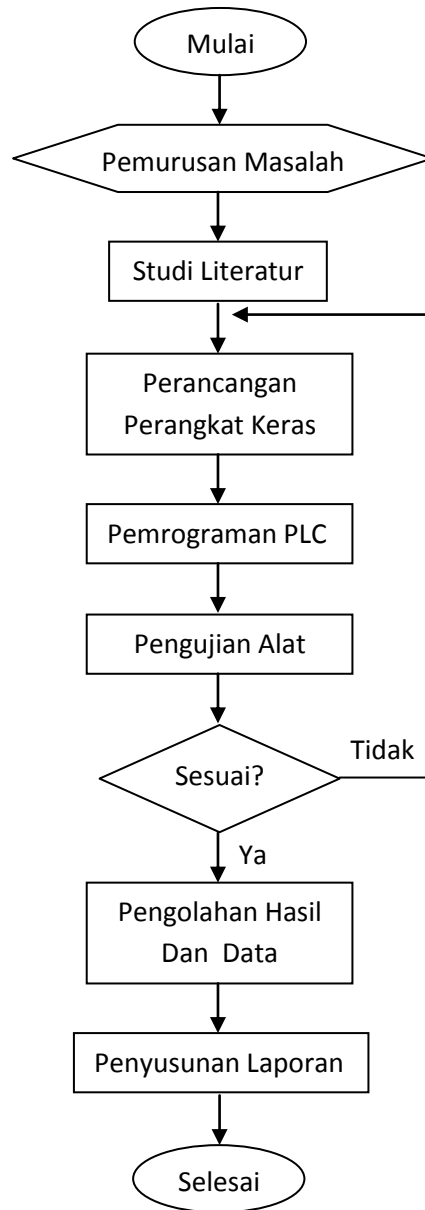
4. Integrasi sistem

Mengintegrasikan perangkat penyusun sistem yang sudah dirancang, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak menjadi sistem keseluruhan.

5. Tahap pengujian dan analisa sistem

Menguji sistem yang telah terintegrasikan secara menyeluruh untuk selanjutnya dilakukan analisa kinerja sesuai dengan fungsinya.

3.2.1. Diagram Alir Analisis Data



Gambar 3.1 Diagram Alir Analisis Data

3.2.2. Studi literatur

Studi literatur ini diambil dari beberapa seperti *paper* atau jurnal dan juga buku-buku referensi yang digunakan sebagai dasar untuk mengolah data yang ada. Studi literatur pada tugas akhir ini meliputi hal-hal sebagai berikut:

- Studi sistem operasi PLC
- Studi karakteristik *solar cell*
- Studi karakteristik baterai

3.2.3. Perangkat Keras

Perancangan alat ini disesuaikan dengan fungsi dari komponen-komponen yang akan digunakan sehingga siap untuk direalisasikan. Perangkat keras yang akan digunakan antara lain

1. *Battery charger accu*
2. *Buck boots converter*

3.2.4. Pemrograman PLC

Perancangan sistem hybrid energi listrik menggunakan *programmable logic controllers* berdasarkan level kapasitas baterai

3.2.5. Pengolahan Hasil dan Data

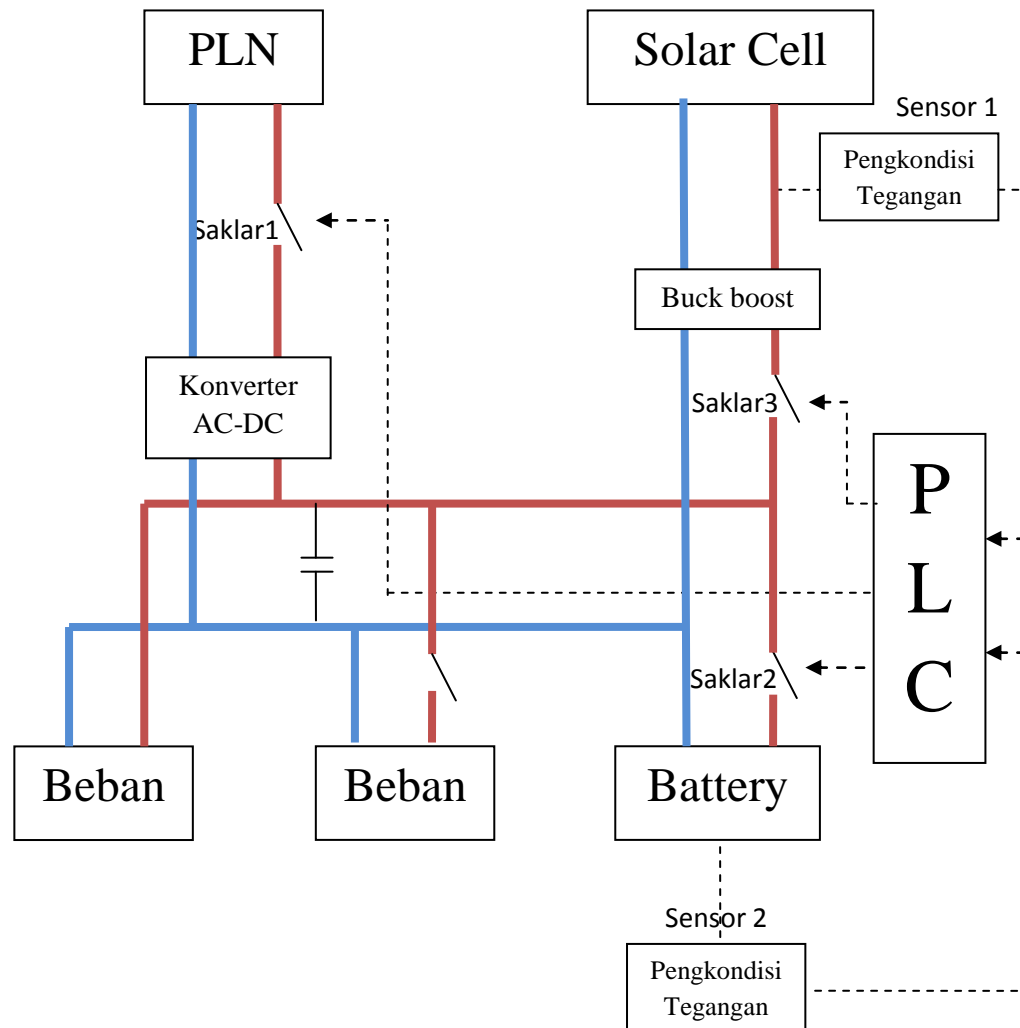
Setelah tercipta sistem hybrid energi listrik menggunakan PLC maka akan didapatkan data-data untuk diolah dan memunculkan kesimpulan dari penelitian ini.

3.2.6. Penyusunan Laporan

Secara formal kegiatan penelitian yang telah dilakukan hingga selesai dilaporkan dalam bentuk tulisan dengan tata cara penulisan yang telah ditentukan.

3.3. Desain Sistem

3.3.1. Blok Diagram Sistem

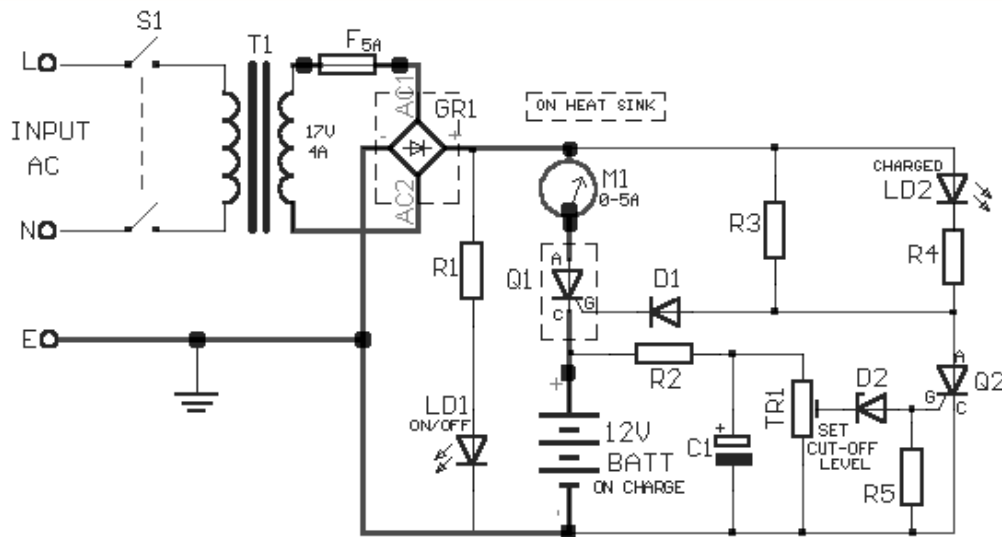


Gambar 3.2 Blok diagram sistem hibrid energi listrik

3.3.2. Battery Charger

Pengertian dari *Battery Charger* adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengisi battery dengan arus konstan hingga mencapai tegangan yang ditentukan. Bila level tegangan yang ditentukan itu telah tercapai, maka arus pengisian akan turun secara otomatis ke level yang aman tepatnya yang telah ditentukan dan menahan arus pengisian hingga menjadi lebih lambat sehingga indicator menyala menandakan battery telah terisi penuh.

Didalam rangkaian *battery charger* terdapat rangkaian regulator dan rangkaian comparator. Rangkaian regulator berfungsi untuk mengatur tegangan keluaran agar tetap konstan, sedangkan rangkaian comparator berfungsi untuk menurunkan arus pengisian secara otomatis pada battery pada saat tegangan pada battery penuh ke level yang aman tentunya dan menahan arus pengisian hingga menjadi lebih lambat sehingga menyebabkan indicator aktif menandakan battery telah terisi penuh ditunjukkan pada Gambar 3.4.

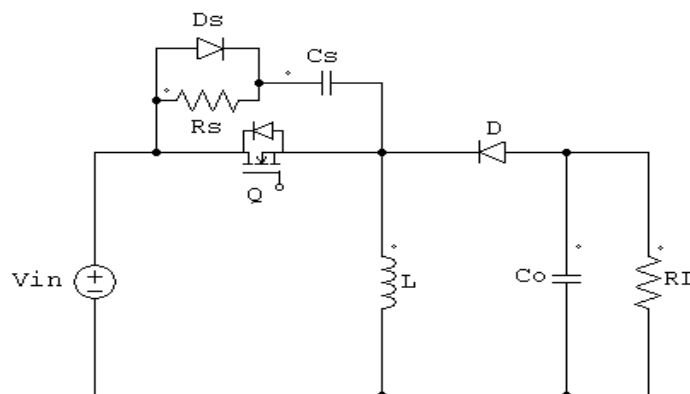


Gambar 3.3 Rangkaian Baterai Charger (Wulandari Triyas Ika, 2010)

3.3.3. Buck Boost Converter

Buck-Boost Converter digunakan untuk menaik-turunkan tegangan input agar tegangan output dapat diatur pada nilai tertentu. Penggunaan *Buck-Boost Converter* ini karena tegangan *output* dari *solar cell* selalu berubah berdasarkan perubahan intensitas cahaya yang jatuh pada permukaan solar cell.

Rangkaian *boost converter* menggunakan MOSFET dengan PWM sebagai trigger pada gate dengan masukkan tegangan dari solar celli sebesar 10 - 20 V untuk menghasilkan tegangan keluaran sebesar 14 V dengan arus sebesar 2 A.



Gambar 3.4 Rangkaian Sederhana *Buck-Boost Converter* (Arifin, Zainal, 2009)

Mencari Nilai Induktor (L) dengan Metoda 1:

- Tentukan Duty Cycle:

$$D = \frac{V_{out}}{V_{out} + V_{in}} = \frac{14}{14 + 10} = \frac{14}{24} = 0,58$$

- Tentukan nilai R:

$$R = \frac{V_{out}}{I_{out}} = \frac{14}{2,5} = 5,6$$

- Tentukan nilai dari Arus Induktor:

$$I_L = \frac{VdD}{R(1 - D)^2} = \frac{10(0,58)}{5,6(1 - 0,58)^2} = \frac{5,8}{5,6(0,42)^2} = \frac{5,8}{5,6(0,1764)} = \frac{5,8}{0,98784} = 5,87A$$

- Tentukan ΔI_L :

$$\Delta I_L = 20\% \times I_L = 0,2 \times 5,87 = 1,174$$

- Tentukan nilai Induktor:

$$L = \frac{1}{f} (V_{out} + V_F) \left(\frac{V_{in_min}}{V_{out} + V_F + V_{in_min}} \right) \left(\frac{1}{\Delta I_L} \right)$$

$$L = \frac{1}{45 \times 10^3} (14 + 1,2) \left(\frac{10}{14 + 1,2 + 10} \right) \left(\frac{1}{1,174} \right)$$

$$L = \frac{1}{45 \times 10^3} (15,2) \left(\frac{10}{25,2} \right) \left(\frac{1}{1,174} \right)$$

$$L = \frac{152}{1331,316 \times 10^3} = 0,114172743 \times 10^{-3} = 0,114173mH$$

Mencari Banyak Lilitan (n):

- Tentukan nilai Arus max induktor:

$$I_{max} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = 5,87 + \frac{1,174}{2} = 5,87 + 0,587 = 6,457A$$

- Tentukan banyak lilitan:

$$n = \frac{L I_{max}}{B_{max} A_c} 10^4 = \frac{0,11573 \times 10^{-3} (6,457)}{0,25 \times 1,96} 10^4 = \frac{0,74081161 \times 10}{0,49}$$

$$= 15,1186 \text{ lilitan}$$

Jadi banyak lilitan adalah 16 lilitan.

Mencari Ukuran Kawat:

- Tentukan nilai Arus rms:

$$I_{rms} = \sqrt{I_L^2 + \left[\frac{\Delta I_L}{\sqrt{3}} \right]^2} = \sqrt{5,87^2 + \left[\frac{0,587}{\sqrt{3}} \right]^2} = \sqrt{34,4569 + 0,3389^2}$$

$$= \sqrt{34,4569 + 0,114856} = \sqrt{34,571756} = 5,879775 A$$

- Tentukan banyak Split:

$$I_{per \ split} = \frac{5,879775}{7} = 0,839967857 A$$

Jadi Kita menggunakan Tembaga yang memiliki kemampuan menahan arus 0,921 dengan split 7 yaitu diameter 0,5 mm.

Mencari Panjang Kawat:

- Panjang tanpa toleransi:

$$l = keliling_{core} \times n \times split = 2\pi r \times n \times split = 2(3,14)0,83 \times 16 \times 7$$

$$= 583,7888 \text{ cm}$$

- Panjang kawat yang dibutuhkan dengan toleransi 50%:

$$l_{total} = l + l \times 50\% = 583,7888 + 583,7888 \times 50\% = 583,7888 + 291,8944 \\ = 875,6832 \text{ cm}$$

Mencari Nilai C Output:

- Tentukan ΔV_{out} :

$$\Delta V_{out} = V_{out} \times \text{Persentase} V_{out} = 14 \times 0,25\% = 0,028$$

$$\Delta V_{out} = \frac{V_{out} \times D}{RCf}$$

- Tentukan nilai Capacitor yang dibutuhkan:

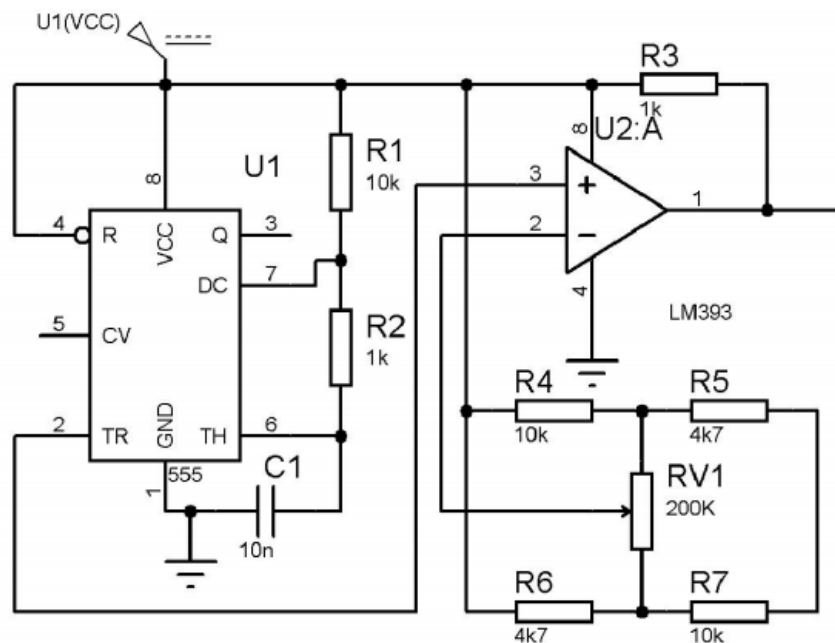
$$C = \frac{V_{out} \times D}{\Delta V_{out} Rf} = \frac{14 \times 0,58}{0,035 \times 5,6 \times 45 \times 10^3} = \frac{8,12}{8820} = 0,000921 \text{ Farad} = 1000 \mu F$$

3.3.4. Perancangan Rangkaian Sistem Monostable

Pembangkit Monostable Multivibrator sebuah OP-AMP IC LM324. Bagian dari rangkaian terdiri dari kapasitor, resistor serta potensiometer. Selain menggunakan IC tersebut diatas, kita juga dapat membangkitkan sinyal gelombang segitiga dengan menggunakan IC tipe LF356, LF351 atau LF353. Hal ini dimungkinkan karena penggunaan IC tipe ini sangat cocok untuk pengoperasian dengan frekuensi tinggi. Dengan menganggap kapasitor dalam keadaan kosong, tegangan yang dilalui adalah nol dan komparator internal pada IC 555 pada pin 2 mengakibatkan keluarannya bernilai tinggi dan transistor internal dari IC tersebut menghubungkan kapasitor ke ground kemudian kapasitor mulai mengisi kembali melalui sumber tegangan.

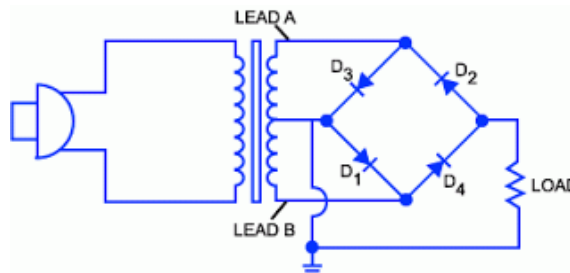
Pada saat pengisian, ketika tegangan bertambah diatas 2/3 dari tegangan sumber, keluaran IC 555 bernilai rendah dan menghubungkan kapasitor ke ground yang mengakibatkan kapasitor mengalami pengosongan.

Keadaan ini terus terjadi, dimana keluaran IC 555 bernilai tinggi pada saat tegangan yang melalui kapasitor berkurang dibawah 1/3 dari tegangan sumber. Pengisian dan pengosongan kapasitor terjadi diantara 2/3 dan 1/3 dari tegangan sumber.



Gambar 3.5 Rangkaian *Monostable Multivibrator*

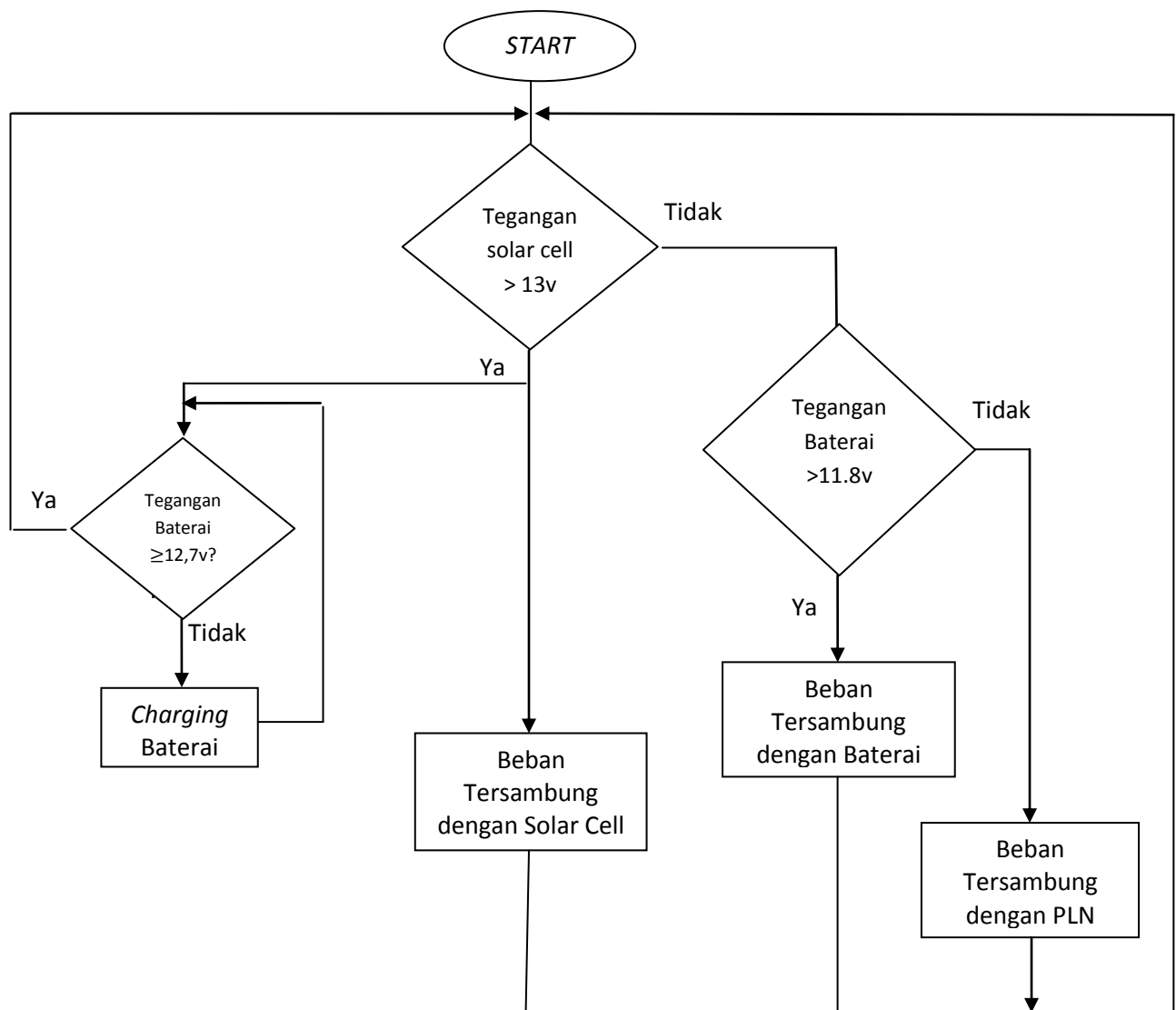
3.3.5. Penyearah Tegangan



Gambar 3.6 Rangkaian penyearah diode *bridge*

Rangkaian dasar penyearah type jembatan terdiri atas satu transformer dan 4(empat) dioda yang disusun sedemikian rupa sehingga arus listrik hanya mengalir kesatu arah saja melalui beban. Circuit ini tidak memerlukan sekunder bersenter tapi sebagaimana pada rangkaian penyearah gelombang penuh. Bahkan transformator tidak diperlukan jika tegangan DC yang dibutuhkan relatif sama dengan tegangan jaringan PLN, misalnya. Artinya titik A dan B dapat dihubungkan langsung dengan jaringan yang tersedia di rumah.

3.3.6. Diagram Alir Sistem Hibrid Energi Listrik



Gambar 3.7 Diagram Alir Sistem Hibrid Energi Listrik

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metode penelitian yang telah dijelaskan pada bab 3, maka dilakukan pengujian untuk mengetahui kinerja alat dan program yang telah dibuat. Pengujian dilakukan per blok untuk mengetahui masing-masing dari unit dalam sistem. Kemudian dilakukan pengujian secara keseluruhan yang lengkap sehingga diketahui kinerja dari skripsi yang telah dibuat.

Dalam pengujian hasil perancangan dan pembuatan alat ini, membahas mengenai pengujian perangkat keras, yang meliputi pengujian Solar cell, Battery Charger, DC-DC Converter, dan pengujian AC-DC konverter dan juga pemrograman *system hybrid* menggunakan PLC

Dalam pengujian perangkat keras dilakukan per blok rangkaian. Adapun blok – blok rangkaian adalah sebagai berikut :

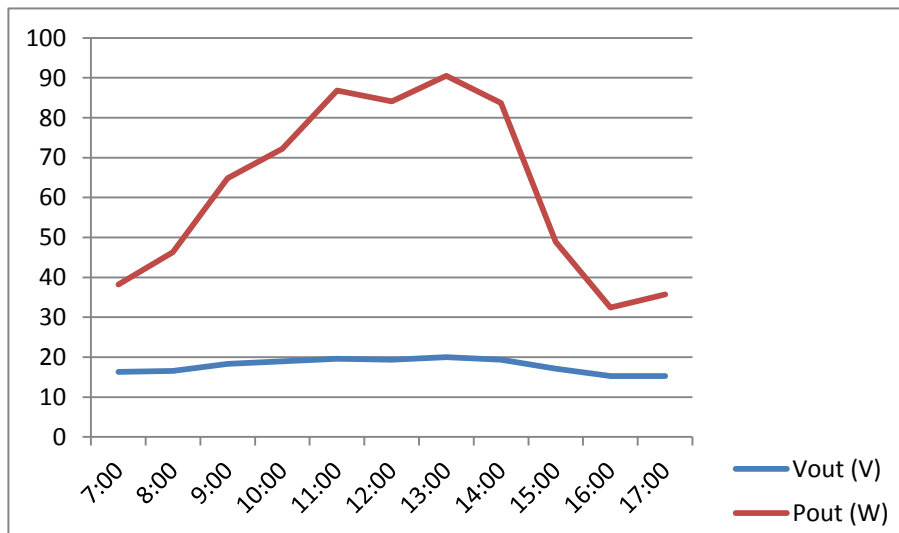
1. Pengujian Solar Cell
2. Pengujian Battery Charger
3. Pengujian DC-DC Converter
4. Pengujian Penyearah Tegangan

4.1 Pengujian Solar Cell

Pengujian Solar Cell disini bertujuan untuk mengetahui besaran nilai keluaran dari solar cell yang berupa tegangan, arus dan daya maksimum pada saat diberi berbagai kondisi, yaitu kondisi cerah, berawan, dan mendung Pengujian nilai tegangan dan arus keluaran menggunakan multimeter untuk melihat besarnya perubahan tegangan dan arus keluaran terhadap kondisi yang diberikan.

Tabel 4.1 Pengujian solar cell 100 wp menggunakan cahaya matahari

Pengujian Solar Cell				
Waktu	Vsc (V)	Isc (A)	Psc (W)	Kondisi
07.00	16.32	2.34	38.18	Berawan
08.00	16.53	2.80	46.28	Cerah
09.00	18.31	3.54	64.81	Cerah
10.00	18.97	4.12	72.18	Cerah
11.00	19.59	4.43	86.78	Cerah
12.00	19.34	4.35	84.12	Cerah
13.00	20.03	4.52	90.52	Cerah
14.00	19.37	4.32	83.67	Cerah
15.00	17.10	2.86	48.90	Berawan
16.00	15.30	2.12	32.43	Berawan
17.00	15.23	1.7	35.68	Berawan



Gambar 4.1 Grafik perubahan tegangan dan daya terhadap waktu

Berdasarkan tabel 4.1 diketahui bahwa nilai tegangan awal 16,32V dengan tegangan puncak sebesar 20,03 V kemudian turun menjadi 15,23 V dengan nilai penurunan berkisar antara 1 – 2 V. Sedangkan daya awal sebesar 6,59 W meningkat seiring dengan semakin tingginya tegangan sehingga mencapai daya puncak sebesar 94,42 kemudian daya menurun secara tajam karena perubahan intensitas matahari yang disebabkan oleh cuaca berawan hingga mendung.

Dari hasil pengamatan didapatkan nilai terbesar arus dan tegangan adalah 4,52 A dan 20,03 V dengan daya maksimal adalah 90,52 W. Dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.1 diketahui bahwa daya maksimal didapatkan pada saat sinar matahari mencapai intensitas maksimum yaitu pada saat pukul 13.00. Pada saat pengukuran di atas pukul 14.00 cuaca berubah menjadi berawan hingga mendung. Sehingga intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya juga menurun.

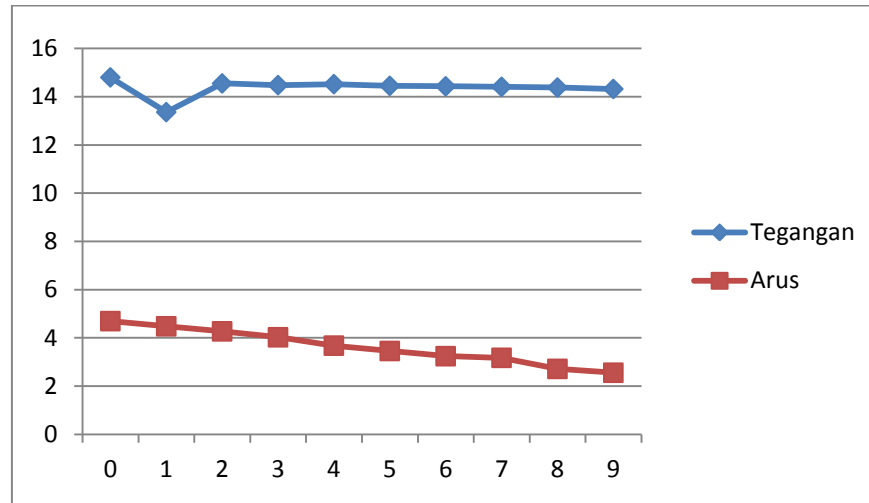
4.2 Pengujian Rangkaian *Battery Charger*

Pengujian rangkaian *Battery Charger* bertujuan untuk mengetahui berapa lama proses charging baterai serta tingkat kestabilan tegangan. Baterai yang digunakan dalam penelitian ini adalah baterai jenis MF (*maintenance free*) 12 volt. Pengujian menggunakan tegangan masukan AC 220 V dan tegangan panel surya DC 20 V. Dari sumber PLN tegangan AC 220 V disearahkan menjadi tegangan DC 13 V.

Tabel 4.2 Data pengisian baterai menggunakan PLN

Waktu (jam)	Vac (V)	Vdc (V)	Idc (A)	Vbatt (V)
0	185,4	14,8	4,695	11,25
1	185,8	13,63	4,480	11,55
2	187	14,55	4,271	11,74
3	187,3	14,48	4,026	12,0
4	186,7	14,52	3,678	12,27
5	178,2	14,45	3,456	12,39
6	178,9	14,43	3,242	12,49
7	178,4	14,41	3,173	12,40
8	177,7	14,39	2,714	12,40
9	178	14,32	2,555	12,61

Dari data pada tabel 4.2 diatas bahwa nilai arus pengisian pada baterai akan semakin menurun seiring dengan meningkatnya nilai tegangan pada baterai. Penurunan arus ini juga menyebabkan penurunan tegangan keluaran dari rangkaian *battery charger*. Dari table dapat dilihat bahwa penurunan arus diikuti juga oleh kenaikan tegangan baterai. Tegangan baterai dapat dikatakan telah mencapai nilai tegangan maksimal (baterai penuh) dalam waktu 10 jam. Diketahui bahwa pada saat awal proses pengisian aki, arus yang masuk mencapai 4,695 A. Pada satu jam berikutnya arus turun menjadi 4,480 A. Dapat disimpulkan bahwa kenaikan tegangan baterai berbanding terbalik dengan arus pengisian baterai. Selanjutnya dapatdiperhatikan pada grafik berikut:



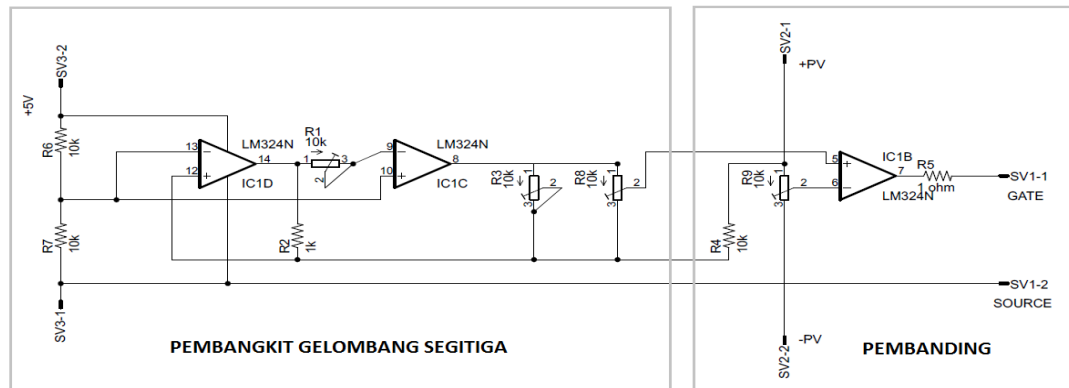
Gambar 4.2 Grafik nilai tegangan dan arus terhadap waktu (PLN)

Berdasarkan grafik pada gambar 4.2, menunjukkan dengan nilai tegangan awal 11,25 V seiring berjalannya waktu pengisian baterai maka tegangan akan semakin meningkat dengan nilai peningkatan sebesar 0,2 - 0,3 V sehingga mencapai nilai tegangan penuh baterai sebesar 13,63 V. Nilai arus semakin menurun seiring semakin penuh tegangan baterai, nilai awal arus sebesar 4,65 A kemudian mengalami penurunan sebesar 0,2-0,3 A sehingga mencapai arus 0,23 saat tegangan baterai telah penuh.

4.3 Pengujian DC –DC Konverter

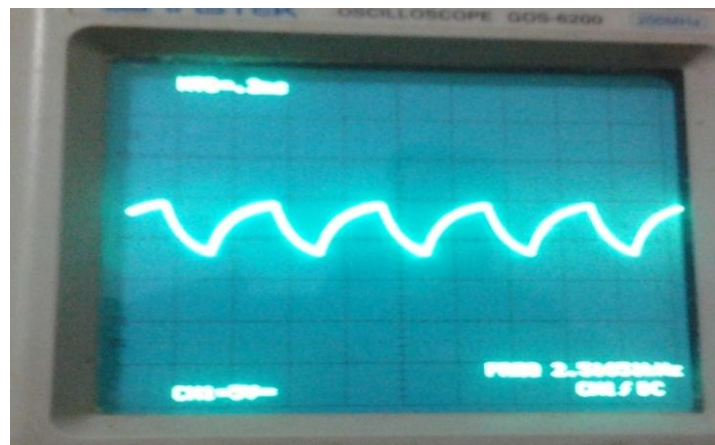
DC –DC konverter digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan dari solar cell sesuai dengan tegangan yang diinginkan. DC –DC konverter bekerja berdasarkan duty cycle PWM sebagai penyulut switch. DC –DC konverter terdiri dari 2 bagian utama yaitu rangkaian pembangkit PWM dan rangkaian *Buck boost* konverter.

4.3.1. Rangkaian Pembangkit PWM



Gambar 4.3 Skema rangkaian pembangkit PWM

Rangkaian pembangkit PWM seperti pada gambar 4.3 terdiri dari rangkaian pembangkit gelombang segitiga dan rangkaian pembanding. Gelombang segitiga dibuat dengan operasional amplifier IC LM324 yang disusun sebagai rangkaian schmitt trigger dan rangkaian integrator. Rangkaian schmitt trigger akan memberikan output berupa gelombang kotak sedangkan rangkaian integrator akan memberikan output berupa gelombang segitiga seperti yang terlihat pada gambar 4.4



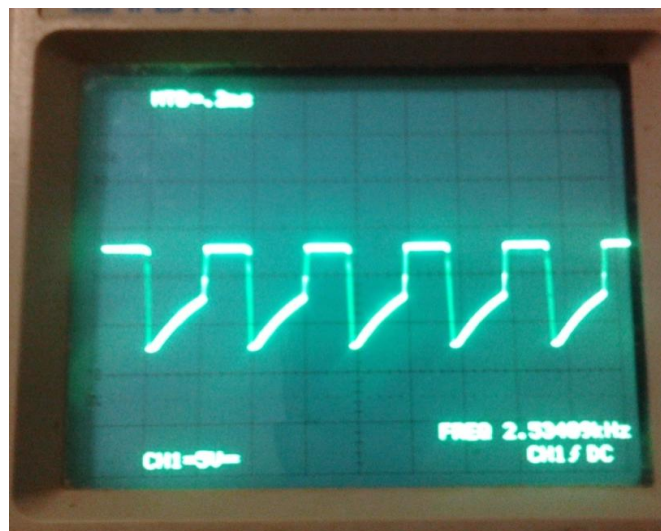
Gambar 4.4 Gelombang yang dihasilkan pembangkit segitiga

Frekuensi kerja atau frekuensi osilasi rangkaian oscilator gelombang segitiga diatas ditentukan oleh waktu proses pengisian dan pengosongan kapasitor (C1), dimana proses pengisian dan pengosongan kapasitor (C1) ditentukan oleh nilai kapasitas C1 resistansi R1 dan R3. Frekuensi kerja rangkaian oscilator gelombang segitiga diatas dapat ditentukan dengan rumus berikut.

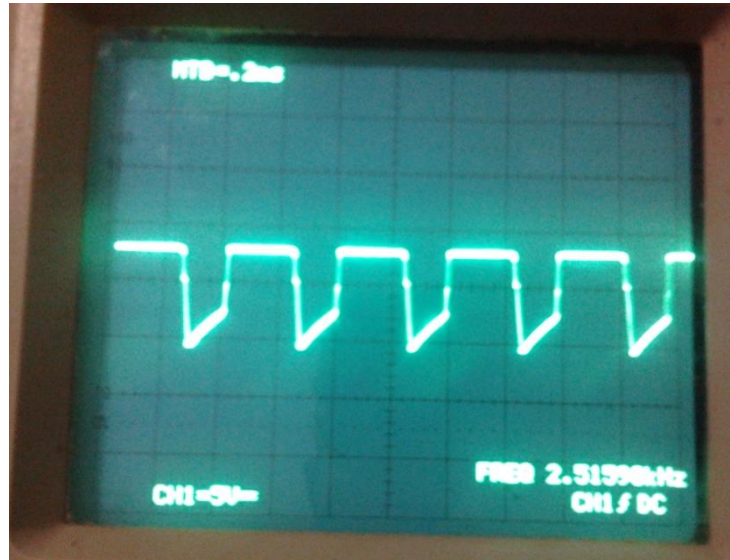
$$f = \frac{1}{4 \cdot C \cdot R1} \cdot \frac{R1}{R2}$$

Pada rangkaian oscilator gelombang segitiga diatas nilai C1 adalah 100nF kemudian R1 adalah 1 K Ω , VR2 adalah 10 K Ω dan R3 adalah 10 K Ω . Dari nilai komponen yang telah diketahui tersebut frekuensi kerja rangkaian oscilator gelombang segitiga dapat diatur

Pada rangkaian comparator ini digunakan untuk *trigger mosfet*. Rangkaian ini membandingkan antara sinyal DC yang dihasilkan rangkaian *Op-Amp* sebagai referensi dengan sinyal segitiga dan menghasilkan sinyal kotak atau PWM yang dapat diatur *duty cycle*-nya seperti pada gambar 4.5.

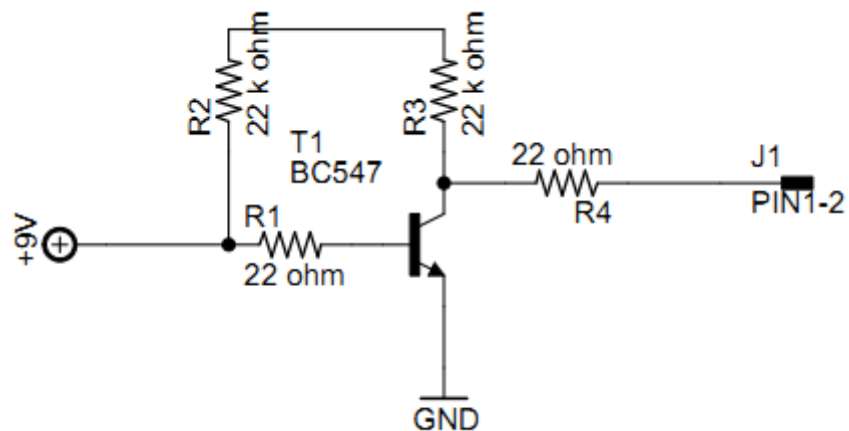


Gambar 4.5 Gelombang yang dihasilkan dengan tegangan input 18volt



Gambar 4.6 Gelombang yang dihasilkan dari tegangan input 13 volt

Dari perbandingan gambar 4.5 dan gambar 4.6 dapat diketahui jika semakin besar tegangan input maka semakin kecil duty cycle yang dihasilkan.



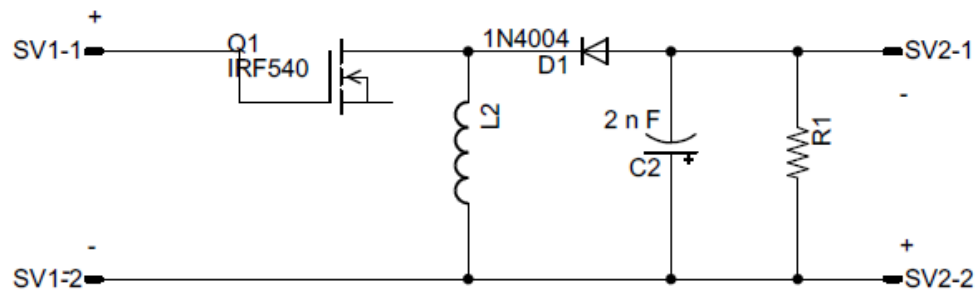
Gambar 4.7 Skema Rangkaian *Optocouler*

Rangkaian Optocoupler pada gambar 4.7 dibentuk dari penggabungan sebuah sumber cahaya dengan fototransistor. Dioda cahaya sebagai sumber cahaya dipasang langsung dengan sumber tegangan. Keluaran dari sumber cahaya akan berbanding lurus dengan tegangan masukan pada dioda cahaya. Optocoupler atau optoisolator merupakan paket elektronik murni, jalur cahaya didalamnya yakni infra merah tertutup dalam sebuah paket. Ini menyebabkan transfer energi listrik dalam satu arah, dari infra merah ke fotodetektor, sambil mempertahankan isolasi listrik. Fungsi optocoupler pada umumnya selain sebagai sensor (dengan kemasan tertentu) digunakan pula pada rangkaian listrik sebagai isolasi dari rangkaian kendali dan rangkaian tegangan tinggi (daya).

Optocoupler atau optoisolator merupakan komponen elektronik yang banyak dipakai dewasa ini, terutama untuk mengatasi perpindahan informasi dari tegangan tinggi ke tegangan rendah, atau sebaliknya. Pada rangkaian optocoupler terjadi isolasi tegangan tinggi antara sinyal masukan dan keluaran. Adapun cara kerja optocoupler adalah sebagai berikut :

1. Optocoupler bekerja berdasarkan pancaran cahaya LED yang mengenai penerima peka cahaya, misalnya fotodiode dan fototransistor.
2. Sinyal dioda diberikan ke pin 1 – 2 dan sinyal keluaran diperoleh dari pin 4 – 5. Disini terjadi isolasi listrik antara masukan dan keluaran, karena informasi disampaikan melalui cahaya.

4.3.2. Rangkaian Buck Boost Converter

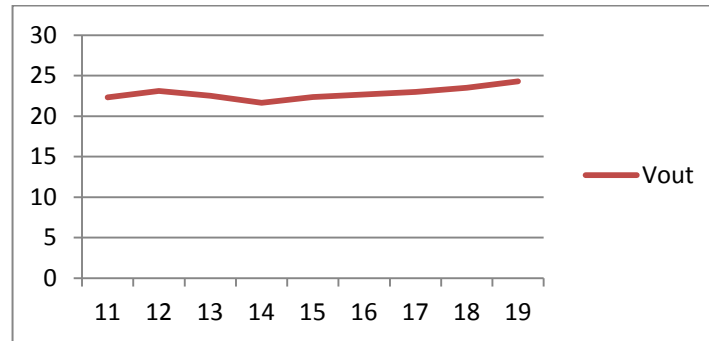


Gambar 4.8 Skema Rangkaian Buck Boost Konverter

Rangkaian buck boost converter yang digunakan dijelaskan pada gambar 4.8, dan menghasilkan data pengujian pada tabel 4.3, sedangkan hasil pada bentuk grafik dijelaskan pada gambar 4.9.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran buck boost konverter

No.	Vin(volt)	Vout(volt)
1	19	24.3
2	18	23.5
3	17	23
4	16	22.68
5	15	22.36
6	14	21.63
7	13	22.5
8	12	18
9	11	14

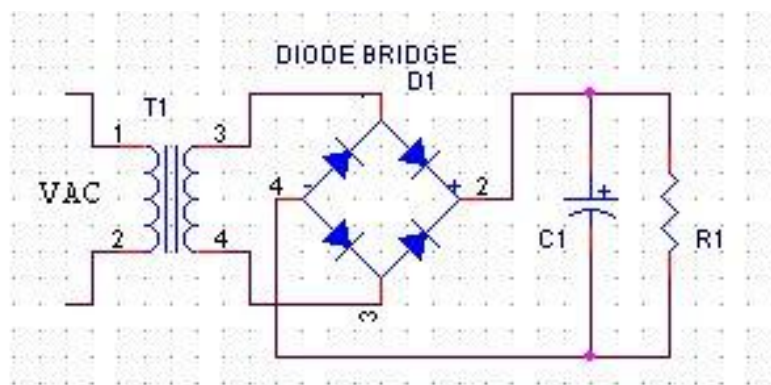


Gambar 4.9 Grafik V out buck boost converter terhadap V in

Berdasarkan tabel dan grafik diatas dapat diketahui bahwa tegangan yang dihasilkan relatif stabil namun terlalu tinggi melebihi dari yang ditentukan, hal ini dikarenakan oleh seting *duty cycle* yang kurang baik dan juga toleransi komponen yang digunakan

4.4 Pengujian Penyearah Tegangan

Rangkaian Penyearah Tegangan digunakan untuk mengubah tegangan AC dari PLN menjadi tegangan DC untuk mensupai beban



Gambar 4. 10 Skema rangkaian AC-DC konverter

Pada rangkaian yang dibuat seperti pada gambar 4.10 menggunakan transformator untuk menurunkan tegangan dari 220 volt menjadi 12 volt, rangkaian diode *bridge* sebagai penyearah tegangan, serta kapasitor sebesar 1 mF yang berfungsi sebagai *filter*. nilai kapasitor yang digunakan dapat dengan menggunakan rumus

$$C = \frac{I \cdot T}{V_r}$$

Tabel 4.4 Pengujian AC DC konverter

Vin	Vout Praktek	Vout Teori	Eror Persen
220v	12.13v	12v	1.08%

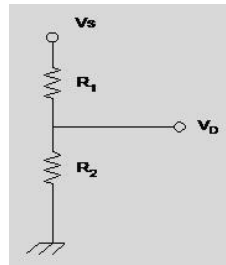
Dari data pengujian sesuai tabel 4.4, diketahui bahwa tegangan keluaran dari rangkaian ini sebesar 12.13 dan memiliki error persen sebesar 1.08 %.

4.5 Ladder Diagram

Pemrograman ladder diagram untuk sistem hibrid Solar Cell – Battery - PLN dilakukan dengan menggunakan *software Zelio Soft 2*. Adapun input yang digunakan adalah tegangan dari solar cell dan juga tegangan dari baterai untuk mengetahui kapasitas baterai.

4.4.1. Sensor Tegangan

Sensor tegangan digunakan sebagai input dari PLC, namun karena pada PLC yang digunakan hanya bisa membaca tegangan tidak lebih dari 10 volt maka dibutuhkan suatu rangkaian pembagi tegangan.



Gambar 4.11 Rangkaian Pembagi Tegangan

Besaran Tegangan ouput yang dihasilkan berdasarkan R1 dan R2 yang digunakan dengan rumus $V_{out} = \frac{R_2}{R_2+R_1} \times V_{in}$.

Tabel 4.5 Hasil pengukuran rangkaian pembagi tegangan

No.	V in	Vout Praktek	Vout Teori	Error %
1	19	9.45	9.5	0.52%
2	17	8.42	8.5	0.94%
3	15	7.38	7.5	1.6 %
4	13	6.33	6.5	2.6%
5	11	5.45	5.5	0.9%

Dari data pengujian yang dilakukan, dapat diketahui error persen dari rangkaian.

$$\left| E\% = \frac{V_{teori} - V_{praktek}}{V_{praktek}} \times 100\% \right|$$

Error persen terendah sebesar 0.52 dan tertinggi 2.6%, dapat disimpulkan bahwa rangkaian pembagi tegangan berjalan dengan baik.

4.4.2 Tabel Kebenaran Sistem Hibrid

Sistem hibrid ini menggunakan 2 input yaitu input tegangan solar cell dan tegangan baterai untuk mengatur 3 saklar. Saklar yang pertama untuk mengatur pensaklaran PLN, saklar yang kedua untuk mengatur pensaklaran baterai, saklar yang ketiga untuk mengatur pensaklaran *solar cell*.

Tabel 4.6 Tabel Kebenaran Sistem Hibrid

Kondisi	Sensor 1	Sensor 2	Saklar 1	Saklar 2	Saklar 3
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1
3	0	0	0	1	0
4	0	0	0	1	1
5	0	0	1	0	0
6	0	0	1	0	1
7	0	0	1	1	0
8	0	0	1	1	1
9	0	1	0	0	0
10	0	1	0	0	1
11	0	1	0	1	0
12	0	1	0	1	1
13	0	1	1	0	0
14	0	1	1	0	1
15	0	1	1	1	0
16	0	1	1	1	1
17	1	0	0	0	0
18	1	0	0	0	1
19	1	0	0	1	0
20	1	0	0	1	1
21	1	0	1	0	0
22	1	0	1	0	1
23	1	0	1	1	0
24	1	0	1	1	1
25	1	1	0	0	0
26	1	1	0	0	1
27	1	1	0	1	0
28	1	1	0	1	1
29	1	1	1	0	0
30	1	1	1	0	1
31	1	1	1	1	0
32	1	1	1	1	1

Dari data tabel kebenaran pada tabel 4.6 dapat diambil logika yang sesuai dengan sistem hibrid yang akan digunakan seperti pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Logika yang sesuai dengan sistem yang digunakan

Kondisi	Sensor 1	Sensor 2	Saklar 1	Saklar 2	Saklar 3
1	0	0	1	1	0
2	0	1	0	1	0
3	1	0	0	1	1
4	1	1	0	0	1

4.5. Pegujian Seluruh Sistem

Setelah pengujian dilakukan pada masing masing blok, maka dilakukan pengujian pada sistem yang telah terinkoneksi dengan PLC. Kontrol sistem hibrid ini bekerja berdasarkan 2 input berupa sensor tegangan menggunakan analog komparator pada PLC. Input tegangan solar cell disimulasikan dengan menggunakan power dc generator.

Tabel 4.8 Tabel Pengujian sensor tegangan pada *solar cell*

Tegangan solar cell	Sensor 1
$> 13v$	1
$\leq 13v$	0

Berdasarkan Tabel 4.8 dapat diketahui apabila tegangan solar cell lebih dari 13v maka sensor pada kondisi On sedangkan jika tegangan solar cell kurang dari 13v maka sensor pada kondisi Off

Pada sensor tegangan baterai kita harus menentukan kapan sistem melakukan proses charging pada baterai. untuk menjaga kondisi baterai agar tidak cepat rusak maka diperlukan proses charging di saat kondisi baterai mencapai antara 30% hingga 40%

Tabel 4.9 Kondisi pengisian baterai 12 volt

Kondisi Baterai	Tegangan Baterai
100%	12.73
90%	12.62
80%	12.5
70%	12.37
60%	12.24
50%	12.1
40%	11.86
30%	11.71
20%	11.66
10%	11.51

Dari data Tabel 4.9 dapat ditentukan bahwa baterai mengalami kondisi sekitar 30%- 40% pada saat tegangan 11.8 volt

Tabel 4.10 Tabel pengujian sensor tegangan pada baterai

Tegangan Baterai	Sensor 2
$>11.8v$	1
$\leq 11.8v$	0

Berdasarkan Tabel 4.10 dapat diketahui apabila tegangan baterai lebih dari 11.8v maka sensor pada kondisi On sedangkan jika tegangan baterai kurang dari atau sama dengan 11.8v maka sensor pada kondisi Off.

Tabel 4.11. Pengujian pensaklaran sistem hibrid

Kondisi	Sensor 1	Sensor 2	Rancangan			Hasil Pengujian		
			Saklar 1	Saklar 2	Saklar 3	Saklar 1	Saklar 2	Saklar 3
1	0	0	1	1	0	1	1	0
2	0	1	0	1	0	0	1	0
3	1	0	0	1	1	0	1	1
4	1	1	0	0	1	0	0	1

Dari 2 sensor yang digunakan akan *mengontrol* 3 sumber untuk mensuplai beban, yaitu *Solar Cell*, Baterai dan PLN. Kontrol sistem hibrid bekerja berdasarkan Tabel kebenaran sistem pada tabel 4.6, jika sensor 1 pada kondisi Off dan sensor 2 pada kondisi Off maka beban akan disuplai oleh PLN, dan PLN akan *mencharging* baterai, jika sensor 1 pada kondisi OFF dan sensor 2 ON maka beban akan disuplai oleh baterai .jika sensor 1 pada kondisi On dan Sensor 2 pada kondisi Off maka beban akan disuplai oleh *Solar Cell* dan melakukan proses charging, dan jika kedua sensor pada kondisi On maka Beban akan disupai oleh *Solar Cell* dan tidak melakukan proses charging. Dari data tabel 4.11 dapat disimpulkan jika sistem hibrid yang dihasilkan telah sesuai dengan rancangan

BAB.5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Sistem hibrid terdiri atas solar cell, baterai, dan PLN, Solar cell yang digunakan sebesar 100wp dan mengalami keadaan puncak pada pukul 13.00 dengan menghasilkan tegangan 20.03V, arus 4,52A dan daya sebesar 90,52W. DC-DC konverter digunakan untuk menurunkan dan menaikkan tegangan solar sell berdasarkan besar duty cycle yang dihasilkan oleh pwm generator. Penyearah Tegangan mempunyai fungsi untuk mengubah tegangan AC 220V menjadi tegangan DC 12V. Keadaan baterai 100% ketika tegangan mencapai 12,7V dan perlu dilakukan pengisian ketika keadaan baterai 30%-40% dengan tegangan sebesar 11,8V. Pengontrolan sistem hibrid menggunakan PLC berdasarkan tegangan solar cell dan tegangan baterai. Solar cell digunakan mensuplai beban jika tegangan output lebih besar dari 13V. Baterai dapat mensuplai beban jika tegangan output lebih besar dai 11.8v
2. Sistem hibrid bekerja berdasarkan sensor tegangan solar sell dan sensor tegangan baterai. jika sensor 1 pada kondisi Off dan sensor 2 pada kondisi Off maka beban akan disuplai oleh PLN, dan PLN akan *mencharging* baterai, jika sensor 1 pada kondisi OFF dan sensor 2 ON maka beban akan disuplai oleh baterai .jika sensor 1 pada kondisi On dan Sensor 2 pada kondisi Off maka beban akan disuplai oleh *Solar Cell* dan melakukan proses charging,

dan jika kedua sensor pada kondisi On maka Beban akan disupai oleh *Solar Cell* dan tidak melakukan proses charging.

5.2 Saran

Dari hasil perancangan dan pengujian proyek akhir dapat diambil beberapa saran, diantaranya:

1. Untuk menghasilkan keluaran dari DC converter yang lebih stabil dan mudah diatur perlu menggunakan PWM yang dikontrol microcontroller
2. Perancangan switching lebih baik menggunakan komponen IGBT daripada MOSFET karena mempunyai daya arus dan tegangan yang besar
3. Disarankan menggunakan ADC yang terdapat di dalam mikrocontroller agar dapat membaca nilai yang keluar dari DC converter dan ditampilkan di LCD display.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Zainal. 2009. *Portable Solar Charger*. Surabaya: Skripsi. PENS ITS.
- Bien, Liem Ek. 2008. *Perancangan Sistem Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Jala-Jala Listrik PLN Untuk Rumah Perkotaan*. JETri. ISSN 1412-0327
- Energi Indonesia. 2012. *Pengertian Energi Terbarukan*. <http://www.indoenergi.com>, akses 14 Oktober 2012
- Energi Terbarukan Indonesia. 2006. *Energi Terbarukan*, <http://energiterbarukanindonesia.com>, akses 13 Oktober 2012
- Guo, Liping. 2009. *Design Projects in a Programmable Logic Controller (PLC) Course in Electrical Engineering Technology*. *The Technology Interface Journal*. ISSN 1523-9926
- Hanif, Ahmad. 2006. *Penerapan PLC Sebagai Sistem Kendali Pada Mesin Konveyor*, Semarang: Skripsi. Universitas Negeri Semarang
- Indonesia Energy Outlook. 2008. *Konsumsi Energi Di Indonesia*. <http://www.esdm.go.id>, akses 14 Oktober 2012
- Indrawan. 2003. *Panel Surya Pembangkit Listrik Tenaga Surya*, www.panelsurya.com, akses 20 Oktober 2012
- Lipi. 2004. *Pengembangan Energi Terbarukan Sebagai Energi Aditif di Indonesi*,. <http://www.energi.lipi.go.id>, akses 13 Oktober 2012
- Muralikrishna, M. 2008. *Hybrid (Solar And Wind) Energy Systems For Rural Electrification*. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. ISSN 1819-6608
- Saini, Neel Kamal. 2011. *Grid Connected Hybrid PV/Battery Distributed System*. *VSRD International Journal Of Electrical, Electronics, And Communication Engineering* ISSN 420-428

Virman Nugraha. 2012. rangkaian inverter 12vdc to 220vac, dhevir.blogspot.com, akses 20 Nuvember 20012

Wulandari, Triyas Ika. 2010. *Rancang Bangun Sistem Penggerak Pintu Air Dengan Memanfaatkan Energi Alternatif Matahari*. Surabaya: Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh November