



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN PROTOTIPE SISTEM PENGENDALI
PENGISIAN MUATAN BATERAI DENGAN TENAGA SURYA
SEBAGAI CATU DAYA *BASE TRANSCEIVER STATION* (BTS)
GSM**

SKRIPSI

RIANTI MAWARNI SHAHAB

0606074281

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM TEKNIK ELEKTRO

DEPOK

JULI 2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN PROTOTIPE SISTEM PENGENDALI
PENGISIAN MUATAN BATERAI DENGAN TENAGA SURYA
SEBAGAI CATU DAYA *BASE TRANSCEIVER STATION* (BTS)
GSM**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

RIANTI MAWARNI SHAHAB

0606074281

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM TEKNIK ELEKTRO

DEPOK

JULI 2010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Rianti Mawarni Shahab

NPM : 0606074281

Tanda Tangan : 

Tanggal : 15 Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Rianti Mawarni Shahab
NPM : 0606074281
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Rancang Bangun Prototipe Sistem Pengendali Pengisian Muatan Baterai dengan Tenaga Surya sebagai Catu Daya *Base Transceiver Station* (BTS) GSM

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. NR. Poespawati, M.T

Penguji : Dr. Ir. Purnomo Sidi Priambodo M.Sc

Penguji : Chairul Hudaya S.T, M.Sc

(Poespawati)
(Priambodo)
(Chairul Hudaya)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 13 Juli 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada kehadirat Allah SWT karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Rancang Bangun Prototipe Sistem Pengendali Pengisian Muatan Baterai Dengan Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Base Transceiver Station (BTS) GSM.**

Skripsi ini dapat terselesaikan atas bantuan serta dukungan banyak pihak. Pertama penulis mengucapkan terima kasih kepada:

Prof. Dr. Ir. Nji Raden Poespawati, M.T

sebagai dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu, memberikan pengarahan dan saran sehingga terselesaikannya skripsi ini. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Prof. Dr. Iwa Garniwa Mulyana Kartadinata, M.T., selaku fasilitator panel sel surya.
- 2) Bapak dan mama, serta adikku yang selalu memberikan doa dan dukungan selama penulisan skripsi ini.
- 3) Teman-teman Teknik Elektro 2006, khususnya Hermawan. P.P , Suharianti. L, Kirana. R. K, dan Asih. K yang telah membantu selama proses pembuatan alat, pengambilan data, dan penulisan skripsi ini.
- 4) Alumni Teknik Elektro, khususnya Muhammad Insan dan Dika Setiawan yang telah bersedia meluangkan waktu untuk diskusi.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan berbagai pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya skripsi ini dengan baik. Insya Allah, penulisan skripsi ini dapat memberikan kontribusi bagi umat guna mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, Juli 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rianti Mawarni Shahab
NPM : 0606074281
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-eksklusif Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

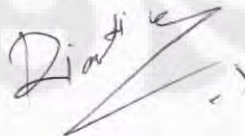
**RANCANG BANGUN PROTOTIPE SISTEM PENGENDALI PENGISIAN
MUATAN BATERAI DENGAN TENAGA SURYA SEBAGAI CATU
DAYA *BASE TRANSCEIVER STATION* (BTS) GSM**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 13 Juli 2010

Yang menyatakan



(Rianti Mawarni Shahab)

ABSTRAK

Nama : Rianti Mawarni Shahab

Program Studi : Teknik Elektro

Judul : Rancang Bangun Prototipe Sistem Pengendali Pengisian Muatan Baterai dengan Tenaga Surya sebagai Catu Daya *Base Transceiver Station* (BTS) GSM

Skripsi ini membahas perancangan dan realisasi prototipe sistem pengendali pengisian baterai dengan tenaga surya sebagai catu daya beban *Base Transceiver Station* (BTS) GSM. Baterai dapat menjadi catu daya cadangan, saat panel surya tidak bekerja secara optimal. Perlindungan baterai dari kondisi *overcharging* sangatlah penting untuk menjaga umur pemakaian baterai. Perancangan sistem ini mempunyai perlindungan dan dapat diterapkan. Baterai yang digunakan adalah baterai *Valve Regulated Lead Acid* 6 volt, 4,5 Ah, yaitu Panasonic dan Kenmaster. Sistem pengendali pengisian muatan baterai menggunakan *switching regulator* untuk menstabilkan keluaran panel surya. Pengendali pengisian muatan baterai ini terdiri dari rangkaian *voltage divider*, komparator, dan *relay driver*. *Voltage divider* mengonversi tegangan *switching regulator* dari 7 volt menjadi tegangan referensi dari komparator, yang mana akan membandingkan tegangan baterai dengan tegangan referensi. *Relay driver* akan mengontrol hubungan penyaklaran masing-masing baterai untuk *charging* atau *discharging* tergantung pada keluaran komparator. Sistem pengendali muatan baterai terdiri dari satu *cluster*, yang mana termasuk empat baterai dan satu panel surya untuk menyuplai beban.

Kata kunci: pengendali pengisian muatan, *switching regulator*, baterai, panel surya

ABSTRACT

Name : Rianti Mawarni Shahab
Study Program : Electrical Engineering
Title : Designing and Constructing Prototype of Battery Charge Controller System with Solar Power as Power Supply GSM Base Transceiver Station (BTS)

The focus of this study is designing and constructing battery charge controller system with solar power as power supply GSM Base Transceiver Station (BTS) and realizes it as a tool. Battery can be a back up power supply, if solar panel doesn't work optimum. It's necessary to protect batteries from overcharging condition to keep battery's age. The designed system has this kind of protection and reliable. The used batteries are Valve Regulated Lead Acid 6 volt batteries, Panasonic and Kenmaster. Battery charge controller system uses switching regulator to stabilize output from solar panel. This charge controller consists of voltage divider, comparator, and relay driver circuit. The voltage divider converts switching regulator voltage from 7 volt to reference voltage for comparator, which will compare battery voltage with reference voltage. The relay driver will control the connection of switch each batteries to charging or discharging depends on the comparator's output. Battery charge controller system consists of one cluster, which include four batteries and one solar panel to supplies fan as a load.

Keyword: charge controller, switching regulator, battery, solar panel

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
2. LANDASAN TEORI.....	4
2.1 <i>Base Transceiver Station (BTS)</i>	4
2.2 Sel Surya.....	7
2.2.1 Prinsip Kerja Sel Surya.....	7
2.2.2. Parameter Sel Surya.....	9
2.2.2.1. Kurva karakteristik I-V sel surya.....	9
2.2.2.2. Arus <i>short-circuit</i>	10
2.2.2.3. Tegangan <i>open-circuit</i>	11
2.2.2.4. <i>Fill factor</i>	12
2.2.2.5. Efisiensi.....	14
2.2.3 Komponen Sistem Tenaga Surya.....	14
2.3. <i>Switching Regulator</i>	20
2.3.1. Hukum Induktansi.....	21
2.3.2. <i>Buck Regulator</i>	22
2.3.3. Metode perancangan <i>switching regulator</i>	23

2.4.	Baterai.....	29
2.4.1.	Reaksi Kimia Baterai.....	30
2.4.2.	Proses <i>Discharge</i>	30
2.4.3.	Proses <i>Charging</i>	33
3.	PERANCANGAN SISTEM PENGENDALI PENGISIAN MUATAN BATERAI.....	34
3.1.	Spesifikasi Baterai.....	34
3.2	Perancangan Sistem.....	34
3.2.1.	Sel Surya.....	36
3.2.2.	Rangkaian <i>Switching Regulator</i>	36
3.2.3.	Rangkaian <i>Voltage Divider</i>	39
3.2.4.	Rangkaian Komparator.....	40
3.2.5.	Rangkaian <i>Relay Driver</i>	41
4.	PENGUJIAN DAN ANALISIS.....	44
4.1.	Pengujian.....	44
4.2.	Analisis.....	46
4.2.1.	Analisis Perancangan Sistem Pengendali Pengisian Muatan Baterai dengan Tenaga Surya Sebagai Catu Daya BTS.....	46
4.2.2.	Analisis Panel Surya pada Uji Coba.....	48
4.2.3.	Analisis <i>Switching Regulator</i> pada Uji Coba.....	49
4.2.4.	Analisis Baterai.....	51
5.	KESIMPULAN.....	57
	DAFTAR ACUAN.....	58
	DAFTAR PUSTAKA.....	59
	LAMPIRAN.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arsitektur Jaringan GSM.....	5
Gambar 2.2	Arsitektur Catu Daya <i>Base Transceiver Station</i>	6
Gambar 2.3	Kebutuhan Daya untuk BTS.....	7
Gambar 2.4	<i>P-N Junction</i> pada Sel Surya.....	8
Gambar 2.5	<i>P-N Junction</i>	8
Gambar 2.6	Struktur Sel Surya.....	9
Gambar 2.7	Rangkaian Ekuivalen Sel Surya dan Perbandingan Kurva Karakteristik I-V antara Sel Surya dan Dioda.....	10
Gambar 2.8	Kurva I-V Menunjukkan Arus <i>Short-circuit</i>	11
Gambar 2.9	Kurva I-V Menunjukkan dan Tegangan <i>Open-circuit</i>	12
Gambar 2.10	Titik Daya, Tegangan, dan Arus Maksimum pada Kurva I-V Sel Surya untuk Menunjukkan <i>Fill Factor</i>	13
Gambar 2.11	Salah Satu Aplikasi Sistem <i>Photovoltaic</i>	15
Gambar 2.12	Perbedaan dari Sel, Panel, dan <i>Array</i>	15
Gambar 2.13	Karakteristik Tegangan Terhadap Intensitas Matahari.....	16
Gambar 2.14	Kurva Radiasi Matahari Terhadap Efisiensi Konversi Energi Sel Surya.....	17
Gambar 2.15	Kurva Kelley Cosinus untuk Sel Surya.....	17
Gambar 2.16	Pengaruh Nilai Suhu yang Bervariasi Terhadap Daya Keluaran.....	18
Gambar 2.17	Karakteristik P-V Sel Surya.....	19
Gambar 2.18	<i>Buck Regulator</i>	22
Gambar 2.19	Arus Induktor <i>Buck Regulator</i>	23
Gambar 2.20	Kapasitor Parasitik.....	23
Gambar 2.21	<i>Grounding</i> yang Salah.....	26
Gambar 2.22	<i>Grounding</i> yang Benar.....	27
Gambar 2.23	Penggunaan L-C Filter di antara Sumber Daya dan <i>Switching Regulator</i>	28
Gambar 2.24	Grafik Proses <i>Discharging</i> Berbagai Tipe Baterai.....	31
Gambar 2.25	Karakteristik <i>Discharging</i> Terhadap Perubahan Suhu.....	31
Gambar 2.26	Rangkaian Ekuivalen Impedansi Internal Baterai.....	32

Gambar 2.27	Profil Histeresis pada Proses <i>Charge</i> dan <i>Discharge</i>	33
Gambar 3.1	Blok Diagram Rancangan Rangkaian Sistem Pengendali Pengisian Muatan Satu <i>Cluster</i> Baterai.....	35
Gambar 3.2	Tampak Atas L4970.....	37
Gambar 3.3	Blok Diagram L4970.....	38
Gambar 3.4	Rangkaian <i>Switching Regulator</i>	38
Gambar 3.5	Pembagi Tegangan (<i>Voltage Divider</i>).....	39
Gambar 3.6	Rangkaian <i>Voltage Divider</i>	39
Gambar 3.7	Tampak Atas LM339N.....	40
Gambar 3.8	Rangkaian Komparator Independen pada LM339N.....	41
Gambar 3.9	Rangkaian <i>Relay Driver</i> Masing-Masing Baterai.....	42
Gambar 4.1	Blok Diagram Pengujian Sistem.....	45
Gambar 4.2	Grafik Hasil Pengukuran Tegangan Panel Surya Uji Coba 2.....	49
Gambar 4.3	Grafik Hasil Pengukuran Tegangan Regulator Uji Coba 1.....	50
Gambar 4.4	Grafik Hasil Pengukuran Tegangan Regulator Uji Coba 2.....	50
Gambar 4.5	Grafik Hasil Pengukuran Arus Regulator Uji Coba 3.....	51
Gambar 4.6	Grafik Hasil Pengukuran Tegangan Baterai Uji Coba 1.....	51
Gambar 4.7	Keadaan LED yang menyala menunjukkan keadaan <i>charging</i> ..	52
Gambar 4.8	Perbedaan arus pengisian baterai Panasonic (a) dan Kenmaster (b).....	53
Gambar 4.9	Grafik hasil pengukuran tegangan baterai 1 dan 3 uji coba 3 (dalam kondisi penuh)	54
Gambar 4.10	Keadaan LED baterai 1 dan 3 mati.....	55
Gambar 4.11	Penyesuaian tegangan tiap baterai uji coba 2.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data kelistrikan modul sel surya Sharp Solar Module NE-080TIJ.....	37
-----------	--	----



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengolahan Data Pengukuran Uji Coba

Lampiran 2. Gambar Alat



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu parameter suatu daerah dikatakan maju apabila telah memiliki sistem komunikasi. Indonesia merupakan negara kepulauan, yang berdampak akan sulitnya pemerataan sistem telekomunikasi seiring dengan banyaknya daerah yang belum tersentuh listrik. Kurangnya pemerataan jaringan listrik dapat mengakibatkan kurangnya pasokan listrik pada media perantara telekomunikasi atau BTS (*Base Transceiver Station*), khususnya pada daerah-daerah terpencil di Indonesia. Hal ini tidak memadai dengan pesatnya perkembangan dunia telekomunikasi saat ini.

Selain itu permintaan akan kebutuhan bahan bakar minyak kian lama kian meningkat sedangkan jumlah minyak mentah di dunia semakin berkurang. Jaringan listrik Indonesia yang dikelola oleh PLN sebagian besar masih memerlukan bahan bakar minyak yang besar. Penggunaan bahan bakar minyak ini juga memicu penggunaan sumber energi lain. Oleh karena itu saat ini telah digunakan sumber energi berupa *renewable energy* yaitu sumber energi yang dapat terbarukan.

Renewable energy yang hanya berbasiskan pada salah satu sumber *renewable energy* tidaklah efisien dan *reliable*. Salah satu solusinya ialah dengan mengkombinasikan sumber-sumber *renewable energy* menjadi satu sistem, yaitu *Hybrid Power System*. *Hybrid Power System* dapat berupa sistem tenaga yang menggunakan sumber PV (photovoltaic), turbin angin, baterai, dan lain-lain. Sistem ini dapat digunakan untuk memberi pasokan tenaga pada BTS, khususnya pada daerah yang belum tersentuh jaringan listrik (PLN).

Sebagian besar dari sumber *renewable energy* menghasilkan karakteristik keluaran yang tidak dapat diprediksi, seperti sel surya dan

turbin angin. Karakteristik tegangan-arus sel surya dipengaruhi oleh perubahan suhu dan intensitas penyinaran matahari. Sedangkan turbin angin dipengaruhi kuatnya hembusan angin yang menghasilkan energi kinetik untuk memutar rotor dan menghasilkan listrik pada generatornya. Oleh karena itu pengaturan energi keluaran dari sel surya, baterai, dan beban yakni BTS perlu diperhatikan, sehingga masing-masing sumber energi dapat digunakan seoptimal mungkin.

Pada skripsi ini, penulis menggunakan sistem *photovoltaic* yang terdiri dari sel surya sebagai sumber dan baterai sebagai media penyimpan muatan serta menunjang sel surya saat tidak bekerja optimal. Penulis memfokuskan pada sistem *photovoltaic* dengan menggunakan *switching regulator* dan sistem pengontrol dalam pengisian otomatis baterai yang kosong, serta pemilihan sumber (sel surya dan baterai) untuk beban. Perancangan ini akan digunakan untuk membuat prototipe sistem pengendali pengisian muatan baterai pada beban BTS GSM dengan beban kipas.

Switching regulator tersebut akan mengatur tegangan yang dihasilkan oleh sel surya menjadi tegangan yang stabil yang dapat diterima oleh beban tanpa merusaknya. Tegangan yang dihasilkan sumber serta melewati *regulator* digunakan untuk mengisi baterai. Baterai pada sistem ini diumpamakan dalam satu *cluster*, di mana satu *cluster* terdiri dari empat buah baterai dan satu buah panel sel surya. Prinsip kerja sistem ini adalah sel surya menjadi sumber utama. Sel surya mengisi baterai hingga mampu memenuhi kebutuhan beban pada siang hari atau pada saat sel surya dalam kondisi optimal, sedangkan baterai akan mendukung sel surya sebagai sumber saat sel surya tidak dalam kondisi bekerja.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam skripsi ini adalah rancang bangun prototipe sistem pengendali pengisian muatan baterai dengan tenaga surya sebagai catu daya *Base Tranceiver Station* (BTS) GSM.

Tegangan minimal yang diterima satu baterai juga harus diperhitungkan agar dapat mengoptimalkan keluaran dari sel surya yang melalui *regulator*. Pengaturan ini juga harus dapat melindungi baterai dan beban apabila kelebihan masukan dari sel surya. Sistem pengaturan energi yang dirancang diharapkan mempunyai stabilitas yang tinggi, otomatis, tepat guna, berukuran kecil dan mendisipasi daya yang sedikit.

1.3. Tujuan

Tujuan dari skripsi ini yaitu merancang prototipe sistem pengendali pengisian muatan baterai dengan tenaga surya sebagai catu daya *Base Transceiver Station (BTS) GSM*, merealisasikan hasil perancangan dan menganalisis hasil uji coba sistem.

1.4. Batasan Masalah

Lingkup permasalahan skripsi ini dibatasi pada perancangan, realisasi, pengujian, dan analisis sistem.

1.5. Sistematika Penulisan

Pada laporan skripsi ini sistematika penulisannya dibagi dalam beberapa bab. Bab pertama merupakan pendahuluan yang membahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan. Bab dua menjelaskan kebutuhan daya BTS, sel surya, *switching regulator*, dan karakteristik baterai. Sedangkan bab tiga menjelaskan tentang perancangan bagian-bagian yang akan diujikan sesuai blok diagram yang terdiri dari sel surya, *switching regulator*, *voltage divider*, komparator, dan *relay driver*. Bab empat berisikan mengenai pengujian sistem dan analisis hasil pengujian. Bab lima berisikan kesimpulan.

BAB II

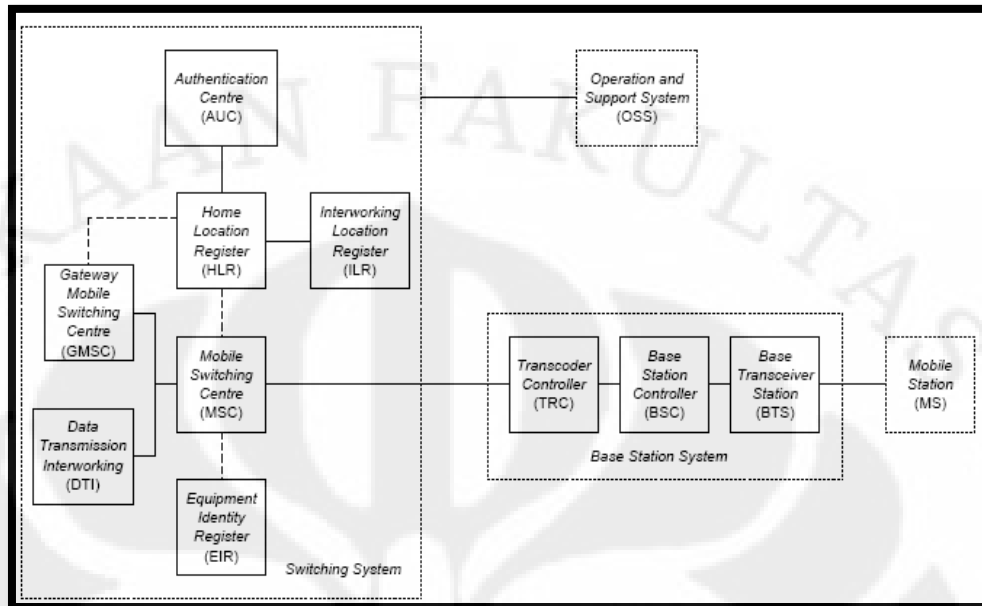
LANDASAN TEORI

2.1. *Base Transceiver Station (BTS)*

Secara umum terdapat empat komponen yang diperlukan untuk suatu arsitektur jaringan GSM, yaitu:

1. *Mobile Station (MS)* adalah perangkat terminal *transceiver* yang berada pada pelanggan. MS terdiri dari *Mobile Equipment (ME)* atau telepon selular dan *Subscriber Identification Module (SIM)*. SIM adalah *smart card* yang berisi seluruh informasi pelanggan dan beberapa *feature* dari GSM.
2. *Base Station System (BSS)* yang terdiri dari *Transcoder Controller (TRC)*, beberapa *BSC (Base Station Controller)*, dan *BTS (Base Transceiver Station)* yang berfungsi sebagai pengirim dan penerima sinyal komunikasi dari dan dengan tujuan antara MS dan jaringan, sehingga dapat dikatakan bahwa jika tidak ada BTS, maka komunikasi seluler tidak dapat terlaksana.
3. *Switching System (SS)* adalah perangkat yang mengatur fungsi *switching* dan *database* pelanggan. Sistem ini terdiri dari:
 - *Gateway Mobile Switching Centre (GMSC)*
 - *Mobile Switching Centre (MSC)*
 - *Data Transmission Interworking (DTI)*
 - *Authentication Centre (AUC)*
 - *Home Location Register (HLR)*
 - *Equipment Identity Register (EIR)*
 - *Interworking Location Register (ILR)*
4. *Operation and Support System (OSS)*

Arsitektur jaringan GSM dapat dilihat pada Gambar 2.1 [1].

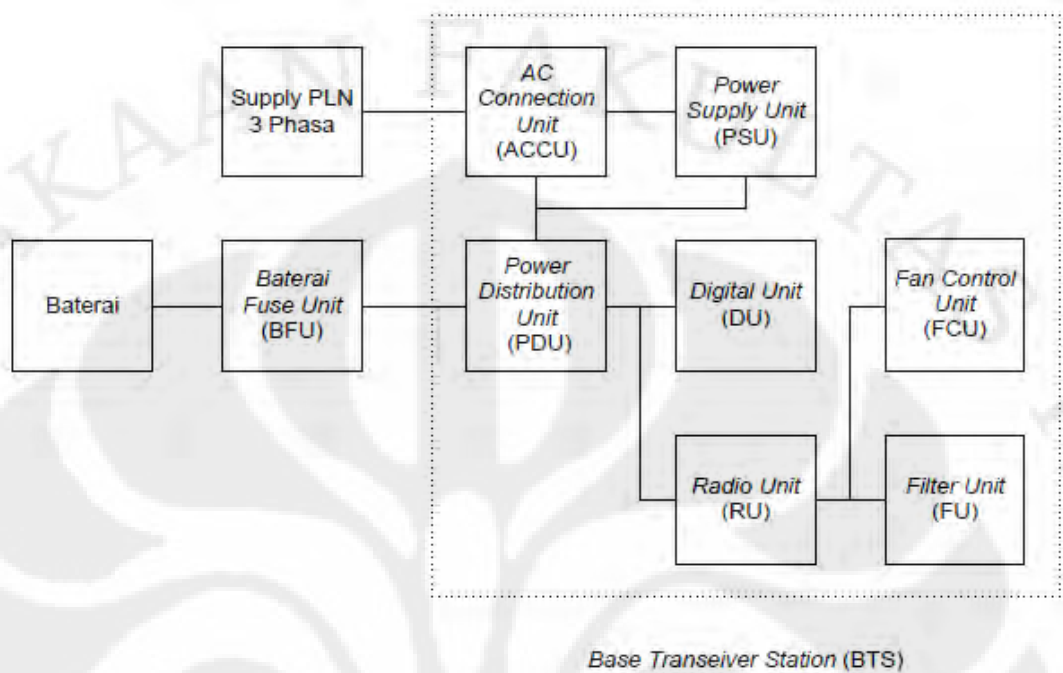


Gambar 2.1 Arsitektur Jaringan GSM [1]

Bentuk fisik BTS berupa menara yang mempunyai antena sebagai *transceiver*. Ada dua jenis antena, yaitu antena yang menghubungkan BTS dengan ME serta antena *microwave* yang menghubungkan BTS dengan BSC.

Perangkat yang terdapat di dalam ruangan menara, yaitu BTS, *microwave indoor unit* dan sistem *rectifier*. *Rectifier* ini berfungsi menyearahkan arus listrik yang diterima dari *supply* PLN karena *input* BTS berupa tegangan searah. Ruangan mempunyai AC untuk menjaga suhu di dalam ruangan pada suhu optimum, sehingga umur pakai peralatan dapat lebih lama.

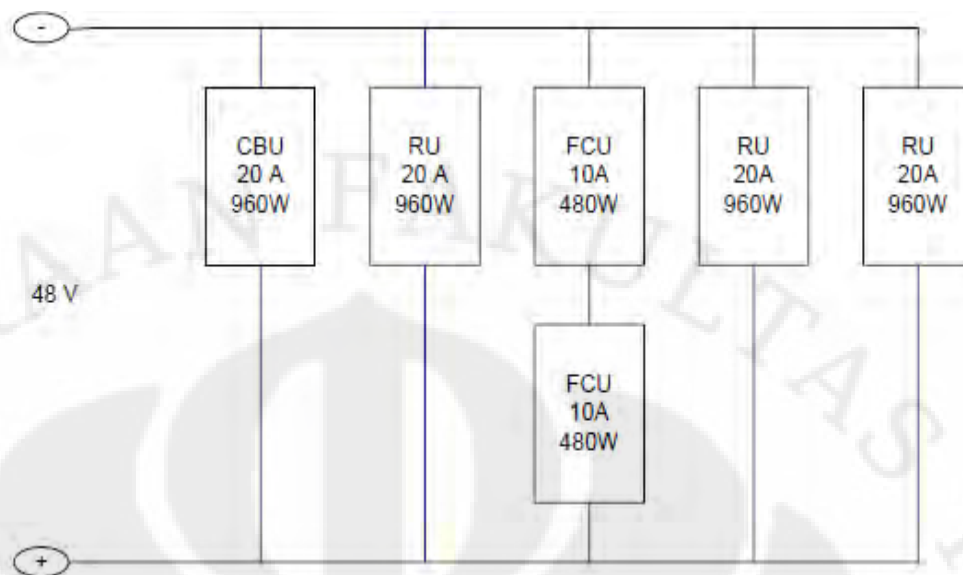
Pada Gambar 2.2 diperlihatkan komponen yang terdapat dalam sebuah BTS 3G dengan tiga sektoral frekuensi 2100 MHz secara umum :



Gambar 2.2 Arsitektur catu daya *Base Transceiver Station* [1]

Catu daya pada BTS adalah tegangan searah dengan nilai tegangan - 48V. Suplai PLN tiga phasa akan diubah menjadi tegangan searah dengan nilai tegangan 48V di bagian PSU. PSU memiliki *rectifier*. Setelah tegangan menjadi -48V, maka pendistribusian daya dilakukan oleh PDU. PDU ini menyuplai daya untuk unit digital dan unit radio. Unit radio ini menyuplai *filter unit* yang menyuplai kebutuhan antena. Baterai digunakan saat pasokan listrik padam sehingga BTS tidak mengalami pemadaman. Ketika baterai digunakan maka genset akan menyiapkan diri untuk menggantikan baterai. Baterai yang digunakan adalah 12 V sebanyak 4 buah. Baterai langsung terhubung ke PDU.

Daya total yang digunakan sebuah BTS adalah 4800 watt. Dengan nilai tegangan -48V dan nilai arus listrik 100A. Setiap bagian menghabiskan daya 960 watt[1]. Dari Gambar 2.3 diperlihatkan kebutuhan daya pada BTS [1].



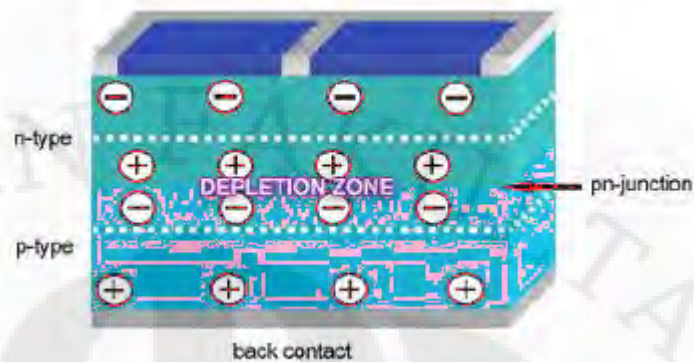
Gambar 2.3 Kebutuhan daya untuk BTS [1]

2.2. Sel Surya

Sel surya merupakan suatu sel yang terbuat dari semikonduktor dan berfungsi untuk mengonversi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui selnya. Konversi listrik yang dihasilkan dari irradiansi cahaya pada suatu sel semikonduktor diketahui sebagai efek *photovoltaic*. Saat cahaya mengenai semikonduktor, energi foton yang lebih besar dari energi *band gap*-nya akan mematahkan ikatan pada elektron valensi, sehingga pasangan *electron-hole* akan tergenerasi. Pasangan *electron-hole* akan menimbulkan medan listrik.

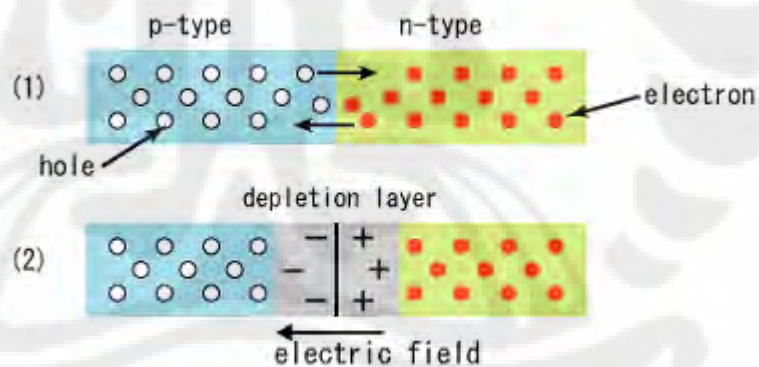
2.2.1. Prinsip Kerja Sel Surya

Pada dasarnya sel surya terdiri dari dua jenis semikonduktor, yaitu semikonduktor tipe-n yang kelebihan *electron* yang bermuatan negatif dan semikonduktor tipe-p yang kelebihan *hole* yang bersifat positif. Struktur sel surya yang paling sederhana tersusun dari dua lapisan semikonduktor yang berbeda tipe yang membentuk *p-n junction*, yang diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 *P-N junction* pada sel surya [2]

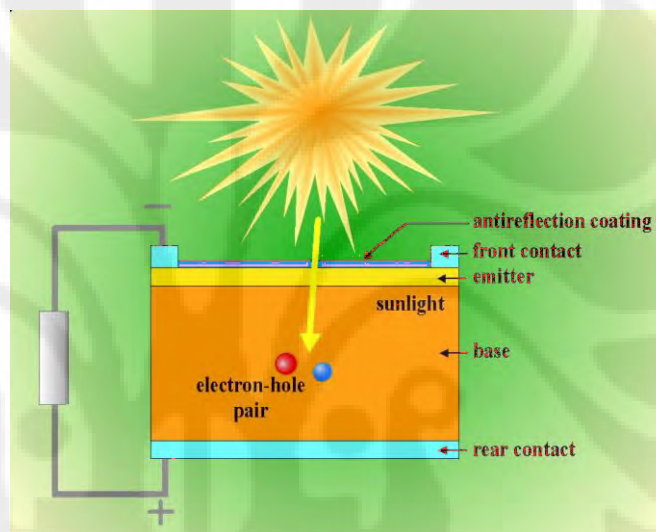
Sambungan dua semikonduktor berbeda tipe tersebut akan membentuk *depletion layer* yang menghasilkan medan listrik. Medan listrik ini timbul akibat perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, di mana arah medan listrik E dari tipe-n ke tipe-p. Struktur *p-n junction* akan menghasilkan medan listrik sebagaimana yang terjadi pada dioda, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 *P-N junction* [2]

Prinsip kerja sel surya yaitu cahaya matahari (*photon*) dengan energi tertentu mengenai permukaan divais sel surya, apabila energi *photon* lebih besar dari energi *band gap* bahan sel surya, maka energi *photon* tersebut akan mengeksitasi elektron, sehingga dihasilkan pasangan elektron-*hole*. Elektron dan *hole* yang bebas akan ditarik ke daerah *p-n junction* dalam arah yang berlawanan dengan arah medan listrik.

Elektron ditarik ke arah elektroda tipe-n dan *hole* ditarik ke arah elektroda tipe-p. Pemisahan muatan *electron* dan *hole* akan menghasilkan perbedaan potensial pada terminal kontak di ujung divais. Jika energi *photon* cukup besar, maka akan dihasilkan elektron-*hole* yang banyak, sehingga akan terjadi pengumpulan muatan sejenis yang apabila divais dihubungkan dengan beban akan mengalir arus listrik. Saat masing-masing terminal kontak dihubungkan dengan beban, maka arus yang dihasilkan dari perpindahan *electron* akan mengalir. Prinsip kerja sel surya dapat dijelaskan dalam Gambar 2.6.



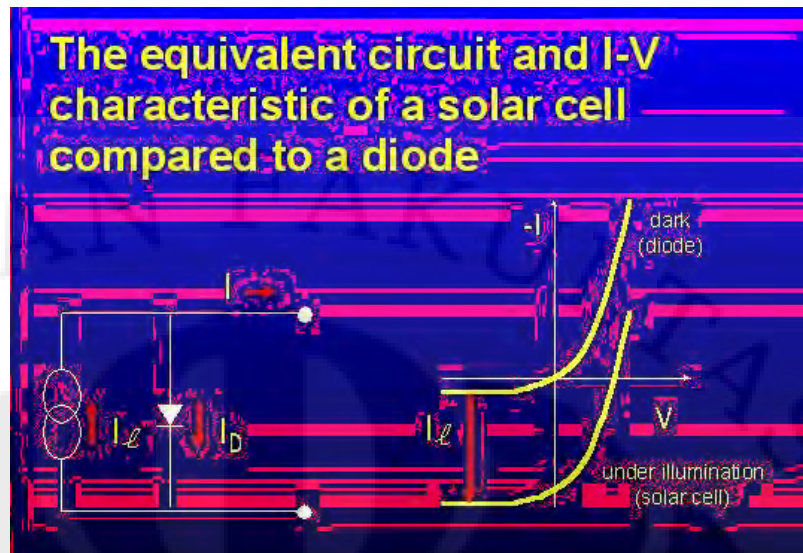
Gambar 2.6 Struktur sel surya [3]

2.2.2. Parameter Sel Surya

Sel surya memiliki beberapa parameter yang diuraikan berikut ini:

2.2.2.1. Kurva karakteristik I-V sel surya

Kurva I-V pada dasarnya merupakan kurva karakteristik arus-tegangan yang menggambarkan unjuk kerja suatu divais sel surya. Kurva I-V sel surya merupakan superposisi kurva I-V dioda dari sel surya pada keadaan gelap dengan arus yang dibangkitkan oleh cahaya (*light generated current*). Cahaya memiliki efek pada pergeseran kurva I-V dari kuadran satu ke kuadran empat yang berarti sel surya telah mendapatkan daya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Rangkaian ekivalen sel suryadan perbandingan kurva karakteristik I-V antara sel surya dan dioda [4]

Pemberian iluminasi akan menambah nilai *dark current* normal dioda melalui Persamaan (2.1) [3]:

$$I = I_0 \left(\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right) - I_L \quad (2.1)$$

di mana:

I_L = arus yang diakibatkan iluminasi cahaya (A)

I_s = arus saturasi diode (A)

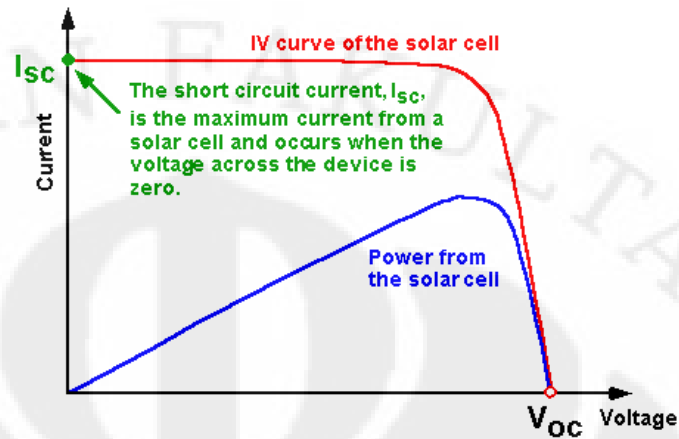
V_T = tegangan threshold (V)

n = faktor idealitas (1...2)

2.2.2.2. Arus *short-circuit*

Arus *short-circuit* atau arus hubung singkat (I_{sc}) merupakan arus yang melalui sel surya saat tegangan yang melalui sel surya bernilai nol atau ketika beban dihubung singkat. Arus ini disebabkan oleh proses *generation* dan pengumpulan dari *carrier* yang dihasilkan dari iluminasi

cahaya matahari. Kurva I-V yang menunjukkan arus *short-circuit* dijelaskan pada Gambar 2.8 [3].



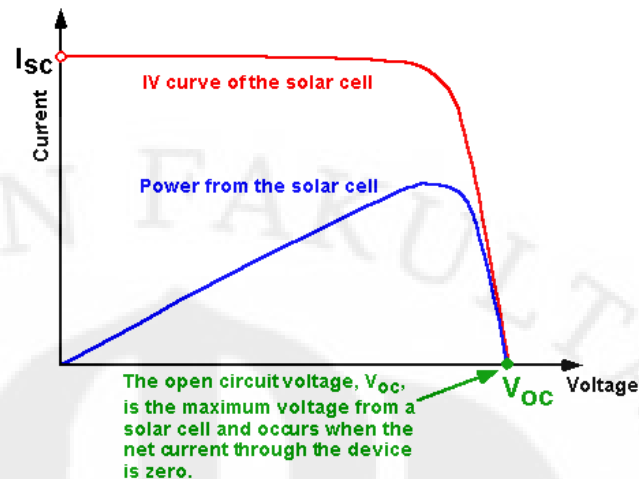
Gambar 2.8 Kurva I-V menunjukkan arus *short-circuit* [3]

Arus *short-circuit* berbanding lurus terhadap intensitas cahaya matahari yang menyinari permukaan divais. Arus *short-circuit* ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu [3]:

1. Jumlah foton
2. Luas area sel surya
3. Spektrum cahaya yang diterima
4. Karakteristik optik
5. Probabilitas pengumpulan

2.2.2.3. Tegangan *open-circuit*

Tegangan *open-circuit* atau tegangan pada saat rangkaian terbuka merupakan tegangan maksimum yang dihasilkan divais sel surya yang terjadi pada saat arus sebesar nol ampere. Kurva I-V yang menunjukkan tegangan *open-circuit* dijelaskan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Kurva I-V menunjukkan dan tegangan *open-circuit* [3]

Pada sel surya ideal, besarnya tegangan *open-circuit* ini didapatkan melalui Persamaan (2.2) [3]:

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad (2.2)$$

dimana:

I_L = arus yang diakibatkan iluminasi cahaya (A)

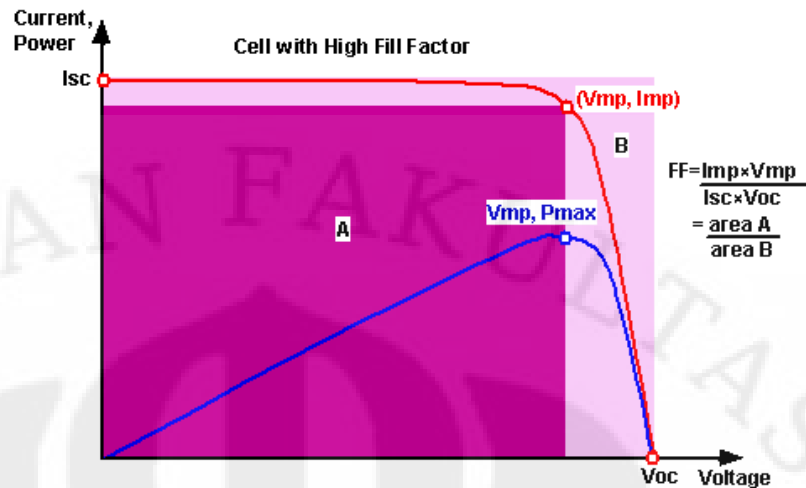
I_0 = arus saturasi dioda (A)

Berdasarkan Persamaan (2.2), V_{oc} akan meningkat secara logaritmis terhadap kenaikan intensitas cahaya matahari.

2.2.2.4. Fill factor

Fill factor (FF) merupakan parameter yang berfungsi untuk menentukan daya maksimum dari sel surya dalam kaitannya dengan V_{oc} dan I_{sc} .

FF menentukan besarnya daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh suatu divais, sehingga akan menentukan besarnya arus dan tegangan maksimum *power point*. Pada Gambar 2.10 terlihat bahwa daerah yang dibentuk oleh $V_m I_m$ lebih kecil daripada daerah yang dibentuk oleh $V_{oc} I_{sc}$.



Gambar 2.10 Titik daya, tegangan, dan arus maksimum pada kurva I-V sel surya untuk menunjukkan *fill factor* [3]

Perbandingan inilah yang disebut dengan *fill factor*. *Fill factor* dikatakan baik apabila memiliki nilai mendekati 1.

Untuk menghitung nilai dari *fill factor* dapat digunakan Persamaan (2.3) dan Persamaan (2.4) [3]:

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} \quad (2.3)$$

$$FF = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{v_{oc}} \quad (2.4)$$

Dengan v_{oc} adalah normalisasi dari V_{oc} yang dinyatakan dengan Persamaan (2.5).

$$v_{oc} = \frac{q}{nkT} V_{oc} \quad (2.5)$$

2.2.2.5. Efisiensi

Efisiensi merupakan parameter yang menunjukkan unjuk kerja dari suatu divais sel surya. Efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan energi keluaran dari sel surya terhadap energi keluaran dari matahari. Efisiensi

juga bergantung pada spektrum dan intensitas cahaya matahari yang datang dan temperatur sel surya. Efisiensi sel surya terrestrial diukur di bawah kondisi AM 1,5 dengan temperature 25⁰C.

Untuk menghitung efisiensi divais sel surya dapat menggunakan persamaan berikut [3]:

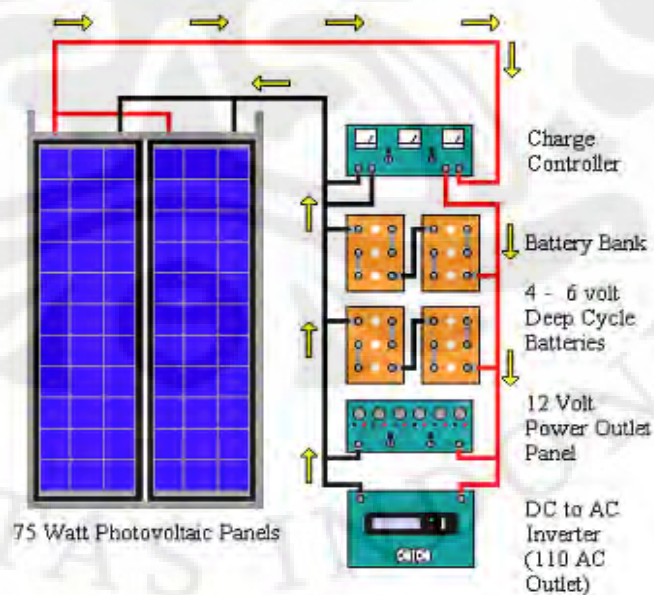
$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \quad (2.6)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (2.3) dengan Persamaan (2.6), maka didapatkan persamaan [3]:

$$\eta = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_{in}} \quad (2.7)$$

2.2.3 Komponen Sistem Tenaga Surya

Sistem *photovoltaic* terdiri atas sel surya (panel atau *array*), rangkaian pengendali pengisian (*charge controller*), dan baterai. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.

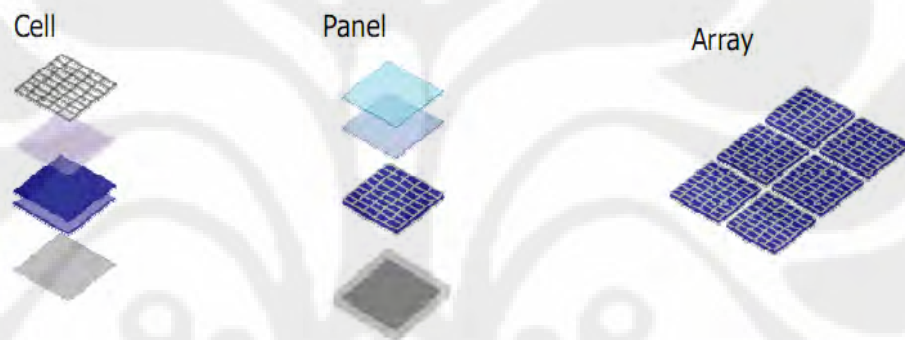


Gambar 2.11 Salah satu aplikasi sistem *photovoltaic* [2]

Array merupakan panel yang tersusun atas beberapa sel surya yang terpasang paralel maupun seri. Besarnya energi listrik yang dihasilkan sebanding dengan luas permukaan panel surya [1]. Perbedaan sel, panel, dan *array* diperlihatkan Gambar 2.12.

Rangkaian pengendali pengisian aki berfungsi untuk mencegah dari kondisi *over charging*.

Baterai diperlukan sebagai tempat cadangan energi ketika matahari tidak mampu memberikan energi foton ke sel surya atau saat sel surya tidak bekerja optimal.

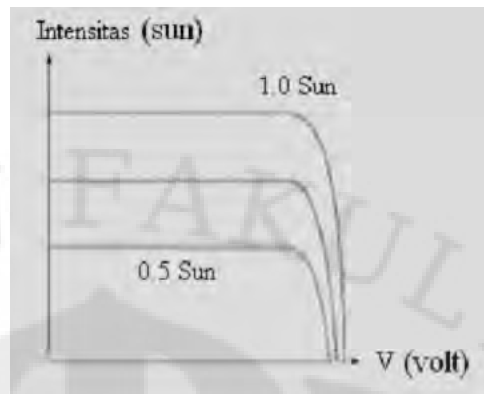


Gambar 2.12 Perbedaan dari sel, panel, dan *array* [2]

Faktor utama yang mempengaruhi desain *array* sel surya [5]:

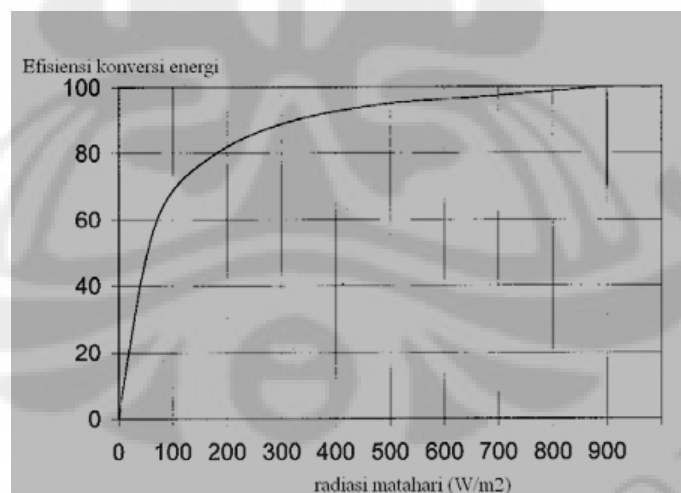
1. Intensitas matahari

Besar dari nilai *photocurrent* maksimum di saat hari terang penuh (1 sun). Pada hari terang sebagian, *photocurrent* berkurang langsung sesuai porsi intensitas matahari. Karakteristik I-V yang bergeser ke bawah lebih rendah saat intensitas sinar matahari rendah seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Karakteristik tegangan terhadap intensitas matahari [5]

Pada saat hari berawan, arus hubung singkat menurun secara signifikan. Pengurangan di tegangan *open circuit* kecil, sehingga efisiensi konversi energi sel surya tidak terpengaruh dengan radiasi matahari pada saat bekerja. Sebagai contoh Gambar 2.14 menunjukkan bahwa efisiensi yang hampir sama di 500 watt/m² dan 1000 watt/m². Hal ini berarti bahwa efisiensi konversi sama saat hari cerah maupun berawan. Kita mendapat daya output yang lebih rendah pada hari berawan hanya karena energi matahari sedikit mengenai sel.



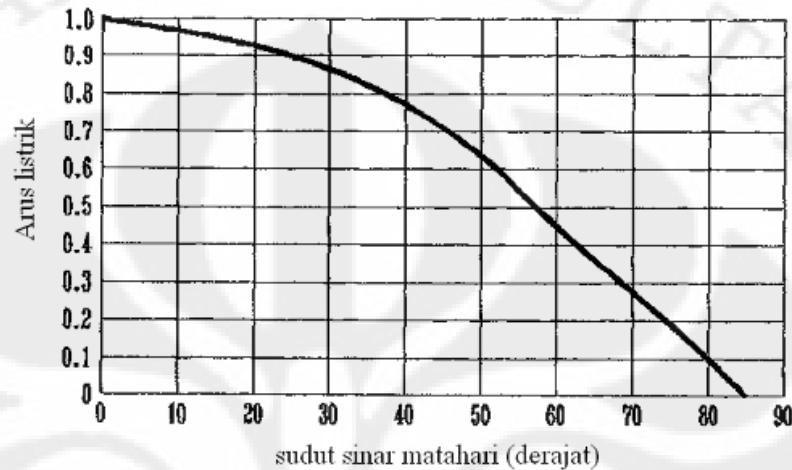
Gambar 2.14 Kurva radiasi matahari terhadap efisiensi konversi energi sel surya [5]

2. Sudut sinar matahari

Arus listrik keluaran sel diberikan oleh persamaan $I = I_0 \cos \theta$, di mana I_0 adalah arus dengan sinar matahari (referensi) dan θ adalah sudut

antara garis matahari yang diukur dari garis normal. Hukum cosinus ini berlaku untuk sudut matahari berkisar 0° hingga 50° .

Kurva nilai daya terhadap sudut matahari dari sebuah sel surya disebut Kelly cosine dan ditunjukkan oleh Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Kurva Kelley Cosinus untuk sel surya [2]

3. Efek bayangan

Bayangan dapat menyebabkan penyerapan energi matahari oleh sel surya berkurang. Metode yang biasa digunakan dengan memasang dioda, sehingga sel surya tidak menjadi beban ketika berada di daerah bayangan.

4. Efek suhu

Dengan menaikkan suhu, arus hubung singkat sel akan meningkat dimana tegangan hubung terbuka akan menurun. Pengaruh dari suhu pada kuantitas daya dianalisa melalui pemeriksaan pengaruh nilai arus dan tegangan secara terpisah. Misalnya I_0 dan V_0 adalah arus hubung singkat dan tegangan hubung terbuka pada suhu T dan koefisien suhu A dan B . Jika temperatur dinaikkan hingga AT , kemudian nilai arus dan tegangan diberikan oleh persamaan [5]:

$$I_{sc} = I_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad (2.8)$$

$$V_{oc} = V_0 (1 - \beta \cdot \Delta T) \quad (2.9)$$

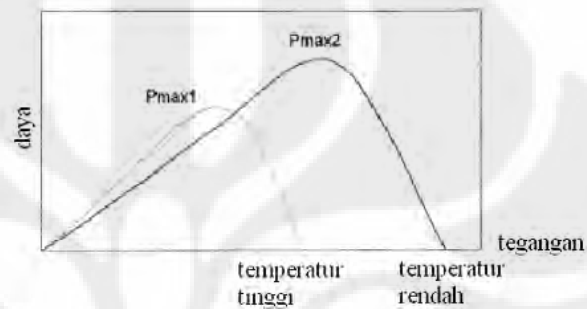
maka nilai daya baru diberikan oleh Persamaan (2.10) [5]:

$$P = V \cdot I = I_0 (1 - \alpha \cdot \Delta T) V_0 (1 - \beta \cdot \Delta T) \quad (2.10)$$

Persamaan 2.10 dapat disederhanakan menjadi Persamaan (2.11) [5]:

$$P = P_0 [(1 + (\alpha - \beta \cdot \Delta T))] \quad (2.11)$$

Pengaruh nilai suhu yang bervariasi terhadap daya keluaran ditunjukkan oleh kurva daya terhadap tegangan pada Gambar 2.16.



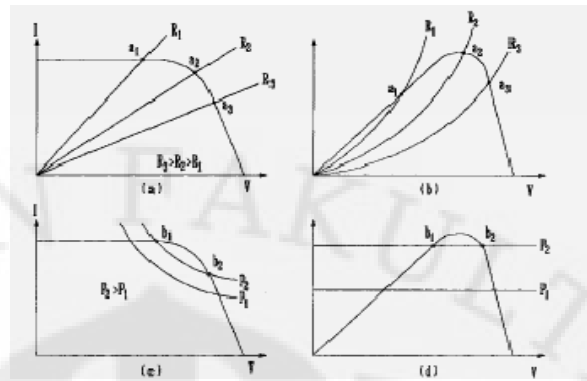
Gambar 2.16 Pengaruh nilai suhu yang bervariasi terhadap daya keluaran [5]

Gambar 2.16 memperlihatkan bahwa daya maksimum pada suhu yang rendah lebih tinggi dibandingkan jika suhunya tinggi. Maka temperatur rendah lebih baik untuk sel surya karena menghasilkan daya lebih besar. Namun, titik P_{\max} di atas bukan pada tegangan yang sama. Untuk menghasilkan daya maksimum pada setiap suhu maka sistem sel surya harus dirancang sehingga tegangan keluaran modul dapat meningkat hingga V_2 untuk mendapatkan $P_{\max 2}$ pada suhu lebih rendah dan dapat menurun hingga V_1 untuk mendapatkan $P_{\max 1}$ pada suhu yang lebih tinggi.

5. Pengaruh cuaca

Pada hari yang sebagian berawan sebuah sel surya dapat menghasilkan hingga 80% dari daya saat hari cerah. Bahkan saat hari cuaca seharian mendung, sel dapat menghasilkan daya hingga 30%.

6. Pemasangan beban listrik yang sesuai dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Karakteristik p-v sel surya [5]

Jika sumber sel surya mempunyai karakteristik p-v seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.17 sedang menyuplai daya ke hambatan R_1 , akan beroperasi pada titik A_1 . Jika beban hambatan bertambah ke R_2 atau R_3 , maka otomatis titik operasi akan bergerak ke A_2 atau A_3 . Daya maksimum dikembangkan dari modul ketika hambatan beban adalah R_2 (Gambar 2.17 b).

Matahari mengisi beban dengan sumber selalu penting untuk daya maksimum yang dikembangkan oleh modul sel surya. Operasi dengan beban daya konstan ditunjukkan oleh Gambar 2.17 c dan Gambar 2.17 d. Garis beban konstan mempunyai dua titik yang bersimpangan dengan garis sumber dan ditandai oleh B_1 dan B_2 . Hanya titik B_2 yang stabil, sebagai banyak gangguan darinya akan menghasilkan daya pemulihan untuk mengambil tindakan balik ke B_2 , sehingga sistem akan beroperasi pada B_2 .

Kondisi penting untuk kestabilan operasi listrik dari *array* sel surya mengikuti persamaan [5]:

$$\left[\frac{dV}{dV} \right]_{\text{beban}} \geq \left[\frac{dP}{dV} \right]_{\text{sumber}} \quad (2.12)$$

Beberapa beban seperti pemanas mempunyai beban yang konstan, dengan variasi daya dengan perkalian tegangan. Dengan kata lain, beberapa beban seperti motor induksi yang bersifat seperti beban daya yang konstan, menggunakan banyak arus listrik saat tegangan rendah.

Pada banyak sistem dengan beban campuran, daya bervariasi mendekati garis yang sebanding dengan tegangan.

2.3. *Switching Regulator*

Saat ini *switching regulator* semakin populer karena dapat menawarkan keunggulan berupa efisiensi konversi daya yang lebih tinggi dan meningkatkan fleksibilitas desain (tegangan output jamak dari polaritas yang berbeda-beda dapat dihasilkan dari sebuah tegangan input tunggal).

Prinsip-prinsip operasi dari empat jenis konverter *switching* yang sering digunakan:

1. *Buck*: digunakan untuk mengurangi tegangan DC menjadi tegangan DC yang lebih rendah.
2. *Boost*: memberikan tegangan output yang lebih tinggi daripada input
3. *Buck-Boost (invert)*: tegangan *output* yang dihasilkan memiliki polaritas yang berlawanan dengan inputnya.
4. *Flyback*: tegangan *output* yang lebih rendah atau lebih tinggi daripada *input* dapat dihasilkan sama baiknya dengan output jamak.

Beberapa topologi konverter multi-transistor:

1. *Push-Pull*: Suatu konverter dua transistor yang sangat efisien pada tegangan input rendah.
2. *Half-Bridge*: Suatu konverter dua-transistor yang banyak digunakan pada aplikasi-aplikasi *offline*.
3. *Full-Bridge*: Suatu konverter empat-transistor (biasanya digunakan pada rancangan *offline*) yang dapat menghasilkan daya *output* yang paling tinggi dibanding semua tipe yang terdaftar [5].

2.3.1. Hukum Induktansi

Apabila tegangan melalui sebuah induktor, maka arus akan mengalir melalui induktor tersebut (arus tersebut bervariasi sesuai waktu).

Perlu diperhatikan bahwa arus yang mengalir dalam suatu induktor akan bervariasi sesuai waktu walaupun tegangan yang masuk konstan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa apabila arus yang bervariasi terhadap waktu dialirkan ke dalam suatu induktor, maka akan terjadi tegangan di sepanjang induktor.

Hukum dasar yang menjelaskan hubungan antara tegangan dan arus dalam sebuah induktor adalah rumus berikut [5]:

$$V = L (di/dt) \quad (2.13)$$

Pada hukum induksi terdapat dua karakteristik induktor [5]:

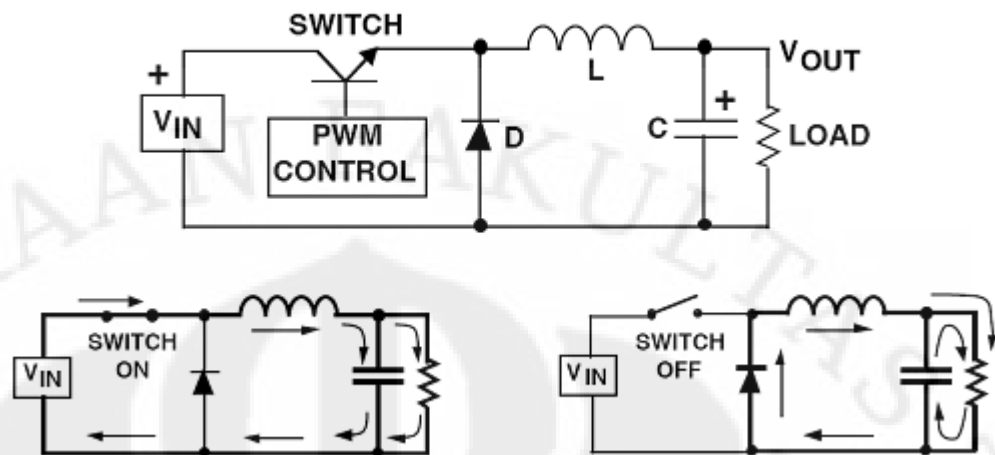
1. Tegangan di sepanjang induktor dihasilkan hanya dari suatu arus yang berubah terhadap waktu. Arus DC yang stabil dalam induktor tidak menghasilkan tegangan di seberangnya (kecuali untuk tegangan jatuh yang kecil di seberang inti yang digunakan di lilitan)
2. Arus yang mengalir dalam sebuah induktor tidak dapat berubah dengan drastis (dalam waktu nol detik), karena akan membutuhkan tegangan sebesar tak hingga untuk membuat kondisi tersebut terjadi

2.3.2. *Buck Regulator*

Switching converter yang paling sering digunakan adalah *buck regulator*, yang digunakan untuk mengkonversi tegangan DC menjadi tegangan DC dengan nilai potensial yang lebih rendah dan polaritas yang sama. Ini sangat penting dalam sistem yang menggunakan *range* tegangan (seperti 24 sampai 48 volt), yang akan dikonversi menjadi nilai tegangan tertentu seperti 5V, 12V atau 15V.

Buck Converter menggunakan sebuah transistor yang digunakan sebagai saklar yang akan berfungsi untuk mengalirkan dan memutuskan tegangan input ke sebuah induktor.

Gambar 2.18 menjelaskan kondisi jalannya arus saat saklar berada dalam kondisi terhubung dan terputus.

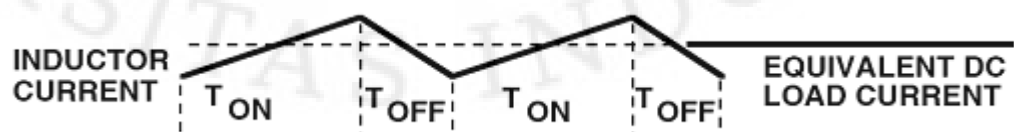


Gambar 2.18 Buck regulator [5]

Ketika saklar terhubung arus mengalir dari tegangan masukan ke induktor. Akibat adanya perbedaan tegangan masukan dan keluaran menyebabkan arus yang mengalir melalui induktor bertambah besar.

Selama waktu ini, arus pada induktor menuju ke beban R dan kapasitor keluaran (kapasitor melakukan pengisian pada kondisi ini). Ketika saklar terputus, tegangan masukan yang diberikan ke induktor terlepas. Karena pada induktor perubahan arus tidak akan pernah terjadi secara mendadak, maka arus masih mengalir melalui induktor, dan pada kondisi ini induktor berfungsi sebagai sumber arus. Arus yang mengalir dalam induktor perlahan lahan akan turun akibat tidak adanya tegangan input yang diberikan ke dalam induktor, dan dalam kondisi ini dioda berada dalam kondisi bias maju, sehingga arus tetap mengalir menuju ke beban dan kembali ke induktor.

Pada kondisi tidak adanya tegangan input ini, kapasitor akan berada dalam kondisi *discharge* yang ikut memberikan kontribusi arus total yang diberikan ke beban (lihat Gambar 2.19).

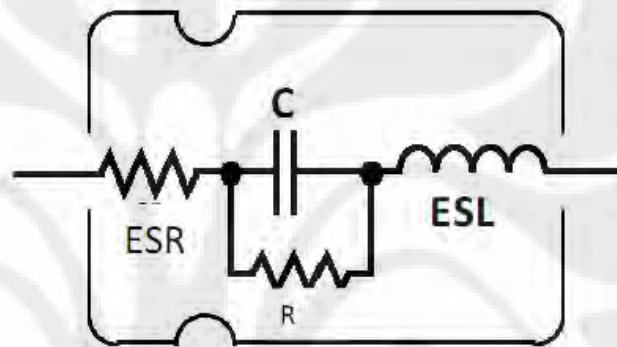


Gambar 2.19 Arus induktor buck regulator [5]

Sebagai penjelasan, arus yang melalui induktor akan naik ketika saklar terhubung (T_{on}) dan akan turun saat saklar terputus (T_{off}). Arus DC yang diberikan ke beban merupakan nilai rata – rata dari arus induktor.

2.3.3. Metode perancangan *switching regulator*

Kapasitor parasitik mempengaruhi kinerja *switching regulator*. Semua kapasitor mengandung unsur-unsur parasitik yang membuat kinerja mereka kurang ideal, di mana posisi kapasitor terlihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 kapasitor parasitik [5]

ESR: ESR (*Equivalent Series Resistances*) menyebabkan pemanasan internal karena akibat adanya daya disipasi dalam bentuk *ripple* yang mengalir ke dalam dan keluar kapasitor. Kapasitor dapat gagal apabila arus *ripple* melebihi batas maksimum.

Tegangan keluaran *ripple* yang berlebihan diakibatkan dari ESR yang tinggi dan juga memungkinkan ketidakstabilan putaran regulator. ESR sangat bergantung pada suhu, yang meningkat dengan cepat pada temperatur di bawah sekitar 10 °C.

ESL: ESL (*Effective Series Inductance*) membatasi efektivitas frekuensi tinggi dari kapasitor. ESL yang tinggi merupakan penyebab *electrolytic capacitors* perlu di-*bypassed* oleh film atau kapasitor keramik untuk memberikan kinerja frekuensi tinggi yang baik.

ESR, ESL, dan C pada kapasitor membentuk sebuah rangkaian resonansi, yang frekuensi resonansinya harus setinggi mungkin. *Switching*

regulator menghasilkan tegangan *ripple* pada keluarannya dengan komponen berfrekuensi tinggi (>10 Mhz), yang dapat menimbulkan bunyi pada tegangan keluaran apabila frekuensi resonansi kapasitor cukup rendah untuk berada di dekat frekuensi ini.

Kapasitor masukan

Semua *switching converters* yang digunakan pada umumnya beroperasi sebagai DC-DC *converters* yang “memotong” tegangan masukan DC pada frekuensi yang sangat tinggi. Sebagai *converter switches*, harus mengambil pulsa-pulsa arus dari sumber masukan. Impedansi sumber sangat penting, bahkan induksi dalam jumlah kecil dapat menghasilkan bunyi yang signifikan dan lonjakan tajam sesaat tegangan pada masukan dari konverter.

Perancangan yang terbaik adalah dengan selalu menyediakan kapasitor *bypass* yang memadai sedekat mungkin pada masukan *switching converter*. Untuk hasil yang terbaik, sebuah *electrolytic* digunakan dengan *film capacitor* (dan mungkin kapasitor keramik) secara paralel untuk frekuensi tinggi *bypassing* yang optimal.

Efek ESR kapasitor keluaran

Fungsi utama pada kapasitor keluaran dalam *switching regulator* adalah penyaringan. Sama halnya dengan pengoperasian konverter, harus mengalir masuk dan keluar kapasitor penyaring. ESR dari hasil keluaran kapasitor secara langsung akan mempengaruhi kinerja pada *switching regulator*. ESR ditetapkan sebagai kapasitor berkualitas baik, tetapi pastikan bahwa itu ditetapkan pada frekuensi yang ditentukan.

Pada umumnya *electrolytic* hanya menentukan ESR pada 120 Hz, tetapi kapasitor untuk aplikasi *switching* berfrekuensi tinggi akan memiliki ESR yang dijamin berfrekuensi tinggi (sekitar 20 kHz sampai 100 kHz) Beberapa parameter yang bergantung ESR:

- Tegangan *Ripple*:
Dalam banyak kasus, mayoritas hasil keluaran tegangan *ripple* dihasilkan dari ESR pada kapasitor keluaran. Jika ESR meningkat (karena akan

beroperasi pada temperatur rendah) tegangan keluaran akan meningkat secara teratur.

- Efisiensi:

Selama arus *switching* mengalir ke dalam dan keluar kapasitor (melewati ESR), kekuatannya menghilang ke dalam. „Terbuangnya’ ini mengurangi daya keseluruhan efisiensi regulator, dan juga dapat menyebabkan kapasitor gagal apabila *ripple*-nya melebihi jumlah maksimum yang diizinkan untuk spesifikasi kapasitor.

- Stabilitas *loop*:

Mempertahankan ESR dalam rentang “stabil” tidak selalu mudah dalam desain yang harus beroperasi selama dalam rentang temperatur yang luas. ESR yang khusus dari aluminum *electrolytic* dapat meningkat 40 kali selama suhu turun dari 25 °C sampai -40 °C. ESR dari kapasitor keluaran dapat mempengaruhi kestabilan *loop* regulator. Komponen seperti LM2575 dan LM2577 adalah kompensasi bagi stabilitas yang menganggap ESR dari keluaran kapasitor akan tetap dalam kisaran tertentu.

Dalam kasus ini, aluminum *electrolytic* harus diparalel dengan kapasitor jenis lain dengan ESR yang melengkung (seperti Film atau Tantalum) sehingga efektif ESR (yang merupakan nilai paralel dari dua ERS’s) tetap berada dalam rentang yang diizinkan. (Catatan: Jika operasi di bawah -40°C diperlukan, aluminum *electrolytics* tidak layak untuk digunakan.)

Kapasitor Bypass

Kapasitor Bypass berfrekuensi tinggi selalu direkomendasikan pada pin catu daya dari komponen IC, tetapi bila komponen yang digunakan dalam perancangan dekat dengan *switching converter*, maka kapasitor *bypass* mutlak diperlukan. Untuk memastikan pengoperasian rangkaian dengan benar semua pin catu daya IC harus di-*bypass* ke ground yang berinduksi rendah (untuk rincian tentang pelarangan, lihat bagian berikutnya).

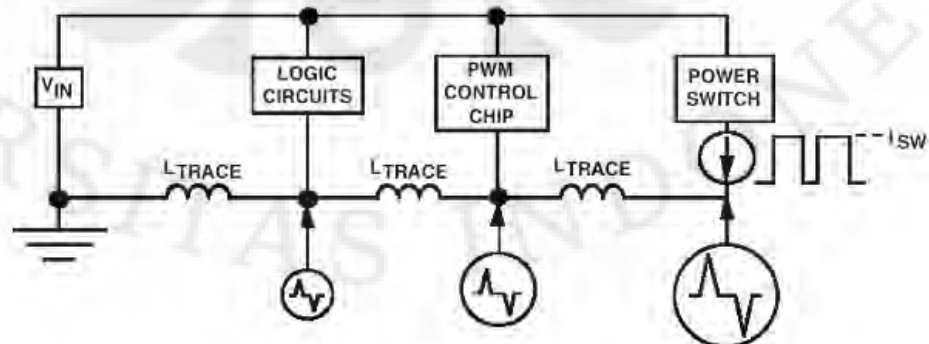
Proper Grounding

“Ground” pada rangkaian seharusnya berada di satu potensial, namun pada kenyataannya tidak seperti itu. Ketika arus *ground* mengalir dalam sebuah jalur rangkaian yang mana tidak memiliki resistansi nol, perbedaan tegangan akan menghasilkan potensial yang berbeda di sepanjang jalur *ground*.

Dalam DC atau rangkaian berfrekuensi rendah pengaturan *ground* relatif sederhana: satu-satunya parameter yang penting adalah hambatan DC dari sebuah induktor, karena hal tersebut menjelaskan jatuhnya tegangan untuk dapat menimbulkan arus. Pada rangkaian frekuensi tinggi, induktansi pada jalur rangkaian atau konduktorlah yang lebih penting.

Dalam *switching converters*, puncak arus pulsa berfrekuensi tinggi (>50 kHz), yang dapat menyebabkan masalah jika jalur rangkaian memiliki induktivitas yang tinggi. Kebanyakan dari “bunyi” dan “lonjakan” yang terlihat pada bentuk gelombang tegangan dalam *switching converters* merupakan hasil dari arus tinggi yang disaklarkan melalui jalur parasitik (atau kabel) induktansi.

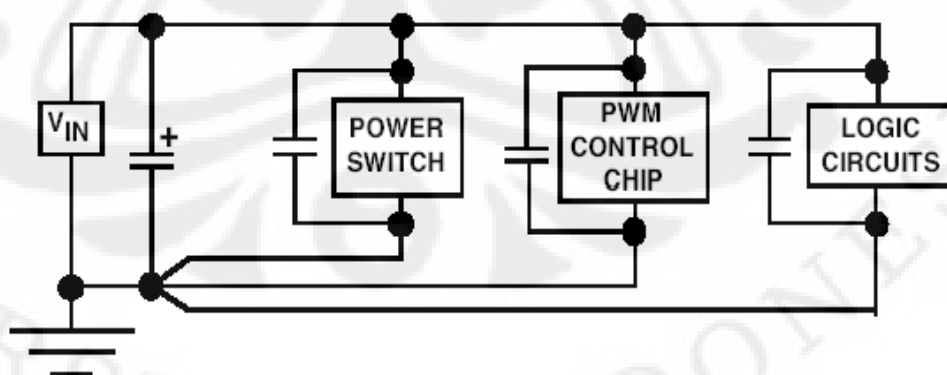
Arus pensaklaran pada frekuensi tinggi cenderung mengalir dekat permukaan konduktor (disebut “skin effect”), yang berarti jalur *ground* harus sangat lebar dalam sebuah rangkaian untuk bisa mengatasi masalah. Biasanya terbaik (bila mungkin) untuk menggunakan satu sisi pada papan rangkaian sebagai *ground plane*. Gambar 2.21 berikut ini merupakan contoh *grounding* yang salah.



Gambar 2.21 *Grounding* yang salah [5]

Gambar 2.21 menunjukkan ada pengembalian *power switch* tinggi saat melewati jalur yang juga menyediakan pengembalian terhadap IC PWM dan rangkaian logika. *Pulsa Switching current* mengalir melalui jalur yang akan menyebabkan lonjakan tegangan (positif dan negatif) terjadi sebagai akibat dari meningkat dan menurunnya aliran saklar. Lonjakan tegangan berikut ini sesuai dengan persamaan $V = L (di/dt)$ yaitu hukum induktivitas. Penting untuk dicatat bahwa besarnya lonjakan akan berbeda di semua titik sepanjang jalur, yang terbesar di dekat saklar listrik. Mengambil simbol *ground* sebagai titik acuan, ini menunjukkan bagaimana ketiga rangkaian akan terpental ke atas dan ke bawah. Lebih penting, mereka juga akan pindah sehubungan dengan satu sama lain.

Kesalahan operasi sering terjadi saat bagian sensitif dari rangkaian “berkelontang” ke atas dan ke bawah karena arus *ground* pada *switching*. Hal ini dapat menimbulkan kebisingan pada referensi yang digunakan untuk mengatur tegangan keluaran, sehingga menghasilkan *output ripple* yang berlebihan. Sangat sering, regulator yang bermasalah dengan kebisingan tersebut menjadi tidak stabil, dan menyebabkan osilasi karena arus beban ditingkatkan (yang meningkatkan arus *ground*). *Layout* yang lebih baik ditunjukkan dalam Gambar 2.22.



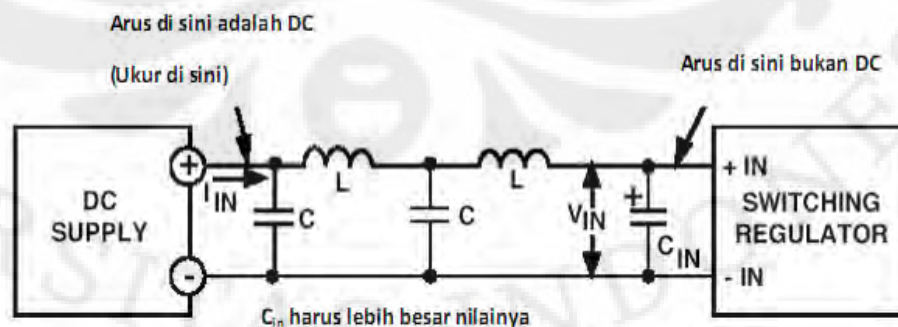
Gambar 2.22 *Grounding* yang benar [5]

Penyempurnaan yang lebih baik telah dibuat dengan menggunakan *single-point grounding*. Kapasitor elektrolit yang baik (seperti *solid Tantalum*) digunakan dekat sumber tegangan masukan untuk

menghasilkan *ground point* yang baik. Masing-masing elemen rangkaian dikembalikan ke titik ini menggunakan jalur *ground* yang terpisah. Hal ini mencegah pulsa arus *ground* dari terpentalnya rangkaian logika ke atas dan ke bawah. Penyempurnaan penting lainnya peningkatan daya saklar (yang memiliki arus pin *ground* tertinggi) terletak sedekat mungkin ke kapasitor masukan. Ini meminimalisasi jejak induksitansi sepanjang jalur *ground*.

Hal ini juga harus dinyatakan bahwa tiap rangkaian individual blok “lokal” *bypass capacitor* terikat langsung dengan mereka. Tujuan dari kapasitor ini adalah untuk mem-*bypass* RF, sehingga seharusnya menjadi film atau kapasitor keramik (atau keduanya). Nilai yang baik untuk *bypassing logic device* adalah 0.01 MF *ceramic capacitor*, didistribusikan sesuai kebutuhan. Jika rangkaian yang akan di-*bypass* menghasilkan pulsa arus yang besar (seperti saklar daya), kapasitas yang lebih besar diperlukan. Aluminium *electrolytic bypassed* dengan film dan kapasitor keramik merupakan pilihan yang baik. Ukuran yang tepat tergantung dari puncak arus, tetapi semakin besar kapasitor digunakan, semakin baik hasilnya.

Jika pengukuran lebih tepat diperlukan, kemungkinan dapat memaksa arus pada jalur menjadi masukan pada DC-DC *converter* menjadi DC dengan menggunakan L-C filter diantara sumber daya dan masukan pada *converter* seperti yang terlihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Penggunaan L-C filter di antara sumber daya dan *switching regulator* [5]

Jika komponen L-C filter memadai, arus yang datang dari keluaran DC *power supply* akan menjadi arus (tanpa komponen saklar frekuensi tinggi) yang berarti dapat diukur dengan akurat dengan *clip-on ammeter* dan digital *volt meter* yang murah.

Penting apabila ESR rendah dan besar ditempatkan pada C_{in} untuk mendukung masukan pada *switching converter*. LC filter yang meninjau kembali *converter* ke dalam sumber menghasilkan impedansi yang tinggi pada perpindahan arus.

2.4. Baterai

Baterai digunakan sebagai media penyimpanan muatan yang bersumber dari sel surya, selain itu menjadi sumber cadangan saat sel surya tidak bekerja dengan optimal. Sebagai media penyimpan muatan, baterai dianggap beban bagi sel surya namun saat menggantikan peran sel surya, baterai akan berfungsi sebagai sumber DC, sedangkan untuk sumber bagi beban AC, baterai membutuhkan *inverter* untuk mengonversi tegangan DC menjadi AC. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.11.

2.4.1. Reaksi Kimia Baterai

Reaksi kimia internal baterai yang terjadi antara elektrolit dan elektroda metal negatif menghasilkan elektron bebas yang berkumpul pada terminal negatif baterai, sedangkan reaksi kimia yang terjadi antara elektrolit dengan elektroda positif menghasilkan ion positif yang berkumpul pada terminal positif baterai.

Setiap baterai memiliki setidaknya empat komponen [6]:

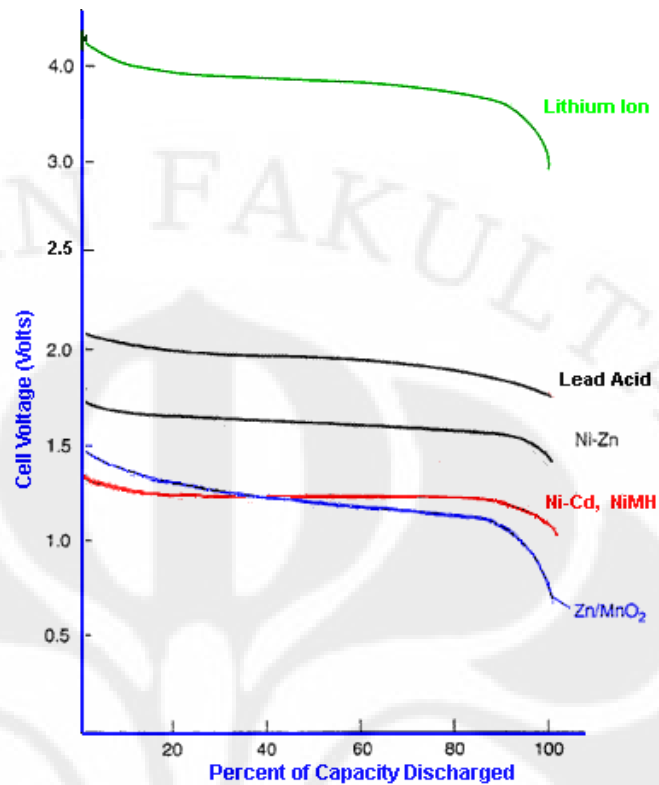
1. **Anoda** atau elektroda negatif adalah elektroda reduksi. Ini menghubungkan elektron dengan rangkaian eksternal dan teroksidasi selama *discharging*. Biasanya anoda menggunakan metal atau campuran tetapi juga hydrogen digunakan.

2. **Katoda** atau elektroda positif adalah elektroda oksidasi. Katoda menerima elektron dari rangkaian eksternal dan direduksi selama *discharging*. Biasanya menggunakan *metallic oxide* atau sulfide tetapi juga menggunakan oksigen.
3. **Elektrolit** (konduktor ionik) di mana menyediakan media untuk transfer muatan sebagai ion-ion di dalam *cell* antara anoda dan katoda. Elektrolit dapat berupa sebuah *non-conductor* dari elektron untuk menghindari *self discharge* dari *cell*
4. **Pemisah/separator** di mana secara elektris mengisolasi elektroda positif dan negatif

2.4.2. Proses *Discharge*

Saat baterai di-charge penuh, terdapat kelebihan elektron pada anoda, yang memberikan muatan negatif dan defisit pada katoda memberikan muatan positif. Ketika rangkaian mengalirkan elektron yang berlebihan pada rangkaian eksternal, dari anoda di mana kehilangan muatan menuju katoda yang akan menerimanya, menetralkan muatan positif. Aksi ini mengurangi beda potensial dari *cell*.

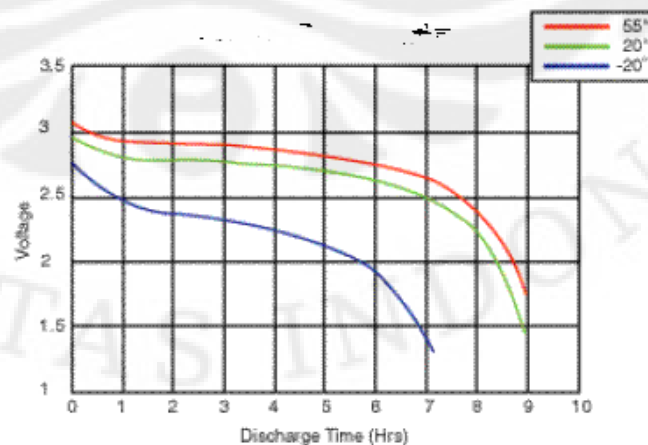
Nominal tegangan dari baterai ditetapkan oleh karakteristik *electrochemical* dari *active chemical* yang digunakan pada *cell*. Tegangan aktual yang muncul pada terminal saat waktu tertentu, bergantung pada arus beban, dan impedansi internal dari *cell* serta bervariasi dengan temperatur, keadaan muatan dan umur dari *cell*. Gambar 2.24 memperlihatkan proses *discharging* dari berbagai tipe baterai [6].



Gambar 2.24 Grafik proses *discharging* berbagai tipe baterai [6]

Karakteristik temperatur

Tegangan baterai dapat berubah secara dramatis terhadap suhu. Pada suhu ekstreme rendah, baterai dapat membeku tergantung batas *setting suhu* baterai tersebut, sedangkan saat suhu ekstrem tinggi, *chemicals* dapat *break down* merusak baterai. Tegangan baterai berubah terhadap suhu di antara kedua batas tersebut, seperti pada Gambar 2.25.



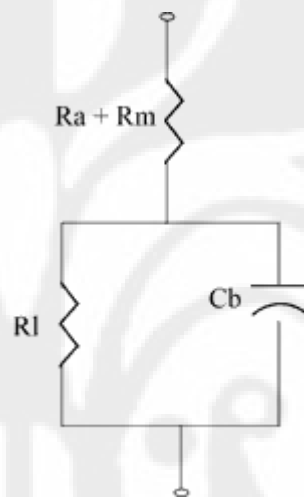
Gambar 2.25 Karakteristik *discharging* terhadap perubahan suhu [6]

Karakteristik *self discharge*

Self discharge adalah keadaan di mana baterai *discharging* tanpa dibebani (saat tidak digunakan). Keadaan ini dipengaruhi oleh bahan kimia *cell* dan suhu.

Impedansi internal

Baterai memiliki impedansi internal yang dapat mempengaruhi besar tegangan terminal baterai. Berikut rangkaian ekivalen dari impedansi internal baterai yang ditunjukkan pada Gambar 2.26.



Gambar 2.26 Rangkaian ekivalen impedansi internal baterai [6]

- R_m adalah resistansi dari bagian metalik melalui *cell* termasuk terminal, elektroda, dan interkoneksi.
- R_a adalah resistansi dari bagian *electrochemical* termasuk elektroli dan separator
- C_b adalah kapasitansi dari pelat paralel di mana membentuk elektroda *cell*
- R_i adalah resistansi kontak non linier antara pelat atau elektroda dan elektroli

Tipikal dari resistansi internal dalam orde miliohm.

Efek dari impedansi internal adalah saat arus mengalir melalui *cell*, ada tegangan jatuh IR melewati impedansi internal dari *cell* di mana

mengurangi tegangan terminal selama *discharging* dan meningkatkan tegangan yang dibutuhkan untuk *men-charge cell* sehingga terjadi pengurangan efisiensi *charge/discharge* [6].

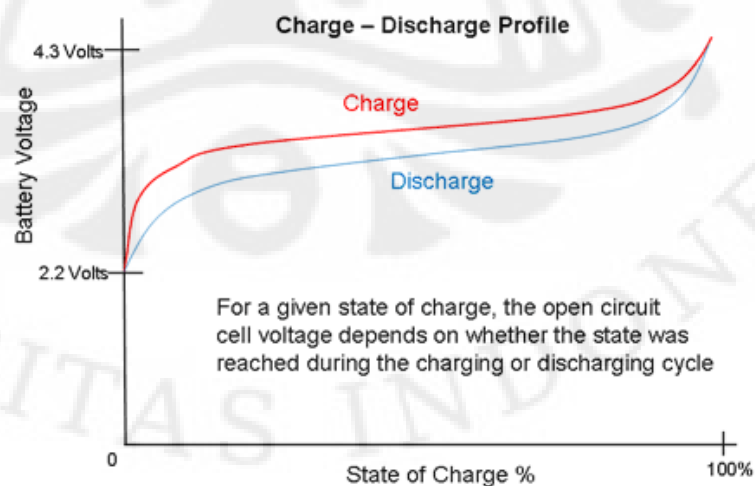
2.4.3. Proses *Charging*

Proses *charging* ialah pengosongan elektron pada katoda, elektron meninggalkan katoda dan menuju anoda memberikan muatan negatif. Energi yang dipompa ke dalam *cell*, mengubah bahan kimia aktif kembali ke keadaan awal.

Histeresis

Fenomena yang terjadi akibat pemompaan energi yang lebih cepat daripada reaksi bahan kimia yang dapat mengakibatkan *over charge* lokal serta time konstan, dapat meningkatkan histeresis pada baterai. Selama *charging*, reaksi bahan kimia tertinggal di belakang dari tegangan *charging*, saat sebuah beban diterapkan pada baterai untuk *discharging*, maka akan ada *delay* sebelum arus penuh dapat dikirimkan melalui beban.

Diagram pada Gambar 2.27 menunjukkan efek histeresis pada baterai Lithium.



Gambar 2.27 Profil histeresis pada proses *charge* dan *discharge* [6]

BAB III

PERANCANGAN PROTOTIPE SISTEM PENGENDALI PENGISIAN MUATAN BATERAI

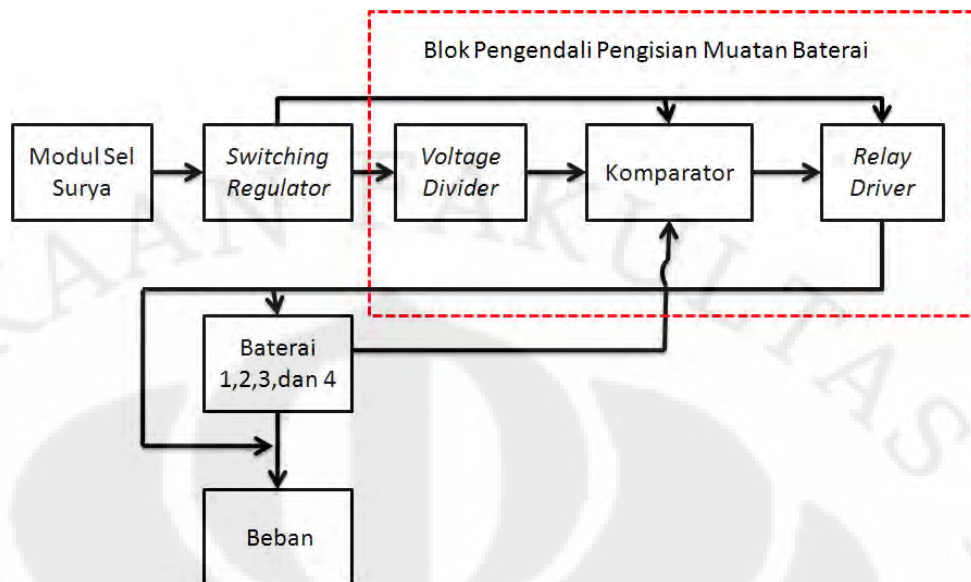
3.1. Spesifikasi Baterai

Perancangan sistem pada skripsi ini berdasarkan tegangan baterai yang digunakan, yaitu baterai *Valve Regulated Lead Acid* 6 volt Panasonic dan Kenmaster. Penulis mendesain sistem untuk satu *cluster*. Dalam satu *cluster* terdapat 4 (empat) buah baterai dan 1 (satu) buah panel surya. Keempat buah baterai ini dapat menjadi beban dan sumber. Baterai sebagai beban saat dalam keadaan *charging* (pengisian), sedangkan baterai sebagai sumber dalam keadaan *discharging* (pengosongan) untuk menyuplai beban.

Penulis mendapatkan data kelistrikan baterai yaitu 6 V, 4,5 Ah. Dari hasil pengukuran, baterai penuh pada tegangan $\pm 6,5$ volt. Penulis membuat kisaran $\pm 6,5$ volt karena spesifikasi tiap baterai berbeda-beda, tergantung dari merk, kualitas, dan kapasitas baterai. Dalam perancangan sistem, parameter tegangan penuh baterai dijadikan acuan sebagai pemilihan besar tegangan referensi.

3.2 Perancangan Sistem

Penulis membuat blok diagram sistem untuk membantu dalam perancangan dan pemahaman sistem. Blok diagram diberikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Blok diagram rancangan rangkaian sistem pengendali pengisian muatan satu *cluster* baterai

Berikut ini penjelasan mengenai blok diagram sistem pada Gambar 3.1 yang terbagi dalam 7 (tujuh) bagian penting, yaitu:

1. Sel surya
2. *Switching Regulator*
3. *Voltage Divider*
4. Komparator
5. *Relay Driver*
6. Baterai
7. Beban

Sistem pengisian muatan baterai ini mendapat suplai DC dari sel surya yang keluarannya dikonversi dan distabilkan oleh regulator. Keluaran dari regulator akan menyuplai rangkaian *voltage divider*, komparator, dan *relay driver*. Blok pengendali pengisian muatan baterai mengatur proses *charging* dan *discharging* baterai. Lampu LED merupakan indikator masing-masing baterai yang menginformasikan bahwa baterai berada dalam keadaan *charging* atau *discharging*. Beban yang digunakan dalam pengujian adalah kipas DC 6 volt, 3 watt, untuk membuat prototipe beban berupa BTS GSM dengan perbandingan daya beban kipas dan BTS GSM sebesar 1:1600.

3.2.1. Sel Surya

Agar memenuhi pengisian muatan baterai maka sumber sel surya harus menghasilkan tegangan minimal sebesar 6 V ditambah besarnya tegangan kerja dari alat regulator dan pengendali pengisian baterai. Sel surya yang digunakan sebagai referensi besar tegangan yang dihasilkan sumber mempunyai spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data kelistrikan modul sel surya Sharp Solar Module NE-080TIJ

Parameter Kelistrikan	Nilai*
Maximum Power (+ 10%/-5%) (Pmax)	80,0 W
Open Circuit Voltage (Voc)	21,6 V
Short Circuit Current (Isc)	5,15 A
Voltage at point of maximum power (Vmpp)	17,3 V
Current at point of maximum power (Impp)	4,63 A
Maximum system voltage	600 V
Over current protection	10 A

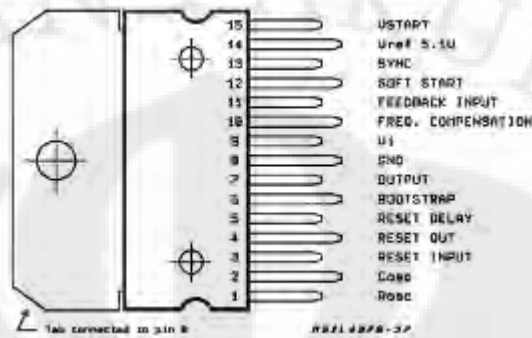
*Standard Test Condition (STC): level irradiansi 1000 W/m^2 , spektrum AM 1,5 dan temperatur sel surya 25°C .

Data dari modul sel surya Sharp Solar Module NE-080TIJ dipilih karena panel surya tersebut memenuhi besar tegangan minimum yang dibutuhkan untuk mengisi muatan pada baterai 6 V beserta tegangan kerja sistem. Jumlah modul yang digunakan sebanyak 1 buah.

3.2.2. Rangkaian *Switching Regulator*

Penulis memilih *switching regulator* jenis *buck regulator*, yang memiliki prinsip operasi untuk mengonversi tegangan DC menjadi tegangan DC dengan nilai potensial yang lebih rendah dan polaritas yang sama. Nilai tegangan keluaran yang dipilih sebesar 7,1 volt dan nilai

tegangan masukan maksimum dapat diset hingga mencapai 40 volt [7].
Gambar 3.2 berikut ini menunjukkan IC L4970 tampak dari atas.

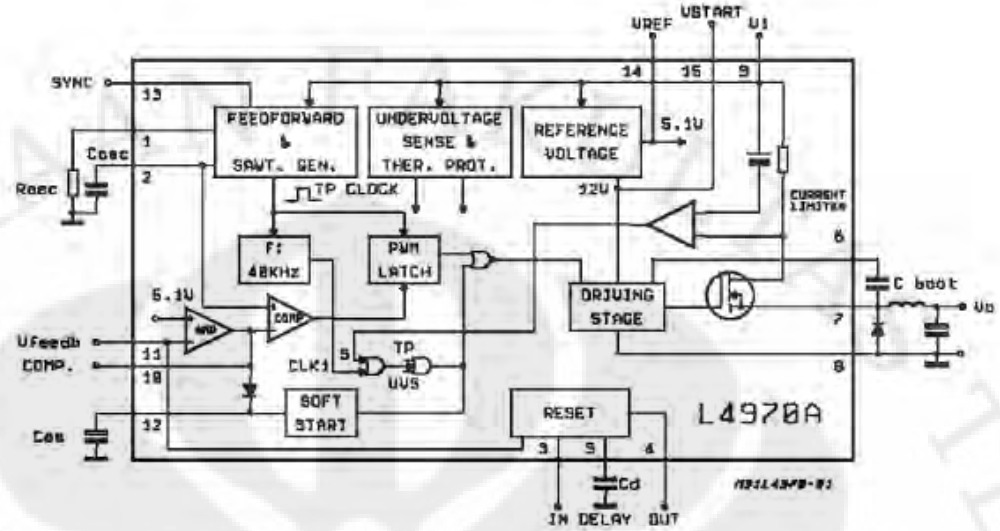


Gambar 3.2 Tampak atas L4970 [7]

Integrated circuit (IC) yang dipilih, yaitu L4970 dimana IC ini memiliki karakteristik [7]:

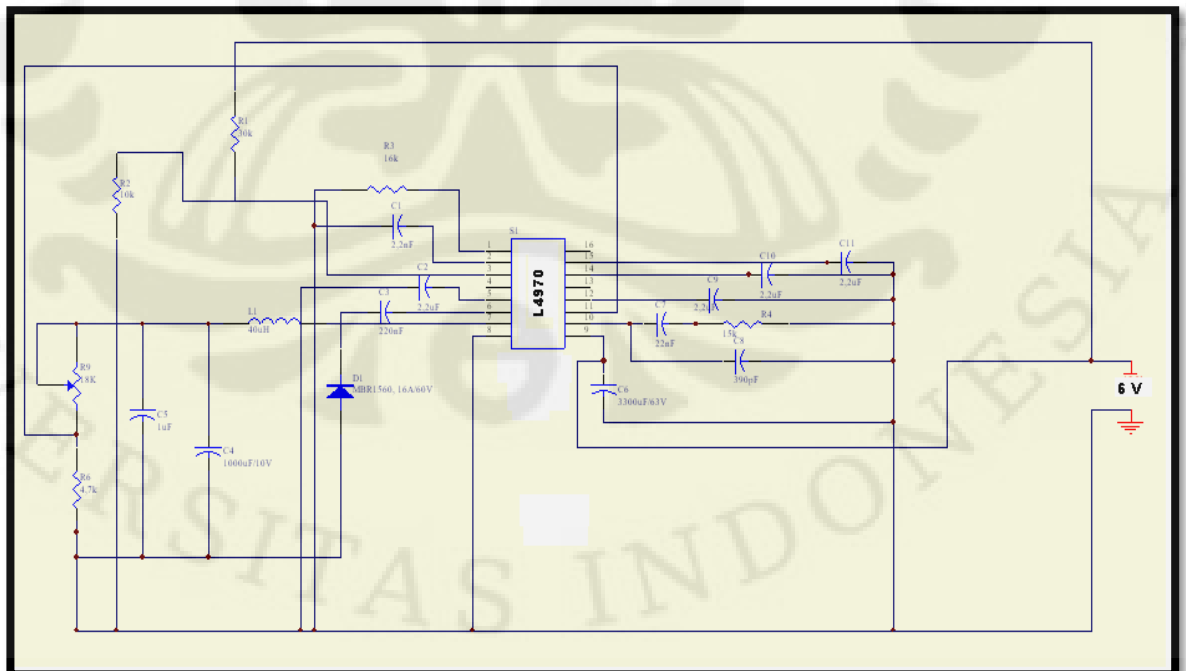
1. Arus listrik keluaran 10 A
2. Jangkauan tegangan keluaran 5,1 V hingga 40 V
3. Jangkauan *duty cycle* dari 0 hingga 90%
4. *Internal feed-forward line regulation*
5. Pembatas arus listrik internal
6. Presisinya $5,1V \pm 2\%$
7. Mempunyai fungsi reset dan kegagalan daya
8. *Soft start*
9. Terdapat pin masukan dan keluaran yang sinkron
10. PWM untuk pulsa tunggal per satuan waktu
11. Mempunyai efisiensi yang tinggi
12. Frekuensi *switching* hingga 500 KHz

Blok diagram dari IC L4970 dapat dilihat pada Gambar 3.3:



Gambar 3.3 Blok diagram L4970 [7]

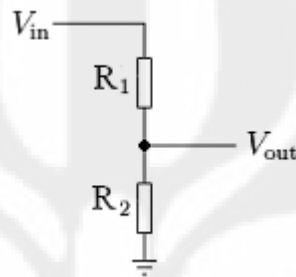
Pengaturan tegangan agar tegangan masukan sel surya ($V_{oc} = 21,6$ V dan $I_{sc} = 5,15$ A) menjadi tegangan keluaran ($V_{out} = 7,1$ V dan $I_{out} = 4$ A) maka L4970 mempunyai nilai $R_6 = 4,7$ k Ω [7], sedangkan R7 yang berupa potensiometer diset sebesar 1,49 k Ω . Gambar 3.4 menunjukkan rangkaian *switching regulator*.



Gambar 3.4 Rangkaian *switching regulator*

3.2.3. Rangkaian *Voltage Divider*

Rangkaian *voltage divider* berfungsi untuk menurunkan tegangan keluaran *switching regulator* (7,1 volt) menjadi tegangan referensi rangkaian komparator sebesar 6,45 volt dan 7 volt (perbedaan ini dirancang untuk keperluan pengujian). Nilai tegangan referensi tersebut akan dibandingkan dengan besar tegangan baterai oleh komparator. Gambar 3.5 memperlihatkan konfigurasi dari rangkaian *voltage divider*.

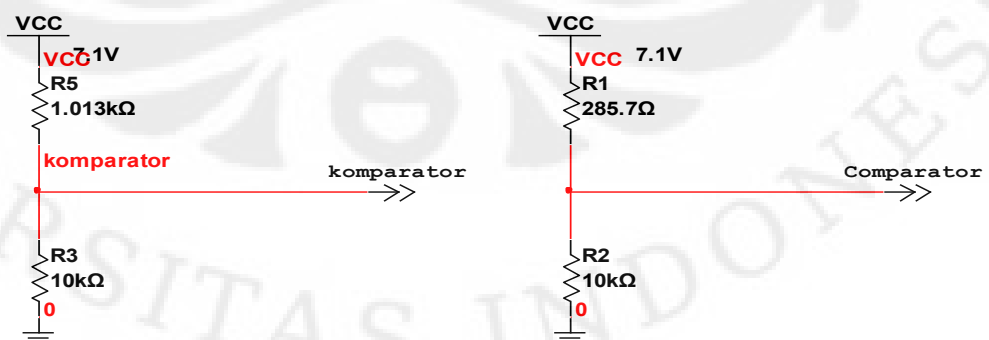


Gambar 3.5 Pembagi tegangan (*voltage divider*) [1]

Agar mendapatkan nilai tegangan referensi sebesar 7 volt dimana besar tegangan $V_{cc} = 7,1$ volt, dan $R_2 = 10\text{k}\Omega$, maka berdasarkan Persamaan (3.1) nilai R_1 masing-masing sebesar $1,013\text{ k}\Omega$ dan $285,7\ \Omega$ untuk hasil 6,45 volt dan 7 volt.

$$\frac{R_2}{R_2 + R_1} \times V_{cc} = V_{ref} \quad (3.1)$$

Rangkaian *voltage divider* yang menghasilkan tegangan referensi menuju komparator ditunjukkan pada Gambar 3.6.

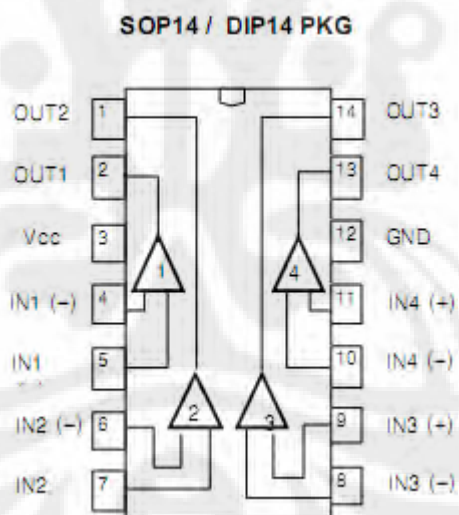


Gambar 3.6 Rangkaian *voltage divider*

3.2.4. Rangkaian Komparator

Rangkaian komparator memiliki fungsi untuk membandingkan tegangan referensi pada masukan *inverting* sebesar 7 volt (6,45 volt untuk pengujian yang berbeda) dengan tegangan baterai pada masukan *non-inverting*. Keluaran dari komparator berupa *output* digital, yang dapat memberikan masukan *high* (aktif) atau *low* (non aktif) untuk rangkaian selanjutnya (*relay driver*). Keadaan *high* atau *low* didefinisikan pada masukan Op-Amp, yaitu input *inverting* atau *non-inverting*.

Penulis menggunakan *Quad Voltage Comparator*, LM339N, yaitu IC komparator yang terdiri dari 4 (empat) komparator yang masing-masing dapat bekerja secara independen. Penggunaan dari IC LM339N bertujuan untuk memanfaatkan komparator-komparator independen tersebut dalam membandingkan 4 (empat) buah baterai yang digunakan. Gambar 3.7 menunjukkan tampak atas LM339N.



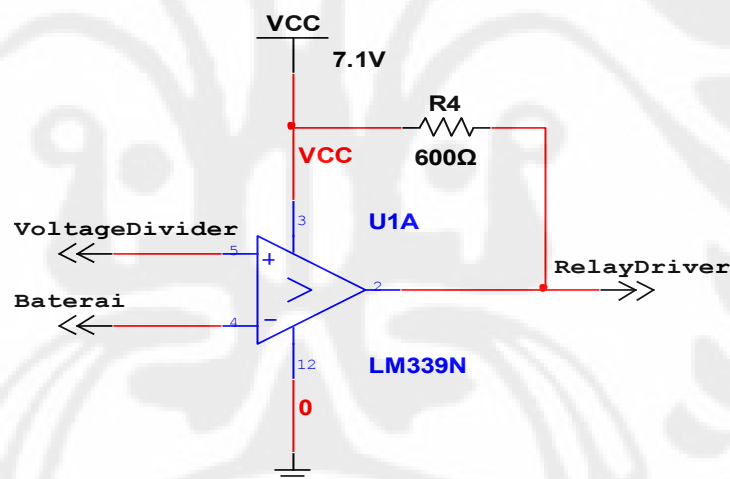
Gambar 3.7 Tampak atas LM339N [8]

Sedangkan cara kerja dari rangkaian komparator ini:

- Jika tegangan masukan Op-Amp V^- (tegangan baterai) > 7 volt (6,45 volt) maka tegangan baterai masih bermuatan penuh (tidak perlu diberi muatan), sehingga keluaran komparator *low*.

- Jika tegangan masukan Op-Amp V^- (tegangan baterai) < 7 volt (6,45 volt) maka tegangan baterai perlu diberi muatan (*charging*), sehingga keluaran komparator *high*.

Gambar 3.8 memperlihatkan salah satu komparator independen pada LM339N. Kinerja komparator dapat terganggu dari efek *Input Offset Voltage*, yang besarnya berkisar hanya beberapa milivolt dan pada sebagian besar rangkaian efek ini dapat diabaikan. Masalah yang diakibatkan efek *Input Offset Voltage* pada komparator secara normal terjadi akibat perubahan tegangan masukan komparator yang berubah secara lambat, sehingga keluaran komparator tidak dapat secara penuh dalam kondisi *on* atau *off* saat tegangan masukan mendekati tegangan referensi. Nilai resistor R4 dibuat tinggi untuk membantu menghilangkan masalah ini. R4 berupa potensiometer dengan besar hambatan 600Ω .

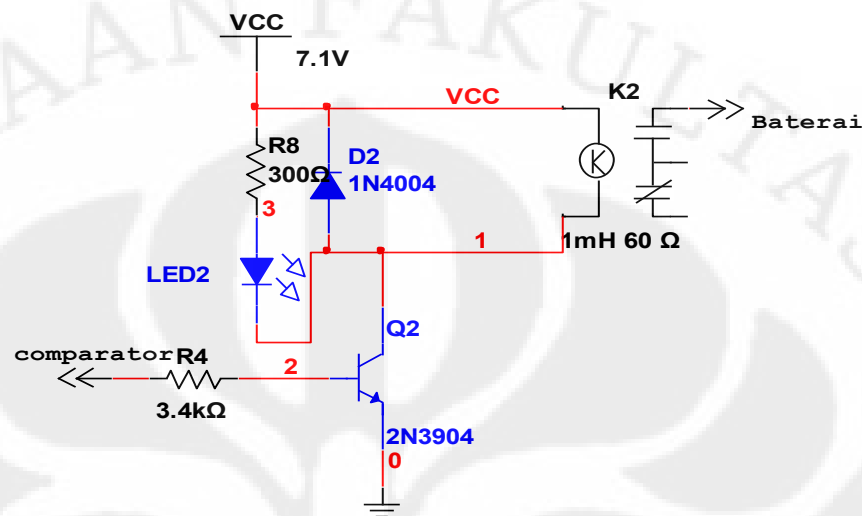


Gambar 3.8 Rangkaian komparator independen pada LM339N

3.2.5. Rangkaian *Relay Driver*

Rangkaian *relay driver* berfungsi sebagai pensaklaran pemberian muatan ke baterai. Rangkaian ini menggunakan relai dengan rangkaian *driver* berupa resistor dan BJT NPN, yaitu 2N3904. Relai yang digunakan relai SPDT (*Single Pole Double Throw*). *Relay driver* ini mendapatkan masukan dari keluaran komparator, maka sesuai dengan banyaknya

komparator pada LM339N, dibutuhkan 4 (empat) buah rangkaian *relay driver*. Gambar 3.9 menunjukkan rangkaian *relay driver* pada salah satu baterai.



Gambar 3.9 Rangkaian *relay driver* masing-masing baterai

Cara kerja masing-masing rangkaian *relay driver* adalah sebagai berikut:

Rangkaian *relay driver* mendapatkan masukan dari keluaran komparator. Keadaan awal dari relai SPDT yaitu dalam keadaan *Normally Open* (NO), dimana baterai tidak dalam posisi *charging*. Relai akan menghubungkan kontak pada saat relai aktif (saklar dalam posisi tertutup) sehingga baterai dalam posisi *charging*. *Relay driver* dipicu oleh tegangan keluaran digital dari salah satu komparator independen (*high* atau *low*). Tegangan tersebut menggerakkan transistor yang berguna sebagai saklar transistor, yaitu 2N3904. Sinyal kontrol yang berasal dari komparator mengkondisikan transistor pada kondisi saturasi atau pada kondisi *cutoff*-nya. Bila sinyal kontrol bernilai tinggi (1) maka nilai $V_{BE} > 0,95$ volt [9], sehingga transistor saturasi. Resistor R3 yang berupa potensiometer diset senilai 3,4 k Ω berfungsi untuk membatasi arus yang mengalir pada basis transistor yaitu sebesar 5 mA [9], yang disesuaikan dengan V_{BE} saturasi. Pada kondisi sebaliknya maka transistor *cutoff* sehingga relai berada pada kondisi normalnya.

Saat keluaran komparator memberikan masukan *high*, akan ada arus yang melewati kawat kumparan pada relai. Sehingga timbul medan magnet yang akan menarik saklar dari posisi NC ke posisi NO.

Dioda dipasang paralel dengan terminal kumparan relai dengan arah arus menuju V_{cc} . Hal ini dilakukan untuk melindungi relai dari kerusakan dari adanya tegangan (GGL) balik yang tergenerasi pada kumparan relai saat 2N3904 tidak aktif.

Pada Gambar 3.9, terdapat pula LED yang juga terpasang paralel terhadap kumparan relai. LED ini dijadikan indikator untuk memperlihatkan bahwa baterai dalam kondisi *charging* atau *discharging*. LED dipasang terbalik dengan dioda, saat 2N3904 saturasi arus yang melewati kumparan relai akan menyalakan LED yang menginformasikan bahwa baterai tersebut sedang *charging*.

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1. Pengujian

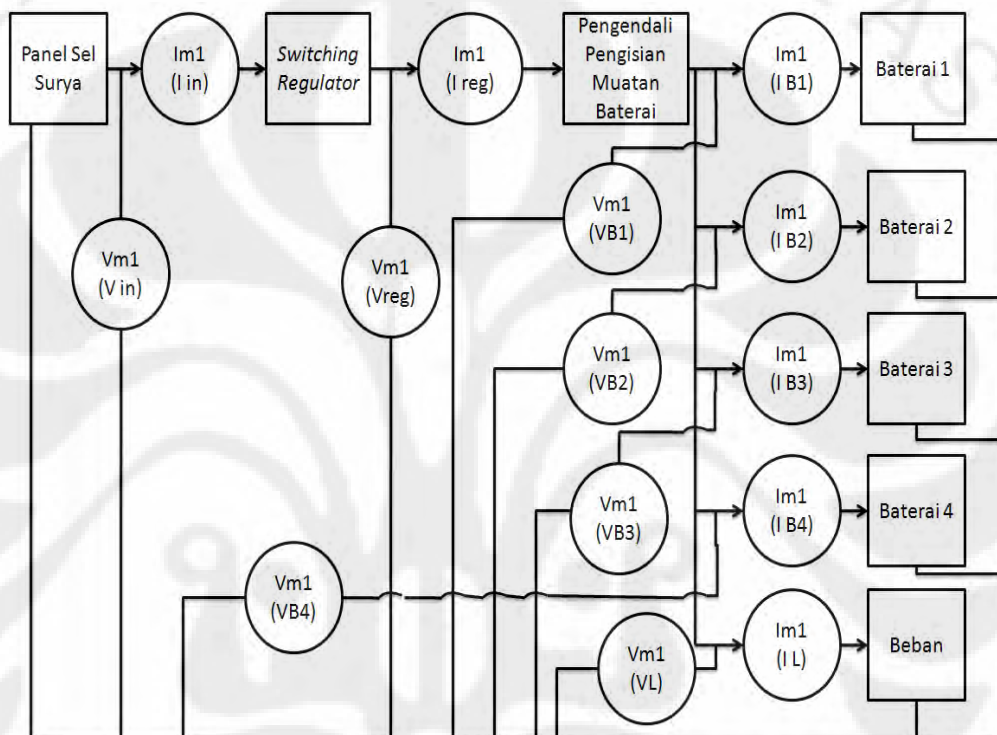
Perancangan prototipe sistem pengendali pengisian (*charge controller*) empat buah baterai dengan catu daya panel surya direalisasikan ke dalam PCB (*printed circuit board*) yang kemudian dilakukan pengujian di Lapangan Bulu Tangkis Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. Dalam pengujian rancangan, digunakan beberapa alat sebagai berikut:

1. Satu buah panel surya Sharp Solar Module NE-080TIJ
2. Dua buah multimeter
 - a. Digital multimeter (Kyoritsu *New Mate Model 2001*) yang digunakan untuk mengukur tegangan keluaran sel surya, tegangan keluaran *switching regulator*, tegangan masing-masing baterai, dan tegangan beban.
 - b. Digital multimeter (Kyoritsu *New Mate Model 2001*) yang digunakan untuk mengukur arus keluaran sel surya, arus keluaran *switching regulator*, arus masing-masing baterai, dan arus beban.
3. Rangkaian *switching regulator*
4. Rangkaian pengendali pengisian muatan empat buah baterai
5. Empat buah baterai 6 V, 4,5 Ah (tiga buah baterai Panasonic dan satu buah baterai Kenmaster)
6. Dua buah kipas DC 6 V, 3 W.

Untuk membantu pengujian sistem, Gambar 4.1 mendeskripsikan blok diagram pengujian sistem. Pengujian dilakukan selama satu jam dengan pengambilan data tiap 1 menit, dan dilakukan dalam dua keadaan:

1. Tanpa beban
 - Uji coba 1 dilakukan dalam keadaan awal setiap baterai kosong (telah dilakukan proses *discharging* sebelumnya) dan tegangan referensi 7 V.

- Uji coba 3 dilakukan dalam keadaan awal baterai 1 dan 3 penuh, baterai 2 dan 4 kosong, serta dengan tegangan referensi 7 V.
 - Uji coba 4 dilakukan dalam keadaan awal baterai 1 dan 3 penuh, baterai 2 dan 4 kosong, serta dengan tegangan referensi 6,4 V.
2. Berbeban dilakukan dalam keadaan awal setiap baterai kosong dengan tegangan referensi 7 V.



Gambar 4.1 Blok diagram pengujian sistem

Hasil uji coba yang dilakukan dimasukkan ke dalam Lampiran 1, yang terdapat pada Tabel 1, Tabel 3, dan Tabel 4, yang berisikan data pengukuran beserta pengolahannya untuk keadaan 1, keadaan 3, dan keadaan 4, yang masing-masing tabel menunjukkan data-data pengukuran tegangan dan arus keluaran sel surya, tegangan dan arus keluaran *switching regulator*, serta tegangan dan arus masing-masing baterai. Tabel 3 pada Lampiran 1 berisikan data pengukuran beserta pengolahannya untuk keadaan 2 yang menunjukkan data-data pengukuran tegangan dan arus keluaran sel surya, tegangan dan arus keluaran *switching regulator*, tegangan dan arus masing-masing baterai, serta tegangan dan arus beban (kipas).

4.2. Analisis

4.2.1. Analisis Perancangan Prototipe Sistem Pengendali Pengisian Muatan Baterai dengan Tenaga Surya Sebagai Catu Daya BTS

Pada perancangan sistem skripsi untuk membuat prototipe beban BTS, penulis menggunakan baterai dengan spesifikasi 6 V, 4,5 Ah dan beban kipas 6 V, 3 W. Pada keadaan berbeban, baterai dapat berperan sebagai beban dan sumber. Saat sel surya tidak optimal, maka baterai berperan untuk menyuplai beban kipas. Pada malam hari atau saat sel surya tidak bekerja optimal, di mana sel surya tidak mencukupi dalam menyuplai beban, maka baterai akan menyuplai penuh kebutuhan daya beban kipas.

Energi yang tersimpan pada setiap baterai dapat berbeda-beda, hal ini tergantung pada *Depth of Discharge* (DOD) masing-masing baterai. % DOD ialah persentase kedalaman proses *discharge* suatu baterai. Penulis telah melakukan pengukuran % DOD masing-masing baterai selama 1 jam dengan periode pengukuran 1 menit dengan beban kipas 6 V 3 W, yang hasil pengukurannya ditampilkan pada Tabel 5 Lampiran 1, di mana energi yang tersimpan pada masing-masing baterai berdasarkan data kelistrikannya tanpa proses *discharge*:

$$\begin{aligned} \text{Energi} &= V \times \text{Ah} & (4.1) \\ &= 6 \text{ V} \times 4,5 \text{ Ah} \\ &= 27 \text{ Wh} \end{aligned}$$

di mana:

- V = tegangan baterai (volt)
- Ah = besarnya arus yang dapat dipasok dalam satuan waktu (Ah)

% DOD didapatkan dari jumlah daya rata-rata masing-masing baterai selama proses *discharge* dibagi energi yang tersimpan pada baterai tanpa proses *discharge* (27 Wh), sebesar 9,063148 %, 8,688457 %, 8,654753 %, dan 7,62 % untuk baterai 1, 2, 3, dan 4. Dengan demikian persamaan untuk energi yang tersimpan pada masing-masing baterai:

$$\text{Energi} = V \times \text{Ah} \times (100\% - \% \text{DOD}) \quad (4.2)$$

Berdasarkan Persamaan (4.2), energi yang tersimpan sebesar, 24,55295 Wh, 24,65412 Wh, 24,66322 Wh, dan 24,9426 Wh. Energi total yang tersimpan dari keempat baterai sebesar 98,81288 Wh.

Dengan demikian lamanya satu *cluster* (empat baterai) dalam menyuplai beban pada keadaan panel surya tidak optimal ialah selama:

$$t = \text{Energi} / P_L \quad (4.3)$$

$$98,81288 \text{ Wh} / 3\text{W} = 32,93763 \text{ jam}$$

di mana P_L adalah daya beban.

Pada perancangan prototipe sistem ini, digunakan perbandingan 1:1600 antara daya beban uji (kipas) dan daya beban BTS. Beban BTS membutuhkan suplai daya DC sebesar 4800 watt, dengan nilai tegangan sebesar 48 volt dan arus 100 ampere. Sistem ini dapat diaplikasikan pada beban BTS dengan mengganti baterai dengan kapasitas dan Ah yang lebih besar karena tegangan keluaran pada *switching regulator* dapat diatur hingga mencapai 40 V. Pada aplikasinya baterai 12 volt dengan Ah yang besar banyak digunakan pada *hybrid power system*. Penulis memakai baterai GS Premier 12 V 60 Ah dalam perhitungan ini. Baterai ini dapat digunakan dalam mem-*back up* beban BTS. Banyaknya *cluster* yang dibutuhkan untuk beban BTS, di mana panel surya dipasang seri, didapatkan dari Persamaan (4.3):

$$N = V_{\text{beban}} / V_{\text{baterai}} \quad (4.4)$$

di mana:

- N = jumlah *cluster* dalam sistem
- V_{beban} = tegangan yang dibutuhkan beban (volt)

V_{baterai} = tegangan yang disuplai baterai (volt).

$$48 \text{ V} / 12 \text{ V} = 4 \text{ buah } \textit{cluster}$$

Keempat panel surya masing-masing *cluster* dipasang seri untuk menghasilkan tegangan masukan regulator sebesar 48 volt.

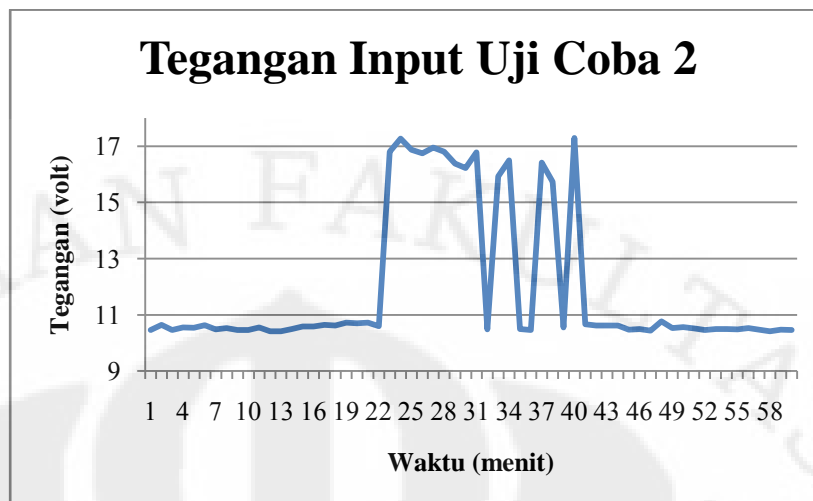
Seperti pada prototipenya dengan beban kipas, % DOD dari masing-masing baterai harus diketahui, untuk mendapatkan waktu baterai dapat menyuplai beban BTS.

Waktu baterai menyuplai beban BTS selama dapat digunakan oleh sistem daya BTS untuk mempersiapkan suplai selain sel surya seperti genset atau PLN.

4.2.2. Analisis Panel Surya pada Uji Coba

Tabel 3.1 menunjukkan bahwa V_{oc} dari panel surya Sharp Solar Module NE-080TIJ sebesar 21,6 V namun dalam pengukurannya nilai tegangan (V_{oc}) keluaran panel surya tanpa beban sebesar 17,46 volt. Hal ini dimungkinkan karena kondisi irradiansi matahari yang tidak maksimal dan temperatur di bawah *Standard Test Condition* (STC) karena saat pengambilan data cuaca agak mendung. V_{oc} sebesar 21,6 volt dilakukan pada STC, yaitu pada level irradiansi 1000 W/m^2 , *spectrum* AM 1,5, dan temperatur sel surya 25°C . Nilai tegangan pada sel surya akan berubah-ubah sesuai dengan kondisi cahaya matahari yang ditangkap panel.

Berdasarkan pengolahan data pada Lampiran 1, pada saat panel dihubungkan dengan beban terlihat penurunan tegangan rata-rata menjadi 18,284 volt pada uji coba 1 (Tabel 1), 11,9605 volt pada uji coba 2 (Tabel 2), 17,94867 volt pada uji coba 3 (Tabel 3), dan 17,835 volt pada uji coba 4 (Tabel 4). Hal ini dikarenakan adanya tegangan jatuh pada rangkaian hambatan dari panel surya.



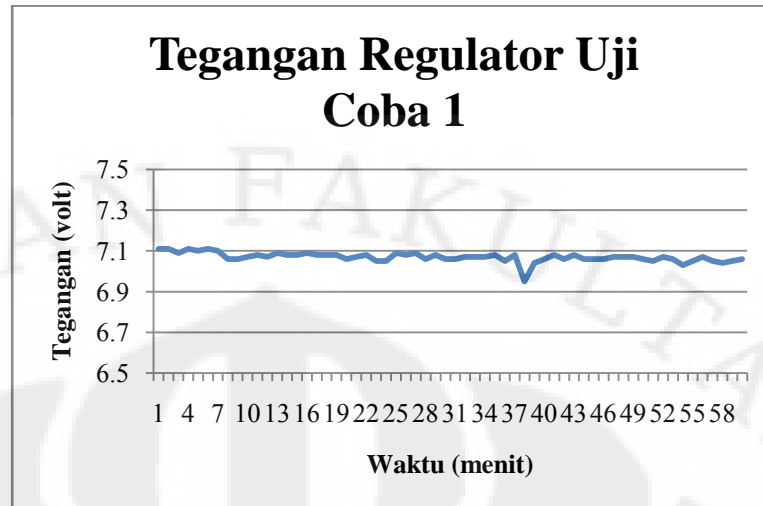
Gambar 4.2 Grafik hasil pengukuran tegangan panel surya uji coba 2

Gambar 4.2 memperlihatkan uji coba dilakukan pada kondisi mendung. Tegangan panel surya di saat kondisi mendung mengalami *drop* hingga 10 volt akibat dari kerja panel surya untuk menyuplai beban dan mengisi muatan baterai. Pada tegangan panel surya di kisaran 10 volt, panel surya tidak mampu untuk menunjang baterai dan beban kipas, sehingga beban kipas ditunjang oleh baterai. Berbeda dengan saat irradiansi matahari mulai tinggi, panel surya kembali memberikan tegangan di kisaran 17 volt hingga mampu menyuplai beban dan baterai.

4.2.3. Analisis *Switching Regulator* pada Uji Coba

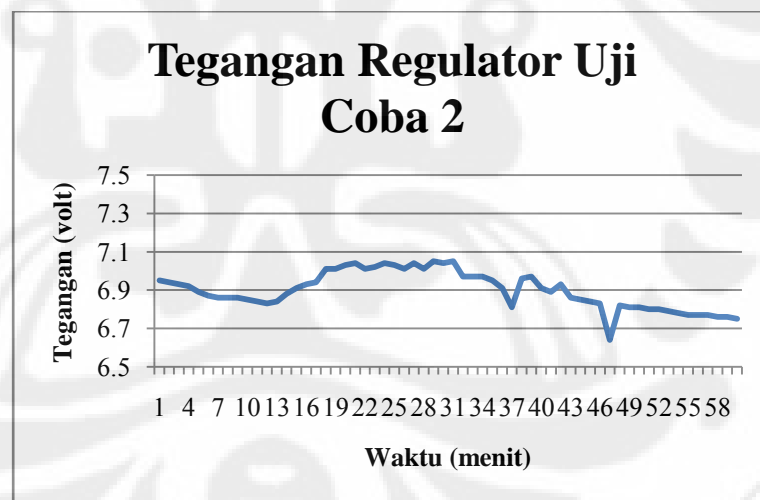
Rangkaian *switching regulator* yang digunakan pada uji coba ini adalah rangkaian yang menggunakan IC L4970. Pada *datasheet* L4970 telah tersedia rangkaian yang dapat digunakan, dengan menyesuaikan pemilihan dan nilai komponen di dalamnya, untuk mendapatkan keluaran yang diinginkan. Rangkaian ini mengatur keluarannya dengan sebuah potensiometer yang diset sebesar 1,49 k Ω . Pada perancangan sistem, tegangan yang dibutuhkan sekitar 6-7 volt.

Dari data yang didapatkan, tegangan *output switching regulator* cukup stabil. Hal ini ditunjukkan oleh grafik hasil pengukuran pada Gambar 4.3.



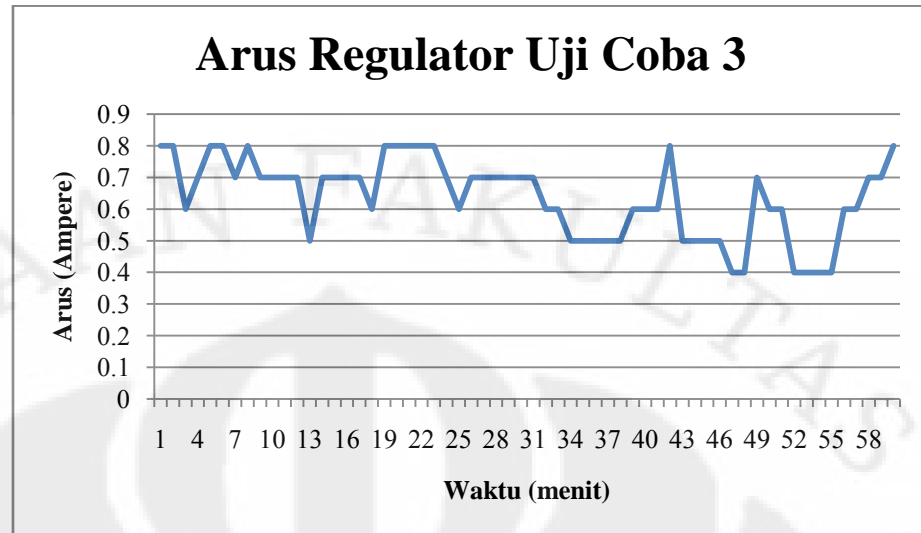
Gambar 4.3 Grafik hasil pengukuran tegangan regulator uji coba 1

Berdasarkan Gambar 4.3 , tegangan regulator uji coba 1 cukup stabil 6,9 - 7,1 volt begitupun pada uji coba 3 (Lampiran 1 Tabel 3). Tegangan regulator uji coba 2 terlihat pada Gambar 4.4 tidak terlalu stabil, hal ini dikarenakan cuaca saat pengambilan data sangat mendung dan sistem dalam keadaan berbeban.



Gambar 4.4 Grafik hasil pengukuran tegangan regulator uji coba 2

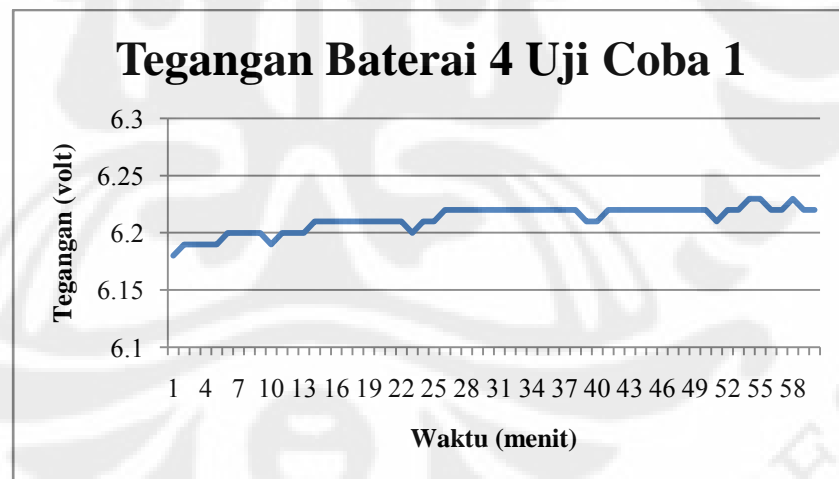
Pada uji coba tanpa beban (1, 3, dan 4) arus keluaran *switching regulator* cukup stabil, seperti yang diperlihatkan Gambar 4.5. Fluktuasi besar arus dipengaruhi oleh arus masukan panel surya karena regulator berperan untuk menstabilkan tegangan.



Gambar 4.5 Grafik hasil pengukuran arus regulator uji coba 3

4.2.4. Analisis Baterai

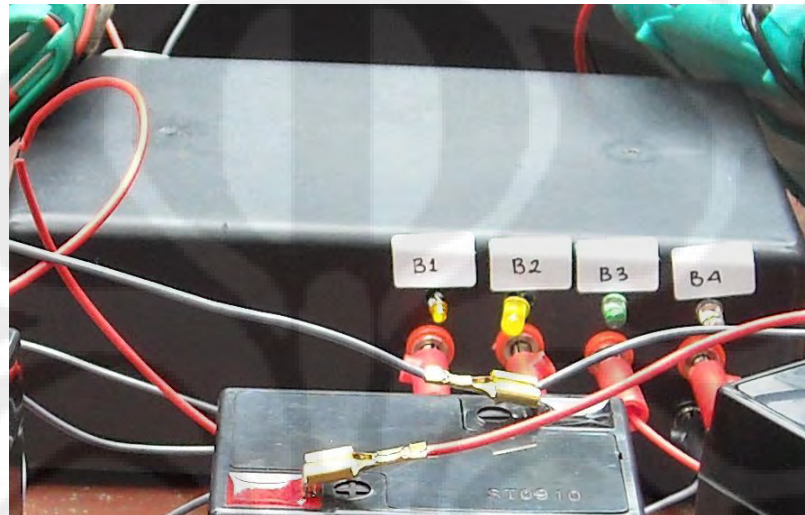
Uji coba tanpa beban (1, 3, dan 4) memperlihatkan proses pengisian muatan baterai untuk baterai yang kosong dan baterai penuh, seperti yang ditunjukkan pada Lampiran 1 Tabel 1, 3, dan 4.



Gambar 4.6 Grafik hasil pengukuran tegangan baterai 4 uji coba 1

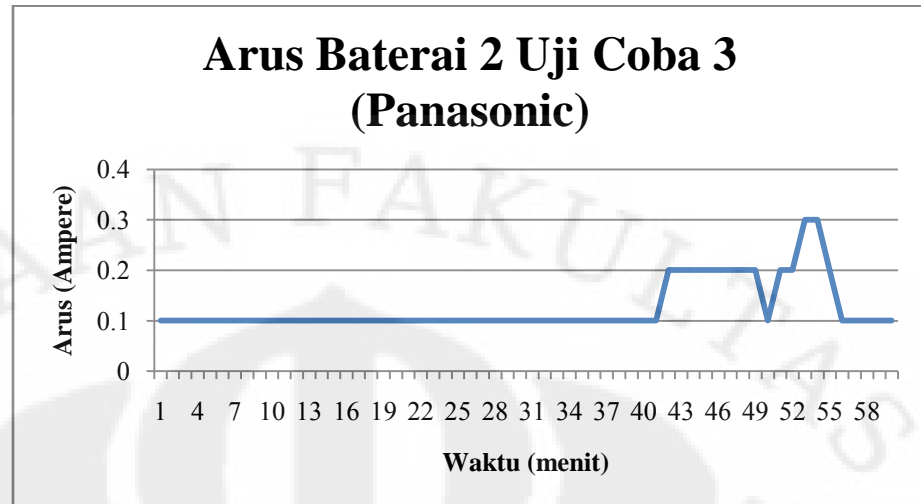
Selama satu jam pengukuran tegangan baterai relatif stabil, namun dibandingkan keadaan awal saat baterai kosong (lihat Lampiran 1), terjadi peningkatan tegangan. Keadaan awal baterai 4 uji coba 1 sebesar 5,96 volt, sedangkan pada akhir pengukuran sebesar 6,22. Gambar 4.6 memperlihatkan peningkatan tegangan dari baterai 4. Tiap baterai membutuhkan waktu lebih

lama (lebih dari satu jam) untuk pengisian muatan hingga penuh. Hasil yang sama pun terjadi pada baterai lainnya pada uji coba tanpa beban dan berbeban (pada saat irradiansi matahari tinggi). Proses pengisian muatan ditunjukkan dengan menyalnya LED tiap baterai, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. Dengan demikian sistem ini berfungsi baik dalam proses *charging* demikian pula indikator tiap baterai.

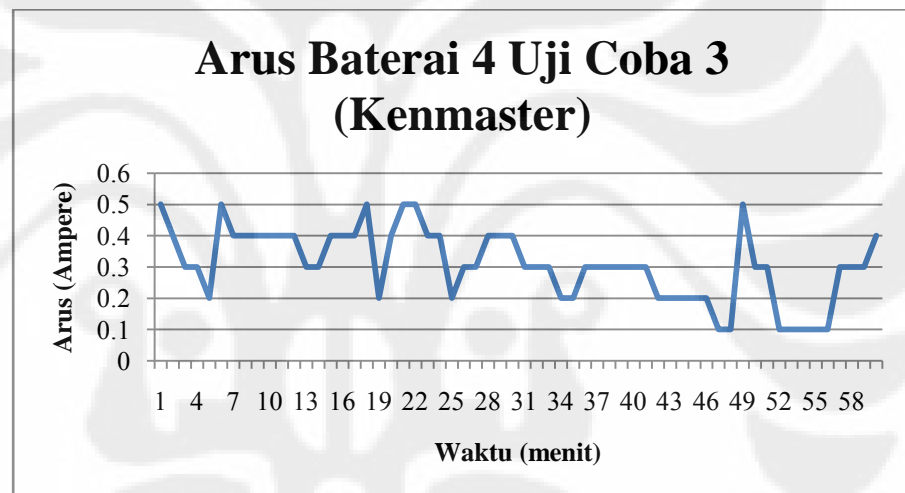


Gambar 4.7 Keadaan LED yang menyala menunjukkan keadaan *charging*

Setiap baterai mempunyai data kelistrikan yang berbeda-beda, hal ini dapat dipengaruhi merk, kualitas, kapasitas, dan umur baterai. Data kelistrikan berupa tegangan saat baterai kosong/penuh, lamanya pengisian, konsumsi arus, dan lain-lain. Gambar 4.8 memperlihatkan perbedaan konsumsi arus baterai Panasonic (baterai 3) dan Kenmaster (baterai 4) yang digunakan pada uji coba 3.



(a)

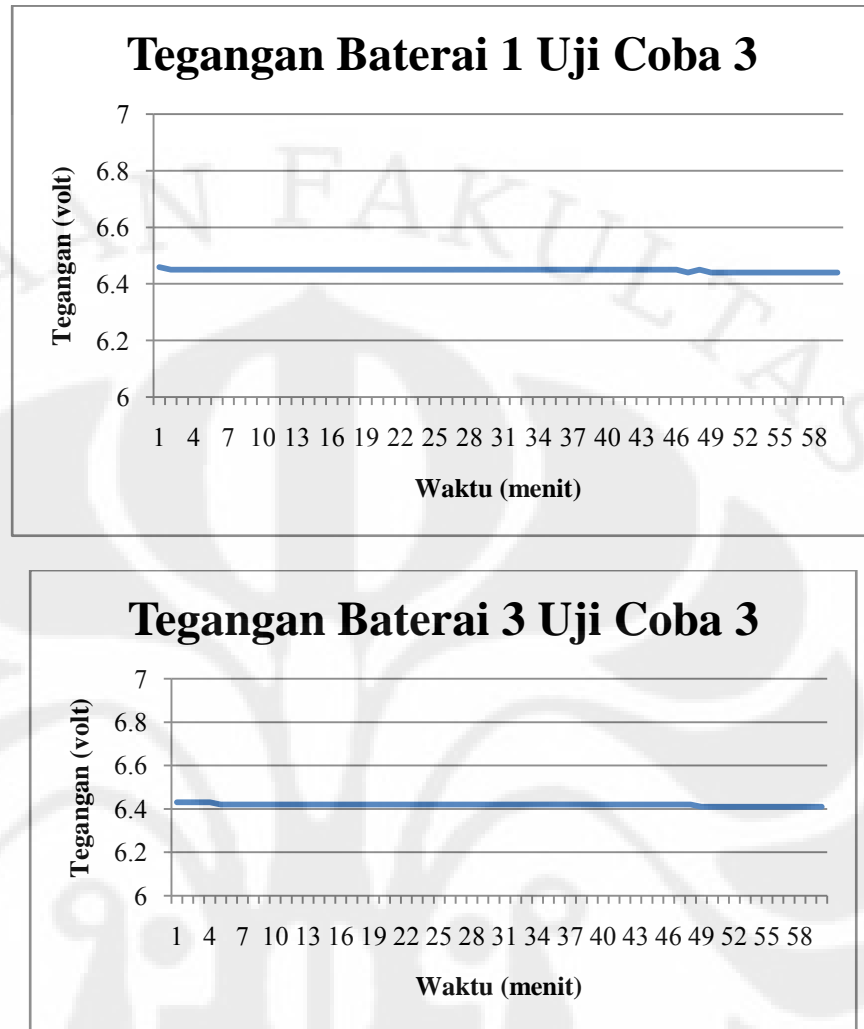


(b)

Gambar 4.8 Perbedaan arus pengisian baterai Panasonic (a) dan Kenmaster (b)

Berdasarkan Gambar 4.8, arus baterai Kenmaster lebih besar dibandingkan baterai Panasonic, sehingga waktu pengisian dari baterai Kenmaster akan lebih cepat.

Pada uji coba 3, baterai 1 dan 3 dalam keadaan penuh, namun LED tiap baterai tetap menyala (Lampiran 1 Tabel 3). Gambar 4.9 menunjukkan baterai 1 dan 3 tidak mengalami peningkatan tegangan (stabil).



Gambar 4.9 Grafik hasil pengukuran tegangan baterai 1 dan 3 uji coba 3 (dalam kondisi penuh)

LED yang tetap menyala disebabkan tegangan referensi yang terlalu tinggi, yaitu 7 volt, padahal tegangan penuh baterai 1 dan 3 di kisaran 6,4 volt.

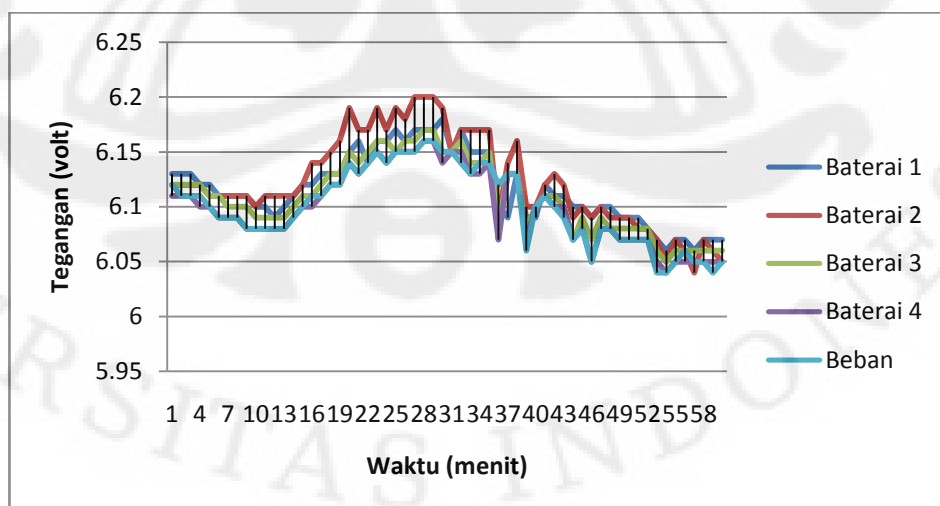
Pada uji coba 4, tegangan referensi dibuat sebesar 6,4 volt dengan keadaan awal baterai 1 dan 3 penuh (6,42 volt dan 6,40 volt). Hasil yang berbeda didapatkan jika dibandingkan dengan uji coba 3. LED baterai 1 dan 3, masing-masing dalam keadaan mati (Lampiran 1 Tabel 4), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Keadaan LED baterai 1 dan 3 mati

Pada saat pengambilan data, beberapa kali terdengar bunyi saklar *relay*, hal ini disebabkan ada saat tegangan baterai jatuh dan lebih kecil daripada nilai referensi. Keadaan tersebut tidak mengganggu sistem karena LED tetap menyala saat bunyi *relay* terjadi. Dengan demikian sistem pengendali muatan baterai ini dapat melindungi baterai dari *overcharging*.

Uji coba berbeban dilakukan dengan memparalelkan baterai 1, 2, 3, dan 4 serta beban, seperti yang diperlihatkan blok diagram pengujian pada Gambar 4.1. Oleh karena itu, tegangan masing-masing baterai dan beban akan saling menyesuaikan, walaupun dalam keadaan awal yang berbeda-beda. Gambar 4.11 menunjukkan penyesuaian tegangan masing-masing baterai dan beban (kipas).



Gambar 4.11 Penyesuaian tegangan tiap baterai uji coba 2

Pada kondisi panel surya mengisi muatan pada baterai dan menyuplai beban dalam sambungan paralel, maka persamaan arusnya menjadi:

$$I_{reg} = I_{B1} + I_{B2} + I_{B3} + I_{B4} + I_L \quad (4.4)$$

di mana:

- I_{reg} = arus keluaran regulator
- $I_{B1} \dots I_{B4}$ = arus baterai 1 sampai 4
- I_L = arus beban.

Contoh perhitungan pada data ke-20, Lampiran 1 Tabel 2 berdasarkan Persamaan (4.4):

$$0,1 \text{ A} + 0,1 \text{ A} + 0,1 \text{ A} + 0,1 \text{ A} + 0,1 \text{ A} + 0,5 \text{ A} = 1 \text{ A}$$

Data pengukuran sesuai dengan perhitungan, namun karena irradiansi matahari yang berubah-ubah pada uji coba 2, maka kondisi baterai tidak selalu *charging*. Gambar 4.9 memperlihatkan tiap baterai mengalami pelepasan dan pengisian muatan. Pada kondisi irradiansi matahari tidak mencukupi, maka beban akan langsung mendapatkan suplai dari baterai, karena *relay* akan memutuskan hubungan beban dengan panel surya.

BAB V

KESIMPULAN

Penulis membuat kesimpulan dari skripsi ini sebagai berikut:

1. Perbandingan antara daya beban perancangan prototipe sistem pengendali pengisian muatan baterai dengan beban *Base Transceiver Station* (BTS) GSM sebesar 1: 1600.
2. Berdasarkan uji coba, prototipe sistem pengendali pengisian muatan baterai bekerja saat *charging* dan *discharging*.
3. Sistem dapat melindungi baterai dari keadaan *overcharging*
4. Pada keadaan berbeban, saat irradiansi matahari tinggi, panel surya dapat mengisi muatan baterai dan menyuplai beban, sedangkan saat irradiansi matahari rendah, baterai berperan sebagai sumber menggantikan panel surya.
5. Waktu baterai *Valve-Regulated Lead Acid* 6 volt, 4,5 Ah sanggup menggantikan panel surya menyuplai beban kipas 6 volt 3 watt selama 32,93763 jam, di mana baterai dalam kondisi penuh.
6. Setiap baterai mempunyai data kelistrikan yang berbeda-beda tergantung pada merek, kapasitas, kualitas, dan umur baterai.

DAFTAR ACUAN

- [1] Yulinda, Fitria. (2009, Agustus). *Rancang Bangun Simulasi Sistem Hybrid Tenaga Surya dan Tenaga Angin Sebagai Catu Daya Base Tranceiver Station (BTS)*. Tugas akhir Departemen Teknik Elektro.
- [2] Castro, Antonio. (2009, Juni). *Introduction to Solar Technologies*. Instructor of Physics & Engineering,
- [3] Honsberg, Christiana,. & Bowden, Stuart. *Photovoltaic: Devices, Systems, and Application PVCDROM 1.0*.
- [4] Chapin, D.M., Fuller, C.S. and Pearson, G.L. "A new p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power", *Journal of applied Physics*. 25, 1954: 676-677, <http://www.soton.ac.uk/~solar/intro/tech0.htm> (24 September 1997)
- [5] Insan, Muhammad. (2009, Agustus). *Implementasi Switching Regulator untuk Komputer Bergerak Dengan Menggunakan Tenaga Surya*. Tugas akhir Departemen Teknik Elektro.
- [6] <http://www.mpoweruk.com>
- [7] STMicroelectronics, L4970, 10A switching regulator. <http://alldatasheet.com/>.
- [8] National Semiconductor. LM339N. <http://alldatasheet.com/>
- [9] Discrete POWER & Signal Technologies. 2N3904. <http://www.datasheetcatalog.com>.

DAFTAR PUSTAKA

1. Boylestad, Robert. L., & Nashelsky, Louis. (2006). *Electronic Devices and Circuit Theory*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
2. Electus Distribution (2001). *Relay Driving Basics*.
<http://www.electusdistribution.com.au>.
3. Comparator Circuit. <http://web.engr.oregonstate.edu>.
4. Taylor, Roger. *Hybrid Power System*.
<http://www.scribd.com/doc/37810471/Hybrid-Power-Systems>.

LAMPIRAN 1

PENGOLAHAN DATA PENGUKURAN UJI COBA I

Tempat : Lapangan Bulu Tangkis, Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia
Hari/tanggal : Selasa / 8 juni 2010
Waktu : 10.00 – 11.00
Keadaan : Sistem tanpa beban (kipas) / pengisian baterai
Keadaan awal : $V_{B1}(V) = 6,28$ (kosong); $V_{B2}(V) = 6,16$ (kosong);
 $V_{B3}(V) = 6,22$ (kosong); dan $V_{B4}(V) = 5,96$ (kosong)
Perioda pengukuran : 1 menit
Keterangan : V_{in} = tegangan panel sel surya I_{in} = arus panel sel surya
 V_{reg} = tegangan regulator I_{reg} = tegangan regulator
 $V_{B1} \dots V_{B4}$ = tegangan baterai 1 sampai 4 $I_{B1} \dots I_{B4}$ = arus baterai 1 sampai 4

Tabel 1: Data Pengukuran Uji Coba I

No.	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{reg} (V)	I_{reg} (A)	V_{B1} (V)	I_{B1} (A)	V_{B2} (V)	I_{B2} (A)	V_{B3} (V)	I_{B3} (A)	V_{B4} (V)	I_{B4} (A)	Keterangan
1	18.02	0.5	7.11	1	6.31	0.1	6.26	0.2	6.28	0.1	6.18	0.7	LED masing-masing baterai nyala
2	18.03	0.5	7.11	1	6.31	0.1	6.26	0.1	6.28	0.1	6.19	0.1	LED masing-masing baterai nyala
3	18.07	0.5	7.09	1.1	6.31	0.1	6.26	0.1	6.28	0.1	6.19	0.6	LED masing-masing baterai nyala

No.	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{reg} (V)	I _{reg} (A)	V _{B1} (V)	I _{B1} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B3} (V)	I _{B3} (A)	V _{B4} (V)	I _{B4} (A)	Keterangan
4	18.08	0.3	7.11	1	6.31	0.1	6.27	0.1	6.29	0.1	6.19	0.8	LED masing-masing baterai nyala
5	18.17	0.5	7.1	1	6.31	0.1	6.27	0.1	6.29	0.2	6.19	0.7	LED masing-masing baterai nyala
6	18.1	0.5	7.11	1	6.31	0.1	6.26	0.1	6.29	0.1	6.2	0.8	LED masing-masing baterai nyala
7	18.15	0.5	7.1	1	6.31	0.1	6.27	0.3	6.29	0.1	6.2	0.5	LED masing-masing baterai nyala
8	18.14	0.5	7.06	1	6.31	0.1	6.27	0.2	6.29	0.2	6.2	0.7	LED masing-masing baterai nyala
9	18.18	0.6	7.06	1	6.31	0.1	6.26	0.2	6.29	0.1	6.2	0.7	LED masing-masing baterai nyala
10	18.18	0.5	7.07	1	6.31	0.1	6.27	0.1	6.29	0.1	6.19	0.6	LED masing-masing baterai nyala
11	18.19	0.5	7.08	0.9	6.31	0.1	6.27	0.2	6.29	0.1	6.2	0.6	LED masing-masing baterai nyala
12	18.2	0.5	7.07	1	6.32	0.1	6.27	0.1	6.29	0.1	6.2	0.6	LED masing-masing baterai nyala
13	18.2	0.5	7.09	1	6.32	0.1	6.27	0.1	6.3	0.1	6.2	0.5	LED masing-masing baterai nyala
14	18.21	0.4	7.08	1	6.32	0.1	6.27	0.2	6.29	0.1	6.21	0.6	LED masing-masing baterai nyala
15	18.23	0.5	7.08	0.9	6.32	0.1	6.27	0.2	6.3	0.1	6.21	0.6	LED masing-masing baterai nyala
16	18.22	0.5	7.09	0.9	6.32	0.1	6.28	0.2	6.3	0.1	6.21	0.5	LED masing-masing baterai nyala
17	18.24	0.5	7.08	0.9	6.32	0.1	6.27	0.1	6.3	0.1	6.21	0.4	LED masing-masing baterai nyala
18	18.25	0.4	7.08	0.9	6.32	0.1	6.27	0.1	6.3	0.1	6.21	0.5	LED masing-masing baterai nyala
19	18.31	0.4	7.08	0.9	6.32	0.2	6.27	0.1	6.3	0.1	6.21	0.5	LED masing-masing baterai nyala
20	18.25	0.4	7.06	0.9	6.32	0.1	6.27	0.1	6.3	0.1	6.21	0.4	LED masing-masing baterai nyala
21	18.33	0.4	7.07	0.9	6.32	0.2	6.27	0.1	6.3	0.1	6.21	0.6	LED masing-masing baterai nyala
22	18.33	0.4	7.08	0.9	6.32	0.2	6.27	0.1	6.3	0.1	6.21	0.5	LED masing-masing baterai nyala
23	18.35	0.4	7.05	0.9	6.31	0.2	6.27	0.1	6.29	0.1	6.2	0.5	LED masing-masing baterai nyala
24	18.44	0.3	7.05	0.8	6.32	0.2	6.27	0.1	6.3	0.1	6.21	0.5	LED masing-masing baterai nyala
25	18.43	0.3	7.09	0.8	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.2	6.21	0.4	LED masing-masing baterai nyala
26	18.42	0.4	7.08	0.8	6.32	0.2	6.28	0.1	6.31	0.1	6.22	0.4	LED masing-masing baterai nyala
27	18.43	0.4	7.09	0.8	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.1	6.22	0.4	LED masing-masing baterai nyala

No.	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{reg} (V)	I _{reg} (A)	V _{B1} (V)	I _{B1} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B3} (V)	I _{B3} (A)	V _{B4} (V)	I _{B4} (A)	Keterangan
28	18.44	0.4	7.06	0.8	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.1	6.22	0.5	LED masing-masing baterai nyala
29	18.47	0.3	7.08	0.8	6.32	0.2	6.27	0.1	6.3	0.1	6.22	0.4	LED masing-masing baterai nyala
30	18.48	0.3	7.06	0.7	6.32	0.3	6.28	0.1	6.3	0.1	6.22	0.4	LED masing-masing baterai nyala
31	18.45	0.3	7.06	0.8	6.32	0.2	6.27	0.1	6.3	0.2	6.22	0.4	LED masing-masing baterai nyala
32	18.5	0.3	7.07	0.7	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.2	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
33	18.38	0.3	7.07	0.8	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.1	6.22	0.5	LED masing-masing baterai nyala
34	18.36	0.3	7.07	0.7	6.32	0.3	6.28	0.1	6.3	0.1	6.22	0.4	LED masing-masing baterai nyala
35	18.35	0.3	7.08	0.8	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.2	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
36	18.32	0.3	7.05	0.8	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.1	6.22	0.4	LED masing-masing baterai nyala
37	18.32	0.3	7.08	0.8	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.1	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
38	18.4	0.3	6.95	0.7	6.32	0.2	6.27	0.1	6.3	0.1	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
39	18.33	0.2	7.04	0.7	6.32	0.2	6.27	0.1	6.29	0.1	6.21	0.4	LED masing-masing baterai nyala
40	18.3	0.3	7.06	0.6	6.31	0.3	6.27	0.1	6.3	0.1	6.21	0.2	LED masing-masing baterai nyala
41	18.2	0.3	7.08	0.8	6.32	0.3	6.28	0.1	6.3	0.1	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
42	18.15	0.3	7.06	0.7	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.1	6.22	0.4	LED masing-masing baterai nyala
43	18.2	0.3	7.08	0.7	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.1	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
44	18.23	0.3	7.06	0.8	6.32	0.2	6.27	0.1	6.3	0.2	6.22	0.2	LED masing-masing baterai nyala
45	18.25	0.3	7.06	0.7	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.2	6.22	0.2	LED masing-masing baterai nyala
46	18.25	0.3	7.06	0.8	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.1	6.22	0.4	LED masing-masing baterai nyala
47	18.28	0.3	7.07	0.7	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.1	6.22	0.4	LED masing-masing baterai nyala
48	18.27	0.3	7.07	0.8	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.1	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
49	18.26	0.3	7.07	0.7	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.1	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
50	18.3	0.3	7.06	0.6	6.32	0.3	6.28	0.2	6.3	0.1	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
51	18.32	0.3	7.05	0.7	6.31	0.2	6.27	0.1	6.3	0.1	6.21	0.2	LED masing-masing baterai nyala

No.	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{reg} (V)	I _{reg} (A)	V _{B1} (V)	I _{B1} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B3} (V)	I _{B3} (A)	V _{B4} (V)	I _{B4} (A)	Keterangan
52	18.34	0.2	7.07	0.6	6.32	0.2	6.28	0.2	6.3	0.1	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
53	18.26	0.3	7.06	0.7	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.1	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
54	18.26	0.4	7.03	0.8	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.1	6.23	0.4	LED masing-masing baterai nyala
55	18.29	0.3	7.05	0.7	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.1	6.23	0.4	LED masing-masing baterai nyala
56	18.32	0.4	7.07	0.7	6.32	0.2	6.27	0.1	6.3	0.1	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
57	18.43	0.3	7.05	0.7	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.2	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
58	18.39	0.4	7.04	0.7	6.32	0.2	6.28	0.1	6.3	0.1	6.23	0.2	LED masing-masing baterai nyala
59	18.38	0.4	7.05	0.7	6.32	0.2	6.27	0.1	6.3	0.2	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
60	18.4	0.3	7.06	0.7	6.32	0.2	6.27	0.1	6.3	0.1	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
Jumlah	1097	22.3	424.15	49.3	379.06	10.6	376.42	7.1	377.83	7	372.74	25.6	
Rata-rata	18.284	0.3717	7.06917	0.82167	6.3177	0.1767	6.27367	0.1183	6.29717	0.1167	6.21233	0.4267	

PENGOLAHAN DATA PENGUKURAN UJI COBA II

Tempat : Lapangan Bulu Tangkis, Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia

Hari/tanggal : Selasa / 8 juni 2010

Waktu : 13.33 – 14.33

Keadaan : Sistem berbeban (kipas) / baterai sebagai sumber (*dischargng*) dan beban (*charging*)

Keadaan awal : $V_{B1}(V) = 6,21$ (kosong); $V_{B2}(V) = 6,20$ (kosong);
 $V_{B3}(V) = 6,20$ (kosong); dan $V_{B4}(V) = 5,96$ (kosong)

Perioda pengukuran : 1 menit

Keterangan : V_{in} = tegangan panel sel surya
 V_{reg} = tegangan regulator
 $V_{B1} \dots V_{B4}$ = tegangan baterai 1 sampai 4
 V_L = tegangan beban

I_{in} = arus panel sel surya
 I_{reg} = tegangan regulator
 $I_{B1} \dots I_{B4}$ = arus baterai 1 sampai 4
 I_L = arus beban

Tabel 2: Data Pengukuran Uji Coba II

No.	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{reg} (V)	I_{reg} (A)	V_{B1} (V)	I_{B1} (A)	V_{B2} (V)	I_{B2} (A)	V_{B3} (V)	I_{B3} (A)	V_{B4} (V)	I_{B4} (A)	I_L (A)	V_L (A)	Keterangan
1	10.46	0.8	6.95	1	6.13	0.4	6.12	0.2	6.12	0.3	6.11	0.1	0.7	6.12	LED masing-masing baterai nyala
2	10.64	0.8	6.94	1	6.13	0.3	6.12	0.2	6.12	0.2	6.11	0.2	0.7	6.11	LED masing-masing baterai nyala

No.	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{reg} (V)	I _{reg} (A)	V _{B1} (V)	I _{B1} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B3} (V)	I _{B3} (A)	V _{B4} (V)	I _{B4} (A)	I _L (A)	V _L (A)	Keterangan
3	10.46	0.7	6.93	0.9	6.13	0.1	6.12	0.2	6.12	0.1	6.11	0.4	0.7	6.11	LED masing-masing baterai nyala
4	10.55	0.7	6.92	0.9	6.12	0.1	6.12	0.2	6.12	0.1	6.1	0.4	0.7	6.11	LED masing-masing baterai nyala
5	10.54	0.7	6.89	0.8	6.12	0.3	6.11	0.2	6.11	0.1	6.1	0.4	0.7	6.1	LED masing-masing baterai nyala
6	10.63	0.4	6.87	0.5	6.11	0.3	6.11	0.1	6.11	0.1	6.09	0.2	0.6	6.09	LED masing-masing baterai nyala
7	10.48	0.4	6.86	0.5	6.11	0.2	6.11	0.1	6.1	0.1	6.09	0.2	0.6	6.09	LED masing-masing baterai nyala
8	10.53	0.5	6.86	0.6	6.11	0.2	6.11	0.1	6.1	0.1	6.09	0.2	0.6	6.09	LED masing-masing baterai nyala
9	10.46	0.4	6.86	0.5	6.11	0.2	6.11	0.1	6.1	0.1	6.08	0.1	0.6	6.08	LED masing-masing baterai nyala
10	10.46	0.4	6.85	0.5	6.1	0.3	6.1	0.1	6.09	0.1	6.08	0.2	0.5	6.08	LED masing-masing baterai nyala
11	10.55	0.3	6.84	0.4	6.1	0.2	6.11	0.1	6.09	0.1	6.08	0.2	0.5	6.08	LED masing-masing baterai nyala
12	10.42	0.3	6.83	0.4	6.09	0.2	6.11	0.1	6.09	0.1	6.08	0.2	0.5	6.08	LED masing-masing baterai nyala
13	10.42	0.4	6.84	0.6	6.1	0.2	6.11	0.1	6.09	0.1	6.08	0.2	0.5	6.08	LED masing-masing baterai nyala
14	10.5	0.5	6.88	0.7	6.11	0.2	6.11	0.1	6.1	0.1	6.09	0.2	0.6	6.09	LED masing-masing baterai nyala
15	10.59	0.6	6.91	0.8	6.12	0.1	6.12	0.1	6.11	0.1	6.1	0.2	0.5	6.1	LED masing-masing baterai nyala

No.	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{reg} (V)	I _{reg} (A)	V _{B1} (V)	I _{B1} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B3} (V)	I _{B3} (A)	V _{B4} (V)	I _{B4} (A)	I _L (A)	V _L (A)	Keterangan
16	10.59	0.6	6.93	0.8	6.12	0.1	6.14	0.1	6.11	0.1	6.1	0.2	0.5	6.11	LED masing-masing baterai nyala
17	10.64	0.6	6.94	0.9	6.13	0.1	6.14	0.1	6.12	0.1	6.11	0.2	0.5	6.11	LED masing-masing baterai nyala
18	10.62	0.6	7.01	0.9	6.13	0.1	6.15	0.1	6.13	0.1	6.12	0.2	0.5	6.12	LED masing-masing baterai nyala
19	10.73	0.6	7.01	0.9	6.13	0.1	6.16	0.1	6.13	0.1	6.12	0.2	0.5	6.12	LED masing-masing baterai nyala
20	10.7	0.6	7.03	1	6.15	0.1	6.19	0.1	6.15	0.1	6.14	0.2	0.5	6.14	LED masing-masing baterai nyala
21	10.73	0.6	7.04	1	6.16	0.1	6.17	0.1	6.14	0.1	6.13	0.2	0.5	6.13	LED masing-masing baterai nyala
22	10.6	0.7	7.01	1.2	6.14	0.1	6.17	0.1	6.15	0.1	6.14	0.3	0.5	6.14	LED masing-masing baterai nyala
23	16.81	0.6	7.02	0.9	6.16	0.1	6.19	0.1	6.16	0.1	6.15	0.2	0.5	6.15	LED masing-masing baterai nyala
24	17.27	0.6	7.04	1.1	6.16	0.1	6.17	0.1	6.16	0.1	6.14	0.3	0.6	6.14	LED masing-masing baterai nyala
25	16.87	0.6	7.03	1.2	6.17	0.1	6.19	0.1	6.15	0.1	6.15	0.3	0.6	6.15	LED masing-masing baterai nyala
26	16.75	0.6	7.01	1.1	6.16	0.1	6.18	0.1	6.16	0.1	6.15	0.3	0.6	6.15	LED masing-masing baterai nyala
27	16.95	0.6	7.04	1.2	6.17	0.1	6.2	0.1	6.16	0.1	6.15	0.3	0.6	6.15	LED masing-masing baterai nyala
28	16.81	0.6	7.01	1.3	6.17	0.1	6.2	0.1	6.17	0.1	6.16	0.3	0.6	6.16	LED masing-masing baterai nyala

No.	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{reg} (V)	I _{reg} (A)	V _{B1} (V)	I _{B1} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B3} (V)	I _{B3} (A)	V _{B4} (V)	I _{B4} (A)	I _L (A)	V _L (A)	Keterangan
29	16.38	0.6	7.05	1.3	6.17	0.1	6.2	0.1	6.17	0.1	6.16	0.3	0.6	6.16	LED masing-masing baterai nyala
30	16.23	0.7	7.04	1.1	6.18	0.1	6.19	0.1	6.15	0.1	6.14	0.3	0.5	6.15	LED masing-masing baterai nyala
31	16.78	0.6	7.05	1.2	6.15	0.1	6.15	0.1	6.15	0.1	6.15	0.3	0.5	6.15	LED masing-masing baterai nyala
32	10.48	0.6	6.97	1.2	6.17	0.1	6.17	0.1	6.16	0.1	6.15	0.2	0.6	6.14	LED masing-masing baterai nyala
33	15.93	0.4	6.97	0.9	6.15	0.1	6.17	0.1	6.14	0.1	6.13	0.2	0.6	6.13	LED masing-masing baterai nyala
34	16.5	0.5	6.97	1	6.15	0.1	6.17	0.1	6.14	0.1	6.13	0.1	0.5	6.14	LED masing-masing baterai nyala
35	10.5	0.5	6.95	1	6.15	0.1	6.17	0.1	6.15	0.1	6.14	0.1	0.5	6.14	LED masing-masing baterai nyala
36	10.46	0.4	6.91	0.9	6.1	0.1	6.09	0.1	6.08	0.1	6.07	0.1	0.5	6.12	LED masing-masing baterai nyala
37	16.42	0.4	6.81	1	6.09	0.1	6.14	0.1	6.13	0.1	6.13	0.2	0.5	6.13	LED masing-masing baterai nyala
38	15.73	0.5	6.96	1	6.13	0.1	6.16	0.1	6.13	0.1	6.13	0.2	0.5	6.13	LED masing-masing baterai nyala
39	10.55	0.2	6.97	0.6	6.09	0.2	6.1	0.1	6.08	0.1	6.07	0.2	0.5	6.06	LED masing-masing baterai nyala
40	17.3	0.5	6.91	0.7	6.09	0.2	6.1	0.1	6.1	0.1	6.1	0.1	0.6	6.1	LED masing-masing baterai nyala
41	10.67	0.4	6.89	0.7	6.12	0.2	6.12	0.1	6.11	0.1	6.11	0.1	0.6	6.11	LED masing-masing baterai nyala

No.	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{reg} (V)	I _{reg} (A)	V _{B1} (V)	I _{B1} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B3} (V)	I _{B3} (A)	V _{B4} (V)	I _{B4} (A)	I _L (A)	V _L (A)	Keterangan
42	10.62	0.5	6.93	0.7	6.11	0.2	6.13	0.1	6.11	0.1	6.1	0.1	0.6	6.1	LED masing-masing baterai nyala
43	10.62	0.4	6.86	0.6	6.11	0.2	6.12	0.1	6.1	0.1	6.1	0.1	0.6	6.09	LED masing-masing baterai nyala
44	10.62	0.4	6.85	0.6	6.1	0.1	6.09	0.1	6.07	0.1	6.07	0.1	0.5	6.07	LED masing-masing baterai nyala
45	10.47	0.3	6.84	0.5	6.1	0.2	6.1	0.1	6.09	0.1	6.08	0.1	0.5	6.08	LED masing-masing baterai nyala
46	10.5	0.2	6.83	0.6	6.09	0.2	6.09	0.1	6.07	0.1	6.05	0.1	0.5	6.05	LED masing-masing baterai nyala
47	10.44	0.3	6.64	0.5	6.1	0.2	6.1	0.1	6.09	0.1	6.08	0.1	0.5	6.08	LED masing-masing baterai nyala
48	10.77	0.3	6.82	0.5	6.1	0.2	6.09	0.1	6.08	0.1	6.08	0.1	0.5	6.08	LED masing-masing baterai nyala
49	10.53	0.3	6.81	0.4	6.09	0.2	6.09	0.1	6.08	0.1	6.07	0.2	0.5	6.07	LED masing-masing baterai nyala
50	10.56	0.3	6.81	0.5	6.09	0.2	6.09	0.1	6.08	0.1	6.07	0.1	0.5	6.07	LED masing-masing baterai nyala
51	10.52	0.3	6.8	0.5	6.09	0.2	6.08	0.1	6.08	0.1	6.07	0.1	0.5	6.07	LED masing-masing baterai nyala
52	10.46	0.3	6.8	0.5	6.08	0.2	6.08	0.1	6.08	0.1	6.07	0.1	0.5	6.07	LED masing-masing baterai nyala
53	10.5	0.1	6.79	0.1	6.07	0.3	6.07	0.3	6.06	0.2	6.05	0.1	0.6	6.04	LED masing-masing baterai nyala
54	10.5	0.1	6.78	0.1	6.06	0.3	6.05	0.1	6.05	0.2	6.04	0.1	0.6	6.04	LED masing-masing baterai nyala

No.	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{reg} (V)	I _{reg} (A)	V _{B1} (V)	I _{B1} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B3} (V)	I _{B3} (A)	V _{B4} (V)	I _{B4} (A)	I _L (A)	V _L (A)	Keterangan
55	10.48	0.3	6.77	0.4	6.07	0.2	6.07	0.1	6.06	0.1	6.05	0.1	0.6	6.05	LED masing-masing baterai nyala
56	10.53	0.3	6.77	0.4	6.07	0.2	6.06	0.1	6.06	0.2	6.05	0.1	0.6	6.06	LED masing-masing baterai nyala
57	10.47	0.3	6.77	0.4	6.06	0.2	6.04	0.1	6.06	0.1	6.05	0.1	0.5	6.05	LED masing-masing baterai nyala
58	10.42	0.3	6.76	0.4	6.07	0.3	6.07	0.1	6.06	0.1	6.05	0.1	0.6	6.05	LED masing-masing baterai nyala
59	10.47	0.2	6.76	0.3	6.07	0.2	6.06	0.1	6.06	0.1	6.05	0.1	0.5	6.04	LED masing-masing baterai nyala
60	10.46	0.2	6.75	0.3	6.07	0.3	6.05	0.1	6.06	0.1	6.05	0.1	0.6	6.05	LED masing-masing baterai nyala
Jumlah	717.63	27.5	413.94	44.5	366.98	10.3	367.4	6.7	366.55	6.6	365.99	11	33.3	366.1	
Rata-rata	11.961	0.458	6.899	0.7417	6.1163	0.1717	6.1233	0.1117	6.1092	0.11	6.0998	0.1833	0.555	6.101	

PENGOLAHAN DATA PENGUKURAN HASIL UJI COBA III

Tempat : Lapangan Bulu Tangkis, Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia

Hari/tanggal : Jum'at / 11 juni 2010

Waktu : 11.00 – 12.00

Keadaan : Sistem tanpa beban (kipas) / pengisian baterai

Keadaan awal : $V_{B1}(V) = 6,52$ (penuh); $V_{B2}(V) = 6,14$ (kosong);
 $V_{B3}(V) = 6,48$ (penuh); dan $V_{B4}(V) = 5,94$ (kosong)

Periode pengukuran : 1 menit

Keterangan : V_{in} = tegangan panel sel surya
 V_{reg} = tegangan regulator
 $V_{B1} \dots V_{B4}$ = tegangan baterai 1 sampai 4

I_{in} = arus panel sel surya
 I_{reg} = tegangan regulator
 $I_{B1} \dots I_{B4}$ = arus baterai 1 sampai 4

Tabel 3: Data Pengukuran Uji Coba III

No.	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{reg} (V)	I_{reg} (A)	V_{B1} (V)	I_{B1} (A)	V_{B2} (V)	I_{B2} (A)	V_{B3} (V)	I_{B3} (A)	V_{B4} (V)	I_{B4} (A)	Keterangan
1	18.67	0.4	7.07	0.8	6.46	0.1	6.27	0.1	6.43	0.1	6.19	0.5	LED masing-masing baterai nyala
2	15.58	0.3	7.05	0.8	6.45	0.3	6.26	0.1	6.43	0.2	6.18	0.4	LED masing-masing baterai nyala
3	18.68	0.2	7.06	0.6	6.45	0.2	6.26	0.1	6.43	0.2	6.19	0.3	LED masing-masing baterai nyala
4	18.69	0.2	7.06	0.7	6.45	0.2	6.26	0.1	6.43	0.2	6.19	0.3	LED masing-masing baterai nyala
5	18.19	0.3	7.07	0.8	6.45	0.2	6.27	0.1	6.42	0.1	6.19	0.2	LED masing-masing baterai nyala

No.	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{reg} (V)	I _{reg} (A)	V _{B1} (V)	I _{B1} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B3} (V)	I _{B3} (A)	V _{B4} (V)	I _{B4} (A)	Keterangan
6	16.88	0.3	7.07	0.8	6.45	0.2	6.28	0.1	6.42	0.1	6.2	0.5	LED masing-masing baterai nyala
7	17.23	0.3	7.07	0.7	6.45	0.2	6.27	0.1	6.42	0.1	6.2	0.4	LED masing-masing baterai nyala
8	18.75	0.3	7.03	0.8	6.45	0.2	6.26	0.1	6.42	0.1	6.19	0.4	LED masing-masing baterai nyala
9	18.65	0.3	7.03	0.7	6.45	0.2	6.26	0.1	6.42	0.1	6.19	0.4	LED masing-masing baterai nyala
10	18.35	0.3	7.04	0.7	6.45	0.2	6.27	0.1	6.42	0.2	6.2	0.4	LED masing-masing baterai nyala
11	18.16	0.3	7.05	0.7	6.45	0.2	6.27	0.1	6.42	0.1	6.2	0.4	LED masing-masing baterai nyala
12	17.85	0.3	7.08	0.7	6.45	0.2	6.24	0.1	6.42	0.2	6.17	0.4	LED masing-masing baterai nyala
13	17.72	0.2	7.01	0.5	6.45	0.2	6.25	0.1	6.42	0.2	6.19	0.3	LED masing-masing baterai nyala
14	16.21	0.2	7.03	0.7	6.45	0.2	6.26	0.1	6.42	0.2	6.19	0.3	LED masing-masing baterai nyala
15	16	0.3	7.05	0.7	6.45	0.2	6.27	0.1	6.42	0.1	6.2	0.4	LED masing-masing baterai nyala
16	16.51	0.3	7.04	0.7	6.45	0.2	6.28	0.1	6.42	0.1	6.21	0.4	LED masing-masing baterai nyala
17	18.29	0.3	7.03	0.7	6.45	0.2	6.28	0.1	6.42	0.1	6.21	0.4	LED masing-masing baterai nyala
18	18.07	0.3	7.06	0.6	6.45	0.2	6.28	0.1	6.42	0.2	6.21	0.5	LED masing-masing baterai nyala
19	16.85	0.3	7.07	0.8	6.45	0.2	6.28	0.1	6.42	0.1	6.21	0.2	LED masing-masing baterai nyala
20	17.23	0.3	7.01	0.8	6.45	0.2	6.27	0.1	6.42	0.1	6.2	0.4	LED masing-masing baterai nyala
21	18.42	0.3	7.07	0.8	6.45	0.1	6.29	0.1	6.42	0.1	6.23	0.5	LED masing-masing baterai nyala
22	18.29	0.3	7.07	0.8	6.45	0.1	6.29	0.1	6.42	0.1	6.22	0.5	LED masing-masing baterai nyala
23	18.06	0.3	7.06	0.8	6.45	0.1	6.27	0.1	6.42	0.1	6.2	0.4	LED masing-masing baterai nyala
24	18.1	0.2	7.07	0.7	6.45	0.1	6.28	0.1	6.42	0.1	6.22	0.4	LED masing-masing baterai nyala
25	17.66	0.3	7.01	0.6	6.45	0.5	6.23	0.1	6.42	0.2	6.17	0.2	LED masing-masing baterai nyala
26	18.09	0.3	7.03	0.7	6.45	0.2	6.27	0.1	6.42	0.2	6.2	0.3	LED masing-masing baterai nyala
27	18.08	0.2	7.05	0.7	6.45	0.2	6.27	0.1	6.42	0.2	6.2	0.3	LED masing-masing baterai nyala
28	18.1	0.2	7.06	0.7	6.45	0.2	6.29	0.1	6.42	0.2	6.22	0.4	LED masing-masing baterai nyala

No.	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{reg} (V)	I _{reg} (A)	V _{B1} (V)	I _{B1} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B3} (V)	I _{B3} (A)	V _{B4} (V)	I _{B4} (A)	Keterangan
29	17.92	0.3	7.08	0.7	6.45	0.2	6.29	0.1	6.42	0.2	6.23	0.4	LED masing-masing baterai nyala
30	17.96	0.3	7.08	0.7	6.45	0.2	6.29	0.1	6.42	0.2	6.23	0.4	LED masing-masing baterai nyala
31	17.95	0.2	7.05	0.7	6.45	0.2	6.29	0.1	6.42	0.2	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
32	15.89	0.2	7.03	0.6	6.45	0.3	6.27	0.1	6.42	0.2	6.21	0.3	LED masing-masing baterai nyala
33	15.7	0.3	7.03	0.6	6.45	0.2	6.27	0.1	6.42	0.2	6.21	0.3	LED masing-masing baterai nyala
34	17	0.2	6.99	0.5	6.45	0.2	6.25	0.1	6.42	0.1	6.19	0.2	LED masing-masing baterai nyala
35	17.2	0.2	7.01	0.5	6.45	0.3	6.26	0.1	6.42	0.2	6.2	0.2	LED masing-masing baterai nyala
36	17.43	0.2	7	0.5	6.45	0.2	6.26	0.1	6.42	0.3	6.2	0.3	LED masing-masing baterai nyala
37	17.85	0.2	7.02	0.5	6.45	0.2	6.27	0.1	6.42	0.2	6.21	0.3	LED masing-masing baterai nyala
38	18.81	0.2	7.01	0.5	6.45	0.2	6.26	0.1	6.42	0.2	6.2	0.3	LED masing-masing baterai nyala
39	17.8	0.2	7.03	0.6	6.45	0.3	6.27	0.1	6.42	0.2	6.21	0.3	LED masing-masing baterai nyala
40	18.67	0.2	7.04	0.6	6.45	0.2	6.28	0.1	6.42	0.2	6.22	0.3	LED masing-masing baterai nyala
41	18.63	0.3	7.04	0.6	6.45	0.2	6.27	0.1	6.42	0.2	6.21	0.3	LED masing-masing baterai nyala
42	18.63	0.2	7.05	0.8	6.45	0.3	6.29	0.2	6.42	0.3	6.23	0.2	LED masing-masing baterai nyala
43	18.55	0.2	7.06	0.5	6.45	0.2	6.29	0.2	6.42	0.3	6.23	0.2	LED masing-masing baterai nyala
44	18.45	0.3	7.06	0.5	6.45	0.3	6.29	0.2	6.42	0.4	6.23	0.2	LED masing-masing baterai nyala
45	18.45	0.1	7.05	0.5	6.45	0.4	6.29	0.2	6.42	0.3	6.23	0.2	LED masing-masing baterai nyala
46	18.4	0.1	7.06	0.5	6.45	0.3	6.29	0.2	6.42	0.3	6.23	0.2	LED masing-masing baterai nyala
47	18.38	0.3	7	0.4	6.44	0.4	6.26	0.2	6.42	0.4	6.2	0.1	LED masing-masing baterai nyala
48	18.28	0.1	7.02	0.4	6.45	0.3	6.25	0.2	6.42	0.3	6.2	0.1	LED masing-masing baterai nyala
49	18.75	0.3	7.04	0.7	6.44	0.3	6.28	0.2	6.41	0.3	6.23	0.5	LED masing-masing baterai nyala
50	18.6	0.1	7.06	0.6	6.44	0.3	6.29	0.1	6.41	0.3	6.23	0.3	LED masing-masing baterai nyala
51	18.6	0.4	7.06	0.6	6.44	0.3	6.29	0.2	6.41	0.2	6.23	0.3	LED masing-masing baterai nyala

No.	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{reg} (V)	I _{reg} (A)	V _{B1} (V)	I _{B1} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B3} (V)	I _{B3} (A)	V _{B4} (V)	I _{B4} (A)	Keterangan
52	18.37	0.2	6.98	0.4	6.44	0.3	6.26	0.2	6.41	0.3	6.2	0.1	LED masing-masing baterai nyala
53	18.5	0.2	7	0.4	6.44	0.4	6.26	0.3	6.41	0.3	6.21	0.1	LED masing-masing baterai nyala
54	18.52	0.2	7	0.4	6.44	0.4	6.26	0.3	6.41	0.4	6.21	0.1	LED masing-masing baterai nyala
55	18.45	0.2	7.02	0.4	6.44	0.4	6.27	0.2	6.41	0.2	6.22	0.1	LED masing-masing baterai nyala
56	18.37	0.3	7.04	0.6	6.44	0.3	6.28	0.1	6.41	0.1	6.23	0.1	LED masing-masing baterai nyala
57	18.42	0.2	7.05	0.6	6.44	0.2	6.28	0.1	6.41	0.1	6.23	0.3	LED masing-masing baterai nyala
58	18.34	0.2	7.04	0.7	6.44	0.1	6.28	0.1	6.41	0.1	6.23	0.3	LED masing-masing baterai nyala
59	18.43	0.4	7.05	0.7	6.44	0.1	6.28	0.1	6.41	0.1	6.23	0.3	LED masing-masing baterai nyala
60	18.26	0.3	7.06	0.8	6.44	0.1	6.29	0.1	6.41	0.1	6.24	0.4	LED masing-masing baterai nyala
Jumlah	1076.92	15.1	422.51	38.2	386.88	13.8	376.34	7.5	385.12	11.4	372.55	18.5	
Rata-rata	17.9487	0.252	7.04183	0.6367	6.448	0.23	6.2723	0.125	6.4187	0.19	6.2092	0.3083	

PENGOLAHAN DATA PENGUKURAN UJI COBA IV

Tempat : Lapangan Bulu Tangkis, Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia
 Hari/tanggal : Senin / 14 juni 2010
 Waktu : 11.30 – 12.30
 Keadaan : Sistem tanpa beban (kipas) / pengisian baterai
 Keadaan awal : $V_{B1}(V) = 6,42$ (penuh); $V_{B2}(V) = 6,16$ (kosong);
 $V_{B3}(V) = 6,40$ (penuh); dan $V_{B4}(V) = 6,01$ (kosong)
 Periode pengukuran : 1 menit
 Keterangan : V_{in} = tegangan panel sel surya I_{in} = arus panel sel surya
 V_{reg} = tegangan regulator I_{reg} = tegangan regulator
 $V_{B1} \dots V_{B4}$ = tegangan baterai 1 sampai 4 $I_{B1} \dots I_{B4}$ = arus baterai 1 sampai 4

Tabel 4: Data Pengukuran Uji Coba IV

No.	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{reg} (V)	I_{reg} (A)	V_{B1} (V)	I_{B1} (A)	V_{B2} (V)	I_{B2} (A)	V_{B2} (V)	I_{B2} (A)	V_{B3} (V)	I_{B3} (A)	V_{B4} (V)	I_{B4} (A)	Keterangan
1	17.42	0.3	7.06	0.7	6.38	0.2	6.26	0.1	6.26	0.1	6.39	0.1	6.23	0.3	LED 1 dan 3 mati
2	18.63	0.4	7.15	0.7	6.38	0.2	6.26	0.2	6.26	0.2	6.39	0.1	6.22	0.5	LED 1 dan 3 mati
3	18.29	0.4	7.12	0.7	6.38	0.2	6.26	0.2	6.26	0.2	6.39	0.1	6.21	0.5	LED 1 dan 3 mati
4	18.12	0.4	7.09	0.3	6.37	0.2	6.24	0.2	6.24	0.2	6.38	0.1	6.21	0.4	LED 1 dan 3 mati

No.	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{reg} (V)	I _{reg} (A)	V _{B1} (V)	I _{B1} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B3} (V)	I _{B3} (A)	V _{B4} (V)	I _{B4} (A)	Keterangan
5	18.14	0.2	7.09	0.8	6.39	0.2	6.26	0.2	6.26	0.2	6.38	0.1	6.22	0.3	LED 1 dan 3 mati
6	16.55	0.4	7.13	0.8	6.4	0.1	6.3	0.2	6.3	0.2	6.38	0.1	6.25	0.6	LED 1 dan 3 mati
7	16.25	0.5	7.1	0.7	6.4	0.1	6.29	0.2	6.29	0.2	6.38	0.1	6.24	0.6	LED 1 dan 3 mati
8	16.3	0.5	7.14	0.8	6.4	0.1	6.3	0.2	6.3	0.2	6.38	0.1	6.26	0.6	LED 1 dan 3 mati
9	16.64	0.5	7.15	0.7	6.4	0.1	6.26	0.2	6.26	0.2	6.38	0.1	6.2	0.4	LED 1 dan 3 mati
10	17.3	0.2	7.14	0.8	6.4	0.1	6.29	0.2	6.29	0.2	6.38	0.1	6.25	0.6	LED 1 dan 3 mati
11	18.32	0.4	7.17	0.8	6.4	0.1	6.29	0.2	6.29	0.2	6.38	0.1	6.25	0.6	LED 1 dan 3 mati
12	18.67	0.2	7.14	0.7	6.41	0.1	6.29	0.2	6.29	0.2	6.38	0.1	6.24	0.4	LED 1 dan 3 mati
13	18.74	0.3	7.14	0.7	6.41	0.1	6.29	0.2	6.29	0.2	6.38	0.1	6.24	0.4	LED 1 dan 3 mati
14	18.63	0.4	7.13	0.8	6.41	0.1	6.3	0.2	6.3	0.2	6.38	0.1	6.25	0.4	LED 1 dan 3 mati
15	18.38	0.4	7.12	0.7	6.41	0.1	6.29	0.1	6.29	0.1	6.38	0.1	6.24	0.5	LED 1 dan 3 mati
16	18.32	0.1	7.08	0.8	6.41	0.1	6.25	0.1	6.25	0.1	6.38	0.1	6.18	0.2	LED 1 dan 3 mati
17	17.1	0.4	7.11	0.8	6.41	0.1	6.29	0.2	6.29	0.2	6.38	0.1	6.25	0.4	LED 1 dan 3 mati
18	18.16	0.4	7.14	0.7	6.41	0.1	6.29	0.2	6.29	0.2	6.38	0.1	6.24	0.5	LED 1 dan 3 mati
19	17.24	0.4	7.12	0.6	6.41	0.1	6.3	0.2	6.3	0.2	6.38	0.1	6.25	0.5	LED 1 dan 3 mati
20	18.55	0.4	7.13	0.6	6.41	0.1	6.28	0.1	6.28	0.1	6.38	0.1	6.22	0.3	LED 1 dan 3 mati
21	18.6	0.2	7.14	0.7	6.41	0.1	6.29	0.1	6.29	0.1	6.38	0.1	6.25	0.4	LED 1 dan 3 mati
22	18.51	0.4	7.1	0.6	6.41	0.1	6.3	0.1	6.3	0.1	6.38	0.1	6.26	0.4	LED 1 dan 3 mati
23	18.29	0.3	7.11	0.7	6.41	0.1	6.3	0.1	6.3	0.1	6.38	0.1	6.25	0.5	LED 1 dan 3 mati
24	18.17	0.4	7.13	0.7	6.41	0.1	6.31	0.1	6.31	0.1	6.38	0.1	6.26	0.5	LED 1 dan 3 mati
25	18.15	0.4	7.14	0.7	6.41	0.1	6.28	0.1	6.28	0.1	6.38	0.1	6.23	0.3	LED 1 dan 3 mati
26	18.14	0.3	7.13	0.7	6.41	0.1	6.3	0.1	6.3	0.1	6.38	0.1	6.26	0.5	LED 1 dan 3 mati
27	18.07	0.3	7.12	0.7	6.41	0.1	6.31	0.1	6.31	0.1	6.38	0.1	6.26	0.5	LED 1 dan 3 mati

No.	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{reg} (V)	I _{reg} (A)	V _{B1} (V)	I _{B1} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B3} (V)	I _{B3} (A)	V _{B4} (V)	I _{B4} (A)	Keterangan
28	17.99	0.4	7.11	0.6	6.41	0.1	6.31	0.1	6.31	0.1	6.38	0.1	6.25	0.4	LED 1 dan 3 mati
29	18.02	0.3	7.12	0.6	6.41	0.1	6.3	0.1	6.3	0.1	6.38	0.1	6.25	0.4	LED 1 dan 3 mati
30	18	0.3	7.12	0.6	6.41	0.1	6.29	0.1	6.29	0.1	6.38	0.1	6.24	0.4	LED 1 dan 3 mati
31	17.73	0.3	7.03	0.7	6.41	0.1	6.3	0.2	6.3	0.2	6.38	0.1	6.25	0.4	LED 1 dan 3 mati
32	16.56	0.4	7.13	0.7	6.41	0.1	6.3	0.1	6.3	0.1	6.38	0.1	6.26	0.4	LED 1 dan 3 mati
33	16.37	0.4	7.08	0.4	6.41	0.1	6.3	0.1	6.3	0.1	6.38	0.1	6.25	0.4	LED 1 dan 3 mati
34	16.46	0.3	7.12	0.6	6.41	0.1	6.29	0.1	6.29	0.1	6.38	0.1	6.24	0.4	LED 1 dan 3 mati
35	16.61	0.3	7.05	0.7	6.41	0.1	6.3	0.1	6.3	0.1	6.38	0.1	6.27	0.4	LED 1 dan 3 mati
36	16.8	0.4	7.04	0.7	6.41	0.1	6.3	0.1	6.3	0.1	6.38	0.1	6.27	0.4	LED 1 dan 3 mati
37	17.05	0.4	7.04	0.8	6.41	0.1	6.3	0.1	6.3	0.1	6.38	0.1	6.27	0.5	LED 1 dan 3 mati
38	17.72	0.4	7.03	0.7	6.41	0.1	6.3	0.1	6.3	0.1	6.38	0.1	6.26	0.4	LED 1 dan 3 mati
39	18.34	0.3	7.03	0.7	6.41	0.1	6.3	0.1	6.3	0.1	6.38	0.1	6.25	0.4	LED 1 dan 3 mati
40	18.41	0.4	7.04	0.8	6.4	0.1	6.3	0.2	6.3	0.2	6.38	0.1	6.27	0.4	LED 1 dan 3 mati
41	18.06	0.4	7.02	0.6	6.41	0.1	6.29	0.1	6.29	0.1	6.38	0.1	6.26	0.4	LED 1 dan 3 mati
42	17.34	0.3	7.08	0.6	6.41	0.1	6.29	0.2	6.29	0.2	6.38	0.1	6.24	0.4	LED 1 dan 3 mati
43	17.86	0.4	7.12	0.6	6.41	0.1	6.3	0.1	6.3	0.1	6.38	0.1	6.26	0.4	LED 1 dan 3 mati
44	17.81	0.3	7.1	0.6	6.41	0.1	6.3	0.1	6.3	0.1	6.38	0.1	6.25	0.3	LED 1 dan 3 mati
45	18	0.3	7.12	0.6	6.41	0.1	6.29	0.1	6.29	0.1	6.38	0.1	6.25	0.3	LED 1 dan 3 mati
46	17.94	0.3	7.12	0.6	6.41	0.1	6.29	0.1	6.29	0.1	6.38	0.1	6.25	0.5	LED 1 dan 3 mati
47	17.92	0.3	7.11	0.6	6.41	0.1	6.29	0.1	6.29	0.1	6.38	0.1	6.24	0.4	LED 1 dan 3 mati
48	17.18	0.3	7.1	0.6	6.41	0.1	6.29	0.1	6.29	0.1	6.38	0.1	6.25	0.4	LED 1 dan 3 mati
49	17.21	0.3	7.12	0.6	6.41	0.1	6.29	0.1	6.29	0.1	6.38	0.1	6.25	0.4	LED 1 dan 3 mati
50	17.6	0.3	7.13	0.6	6.41	0.1	6.29	0.1	6.29	0.1	6.38	0.1	6.24	0.4	LED 1 dan 3 mati

No.	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{reg} (V)	I _{reg} (A)	V _{B1} (V)	I _{B1} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B2} (V)	I _{B2} (A)	V _{B3} (V)	I _{B3} (A)	V _{B4} (V)	I _{B4} (A)	Keterangan
51	18.28	0.3	7.12	0.6	6.41	0.1	6.29	0.1	6.29	0.1	6.38	0.1	6.24	0.3	LED 1 dan 3 mati
52	18.6	0.3	7.08	0.5	6.41	0.1	6.28	0.1	6.28	0.1	6.38	0.1	6.23	0.3	LED 1 dan 3 mati
53	18.18	0.3	6.77	0.5	6.41	0.1	6.25	0.1	6.25	0.1	6.38	0.1	6.17	0.1	LED 1 dan 3 mati
54	17.86	0.3	7.06	0.6	6.41	0.1	6.28	0.1	6.28	0.1	6.38	0.1	6.24	0.3	LED 1 dan 3 mati
55	17.88	0.3	7.06	0.6	6.41	0.1	6.29	0.1	6.29	0.1	6.38	0.1	6.24	0.4	LED 1 dan 3 mati
56	18	0.3	7.07	0.6	6.41	0.1	6.29	0.1	6.29	0.1	6.38	0.1	6.24	0.4	LED 1 dan 3 mati
57	18.73	0.3	7.07	0.5	6.41	0.1	6.29	0.1	6.29	0.1	6.38	0.1	6.23	0.3	LED 1 dan 3 mati
58	18.55	0.3	7.08	0.6	6.41	0.1	6.28	0.1	6.28	0.1	6.38	0.1	6.24	0.3	LED 1 dan 3 mati
59	18.8	0.3	7.08	0.5	6.41	0.1	6.28	0.1	6.28	0.1	6.38	0.1	6.24	0.4	LED 1 dan 3 mati
60	18.65	0.3	7.06	0.6	6.41	0.1	6.28	0.1	6.28	0.1	6.38	0.1	6.24	0.3	LED 1 dan 3 mati
Jumlah	1070.2	20.3	425.73	39.2	384.38	6.5	377.3	7.9	377.3	7.9	382.83	6	374.55	24.4	
Rata-rata	17.837	0.338	7.0955	0.6533	6.4063	0.108	6.288	0.132	6.288	0.1317	6.3805	0.1	6.2425	0.4067	

Tabel 5: Data Pengukuran Proses *Discharge* Masing-Masing Baterai

No	VB1 (V)	I B1 (A)	P B1 (W)	VB2 (V)	I B2 (A)	P B2 (W)	VB3 (V)	I B3 (A)	P B3 (W)	VB4 (V)	I B4 (A)	P B4 (W)
1	6.08	0.3	1.824	6.03	0.4	2.412	6.07	0.3	1.821	6.08	0.4	2.432
2	6.08	0.5	3.04	6.03	0.4	2.412	6.07	0.3	1.821	6.07	0.4	2.428
3	6.08	0.5	3.04	6.03	0.4	2.412	6.07	0.3	1.821	6.06	0.4	2.424
4	6.08	0.4	2.432	6.02	0.4	2.408	6.06	0.3	1.818	6.06	0.4	2.424
5	6.08	0.4	2.432	6.02	0.4	2.408	6.06	0.3	1.818	6.05	0.4	2.42
6	6.08	0.5	3.04	6.02	0.3	1.806	6.06	0.3	1.818	6.04	0.4	2.416
7	6.07	0.4	2.428	6.02	0.4	2.408	6.06	0.4	2.424	6.03	0.3	1.809
8	6.07	0.4	2.428	6.01	0.3	1.803	6.06	0.3	1.818	6.03	0.4	2.412
9	6.07	0.4	2.428	6.01	0.4	2.404	6.05	0.3	1.815	6.03	0.4	2.412
10	6.07	0.4	2.428	6.01	0.4	2.404	6.05	0.4	2.42	6.02	0.4	2.408
11	6.07	0.4	2.428	6	0.4	2.4	6.05	0.3	1.815	6.02	0.3	1.806
12	6.07	0.4	2.428	6	0.4	2.4	6.05	0.3	1.815	6.01	0.3	1.803
13	6.06	0.4	2.424	6	0.4	2.4	6.04	0.4	2.416	6.01	0.3	1.803
14	6.06	0.3	1.818	5.99	0.4	2.396	6.04	0.4	2.416	6.01	0.3	1.803
15	6.06	0.3	1.818	5.99	0.4	2.396	6.04	0.4	2.416	6.01	0.3	1.803
16	6.06	0.4	2.424	5.99	0.4	2.396	6.04	0.4	2.416	6	0.3	1.8
17	6.06	0.4	2.424	5.99	0.4	2.396	6.04	0.4	2.416	5.99	0.3	1.797
18	6.06	0.4	2.424	5.98	0.4	2.392	6.04	0.4	2.416	5.99	0.3	1.797
19	6.05	0.5	3.025	5.98	0.4	2.392	6.03	0.3	1.809	5.99	0.3	1.797
20	6.05	0.4	2.42	5.97	0.4	2.388	6.03	0.4	2.412	5.98	0.3	1.794
21	6.05	0.4	2.42	5.97	0.4	2.388	6.03	0.4	2.412	5.98	0.3	1.794

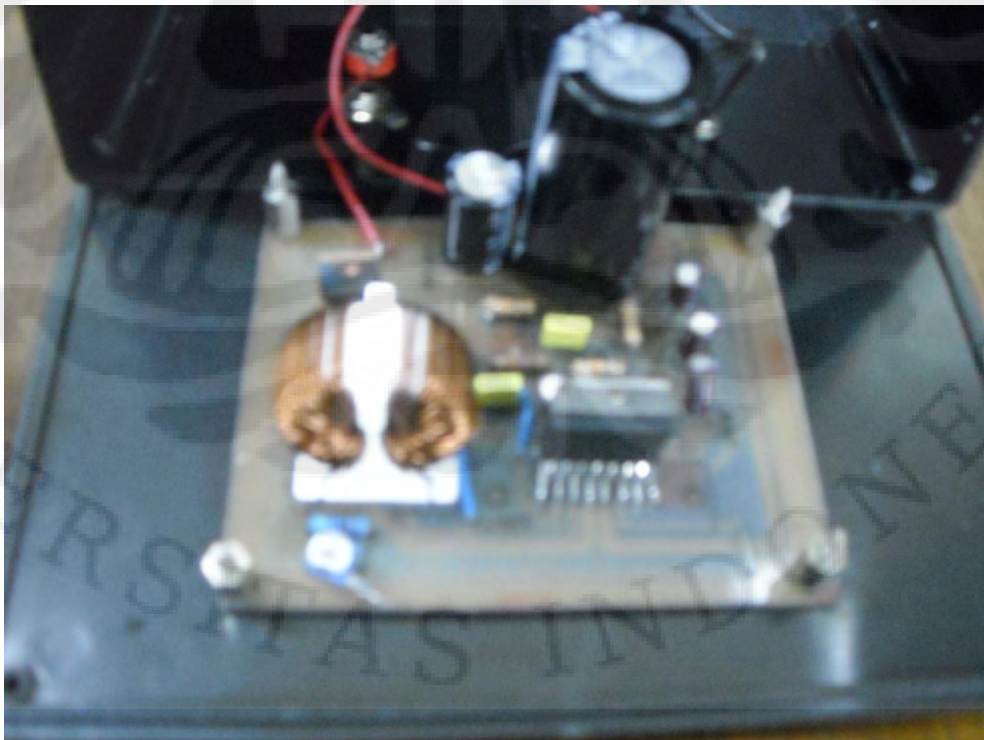
No	VB1 (V)	I B1 (A)	P B1 (W)	VB2 (V)	I B2 (A)	P B2 (W)	VB3 (V)	I B3 (A)	P B3 (W)	VB4 (V)	I B4 (A)	P B4 (W)
22	6.05	0.5	3.025	5.97	0.4	2.388	6.03	0.4	2.412	5.98	0.3	1.794
23	6.05	0.5	3.025	5.96	0.4	2.384	6.03	0.4	2.412	5.98	0.3	1.794
24	6.05	0.4	2.42	5.96	0.4	2.384	6.03	0.4	2.412	5.97	0.4	2.388
25	6.05	0.4	2.42	5.96	0.4	2.384	6.02	0.4	2.408	5.97	0.3	1.791
26	6.05	0.4	2.42	5.96	0.4	2.384	6.02	0.4	2.408	5.97	0.3	1.791
27	6.05	0.4	2.42	5.95	0.4	2.38	6.02	0.4	2.408	5.97	0.3	1.791
28	6.04	0.4	2.416	5.95	0.4	2.38	6.02	0.4	2.408	5.96	0.3	1.788
29	6.04	0.4	2.416	5.94	0.4	2.376	6.02	0.4	2.408	5.96	0.3	1.788
30	6.04	0.4	2.416	5.94	0.4	2.376	6.02	0.4	2.408	5.96	0.3	1.788
31	6.04	0.3	1.812	5.94	0.4	2.376	6.01	0.4	2.404	5.95	0.3	1.785
32	6.04	0.4	2.416	5.94	0.4	2.376	6.01	0.4	2.404	5.95	0.3	1.785
33	6.04	0.4	2.416	5.93	0.4	2.372	6.01	0.4	2.404	5.95	0.3	1.785
34	6.04	0.5	3.02	5.93	0.4	2.372	6.01	0.4	2.404	5.95	0.3	1.785
35	6.04	0.4	2.416	5.93	0.4	2.372	6.01	0.4	2.404	5.95	0.3	1.785
36	6.03	0.4	2.412	5.92	0.4	2.368	6	0.4	2.4	5.95	0.3	1.785
37	6.03	0.4	2.412	5.92	0.4	2.368	6	0.4	2.4	5.94	0.3	1.782
38	6.03	0.4	2.412	5.91	0.4	2.364	6	0.4	2.4	5.94	0.3	1.782
39	6.03	0.4	2.412	5.91	0.4	2.364	6	0.4	2.4	5.94	0.3	1.782
40	6.03	0.4	2.412	5.91	0.4	2.364	6	0.5	3	5.94	0.3	1.782
41	6.03	0.4	2.412	5.9	0.4	2.36	6	0.5	3	5.93	0.3	1.779
42	6.03	0.4	2.412	5.9	0.4	2.36	6	0.4	2.4	5.93	0.4	2.372
43	6.03	0.4	2.412	5.9	0.4	2.36	6	0.4	2.4	5.93	0.4	2.372
44	6.03	0.4	2.412	5.89	0.4	2.356	6	0.4	2.4	5.93	0.3	1.779

No	VB1 (V)	I B1 (A)	P B1 (W)	VB2 (V)	I B2 (A)	P B2 (W)	VB3 (V)	I B3 (A)	P B3 (W)	VB4 (V)	I B4 (A)	P B4 (W)
45	6.02	0.4	2.408	5.89	0.4	2.356	6	0.4	2.4	5.93	0.4	2.372
46	6.02	0.4	2.408	5.89	0.4	2.356	6	0.4	2.4	5.92	0.4	2.368
47	6.02	0.4	2.408	5.88	0.4	2.352	6	0.4	2.4	5.92	0.4	2.368
48	6.02	0.4	2.408	5.88	0.4	2.352	6	0.4	2.4	5.92	0.4	2.368
49	6.02	0.4	2.408	5.88	0.3	1.764	5.99	0.4	2.396	5.91	0.4	2.364
50	6.02	0.4	2.408	5.87	0.4	2.348	5.99	0.3	1.797	5.91	0.4	2.364
51	6.02	0.4	2.408	5.87	0.4	2.348	5.99	0.4	2.396	5.91	0.3	1.773
52	6.02	0.4	2.408	5.87	0.4	2.348	5.99	0.4	2.396	5.91	0.4	2.364
53	6.01	0.4	2.404	5.87	0.4	2.348	5.99	0.4	2.396	5.91	0.4	2.364
54	6.01	0.4	2.404	5.86	0.4	2.344	5.99	0.5	2.995	5.9	0.4	2.36
55	6.01	0.4	2.404	5.86	0.4	2.344	5.99	0.5	2.995	5.9	0.4	2.36
56	6.01	0.4	2.404	5.86	0.4	2.344	5.99	0.4	2.396	5.9	0.4	2.36
57	6.01	0.4	2.404	5.85	0.4	2.34	5.99	0.5	2.995	5.89	0.4	2.356
58	6	0.4	2.4	5.85	0.4	2.34	5.99	0.4	2.396	5.89	0.4	2.356
59	6	0.4	2.4	5.85	0.4	2.34	5.99	0.4	2.396	5.89	0.4	2.356
60	6	0.4	2.4	5.85	0.4	2.34	5.99	0.4	2.396	5.89	0.4	2.356
Jumlah			146.823			140.753			140.207			123.444
Rata-rata			2.44705			2.345883			2.336783			2.0574
%DOD (%)			9.063148			8.688457			8.654753			7.62

LAMPIRAN 2



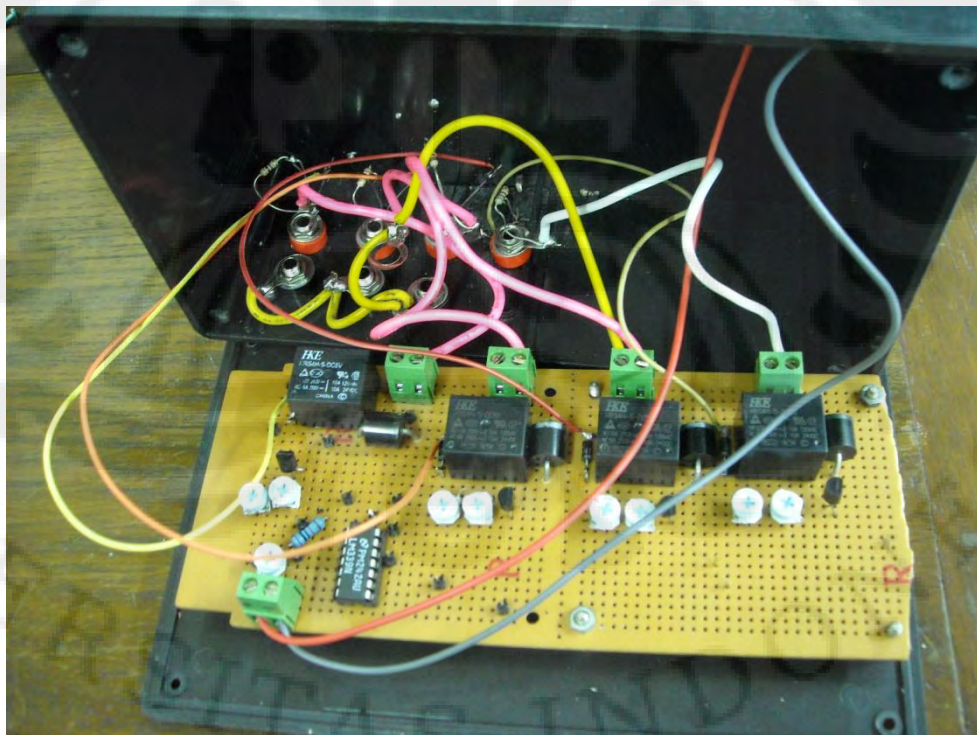
Gambar Tampak luar *Switching Regulator*



Gambar Tampak dalam *Switching Regulator*



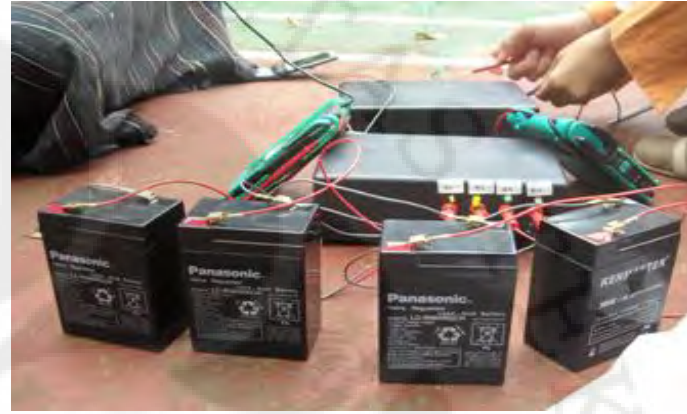
Gambar Tampak luar Pengendali Pengisian Muatan Baterai



Gambar Tampak dalam Pengendali Pengisian Muatan Baterai



Gambar Panel Surya Sharp Solar Module NE-080TIJ



(b)

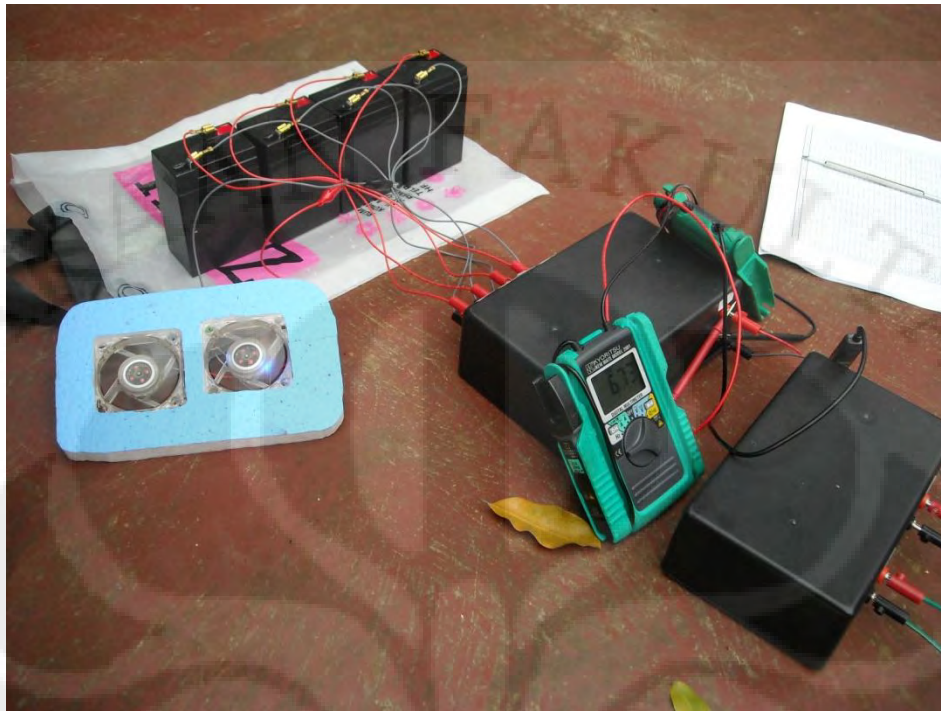


(a)

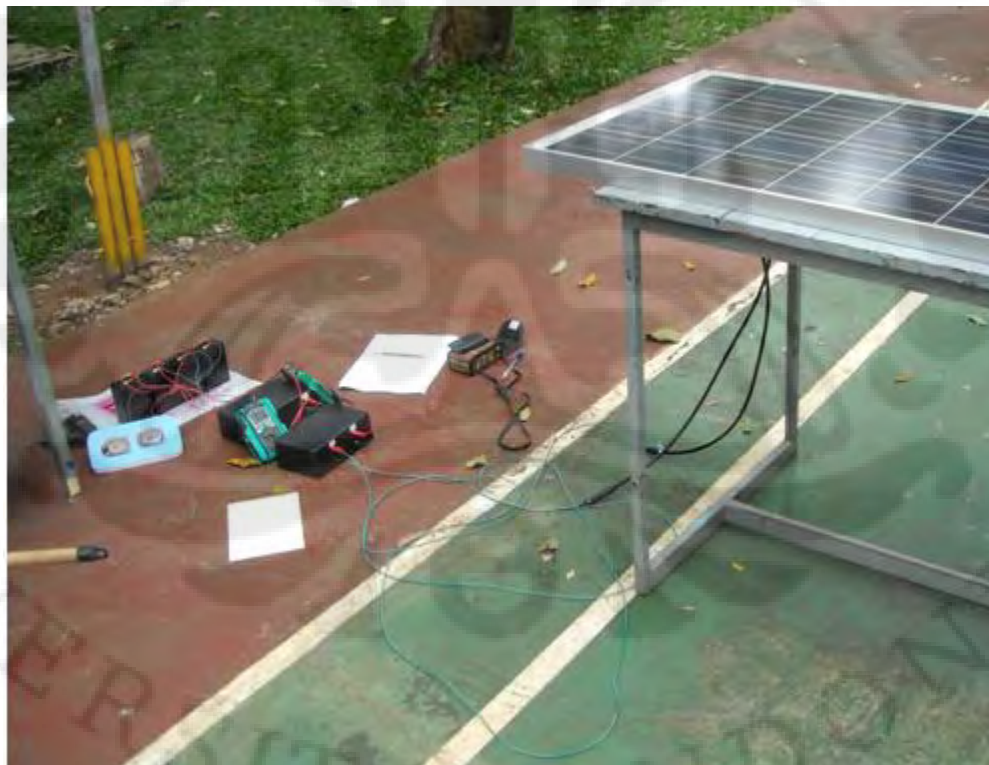


(c)

Gambar rangkaian tanpa beban (a), (b), dan (c)



(a)



(b)

Gambar rangkaian berbeban kipas (a) dan (b)