



UNIVERSITAS INDONESIA

**SISTEM CATU DAYA SEL SURYA UNTUK LAPTOP
BERBASIS *SWITCHING REGULATOR* DENGAN TEGANGAN
KELUARAN VARIABEL**

SKRIPSI

PRAYUDO KUSUMO WARDHANA

0806 315 881

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**SISTEM CATU DAYA SEL SURYA UNTUK LAPTOP
BERBASIS *SWITCHING REGULATOR* DENGAN TEGANGAN
KELUARAN VARIABEL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

PRAYUDO KUSUMO WARDHANA

0806 315 881

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Prayudo Kusumo Wardhana
NPM : 0806 315 881
Tanda Tangan : 
Tanggal : 13 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Prayudo Kusumo Wardhana
NPM : 0806315881
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Sistem Catu Daya Sel Surya untuk Laptop Berbasis
Switching Regulator dengan Tegangan Keluaran Variabel

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian 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. Agus Santoso Tamsir M.T. ()

Penguji : Taufiq Alif Kurniawan, S.T., M.Sc. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2012

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, puji syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana teknik dan bagian dari usaha penulis untuk dapat berkontribusi dalam bidang elektronika dan pengembangan sumber daya energi.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, akan sangat sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. NR. Poespawati, M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan fasilitas;
2. Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa, MK. yang telah memberikan izin penggunaan sel surya untuk pengujian
3. Pihak Laboratorium Elektronika DTE FTUI yang telah memberikan izin penggunaan perangkat laboratorium untuk proses pengujian.

Akhir kata penulis berharap dapat membalas kebaikan segala pihak yang telah membantu dan berdoa kepada Allah SWT agar memberi pahala yang pantas. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, 13 Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Prayudo Kusumo Wardhana

NPM : 0806315881

Program Studi : Teknik Elektro

Departemen : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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

**SISTEM CATU DAYA SEL SURYA UNTUK LAPTOP BERBASIS
SWITCHING REGULATOR DENGAN TEGANGAN KELUARAN
VARIABEL**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok

Pada tanggal : 13 Juni 2012

Yang menyatakan,



(Prayudo Kusumo Wardhana)

ABSTRAK

Nama : Prayudo Kusumo Wardhana
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Sistem Catu Daya Sel Surya untuk Laptop Berbasis
Switching Regulator dengan Tegangan Keluaran
Variabel

Skripsi ini membahas mengenai perancangan dan pengujian sistem regulasi energi sel surya sebagai sumber catu daya untuk laptop dengan tingkat tegangan keluaran yang dapat diatur. Penggunaan sel surya dimaksudkan untuk memanfaatkan alternatif energi lain, sehingga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar fosil. Dalam perancangannya, sistem catu daya ini menggunakan prinsip *Switching Regulator* dengan rangkaian terpadu L4970A. Pemilihan *Switching Regulator* dimaksudkan untuk menjaga kestabilan tegangan catu dan efisiensi sistem. Tujuan perancangan dan pengujian ini adalah untuk membuat sistem suplai catu daya laptop dengan spesifikasi tegangan catu 15-20 V. Dari hasil berbagai pengujian, terlihat bahwa efisiensi sistem ini cukup tinggi, sekitar 82%-90%. Sistem ini juga sudah teruji cukup baik untuk pencatuan beban pengganti. Agar dapat mencatu laptop secara optimal, sistem regulasi harus mendapat tegangan masukan minimal 24 V.

Kata kunci : *Switching Regulator*, sel surya, L4970A, laptop

ABSTRACT

Nama : Prayudo Kusumo Wardhana
Program Studi : Electrical Engineering
Judul : Solar Cell Power Supply System for Notebook Based on
Switching Regulator with Variable Output Voltage

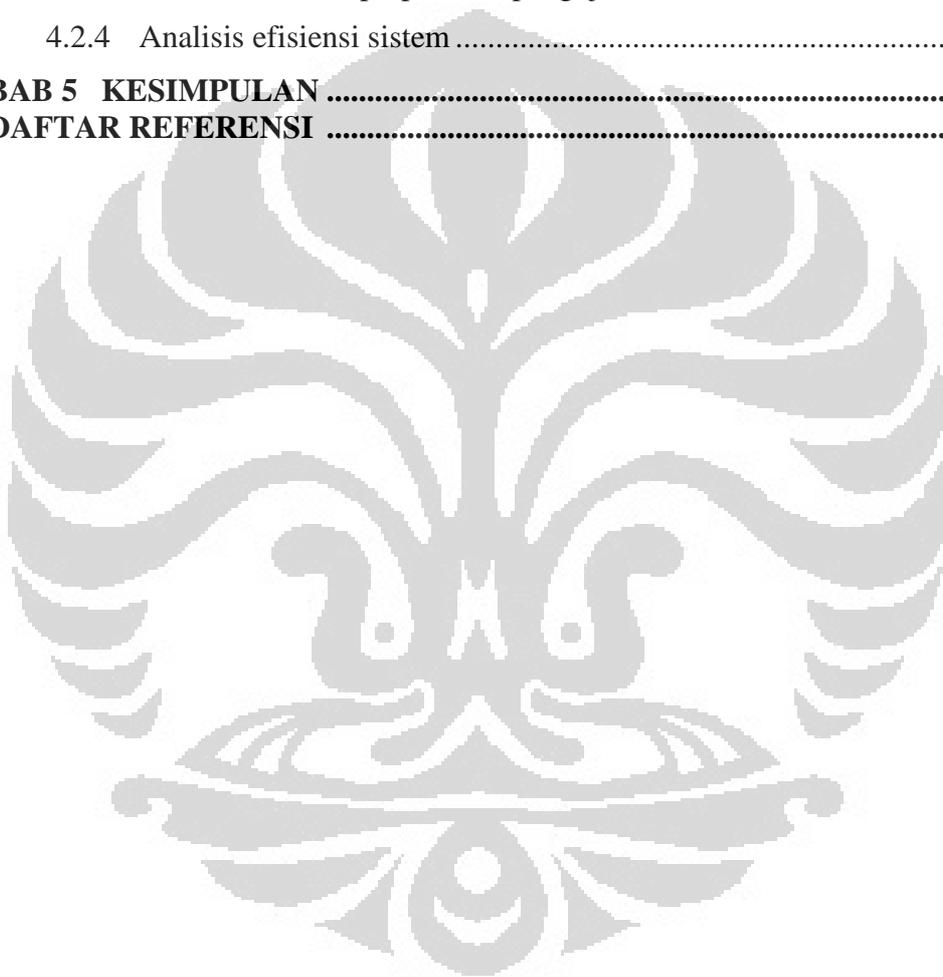
This undergraduate thesis describes about designing and testing of solar cell regulation system as power supply for laptop with adjustable *output* voltage level. Solar cell is used to utilize alternative power source, so it can decrease consumption of fossil fuel. In designing process, this power supply system uses Switching Regulator principle with IC L4970A. Switching Regulator is used to keep stability and efficiency of power supply *output*. The target is to make stable notebook power supply with *output* range from 15 V to 20 V. From various testing process, it can be seen that the system has quiet high efficiency, about 82%-90%. This system has also been proved quiet well for supplying supplementary load. This system should be supplied with 24 V minimum voltage *input* to be able to supply laptop correctly

Keyword: *Switching Regulator, Solar Cell, L4970A, Laptop*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	II
HALAMAN PENGESAHAN.....	III
UCAPAN TERIMA KASIH	IV
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	V
ABSTRAK	VI
ABSTRACT	VII
DAFTAR ISI.....	VIII
DAFTAR GAMBAR.....	X
DAFTAR TABEL	XI
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Perumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 DASAR TEORI.....	4
2.1 Sel Surya.....	4
2.1.1 Definisi.....	4
2.1.2 Struktur.....	4
2.1.3 Cara Kerja Sel Surya.....	5
2.1.4 Karakteristik Ideal Sel Surya.....	7
2.2 <i>Switching Regulator</i>	9
2.2.1 Definisi dan Cara Kerja.....	9
2.2.2 Keunggulan <i>Switching Regulator</i>	10
2.2.3 Jenis-jenis <i>Switching Regulator</i>	11
2.2.4 Komponen Penting pada <i>Switching Regulator</i>	14
2.2.5 Mode Kontinyu (<i>Continuous Mode/CCM</i>) & Diskontinyu <i>Discontinuous Mode/DCM</i>)	17
2.3 Rumus Umum.....	18
BAB 3 SISTEM CATU DAYA SEL SURYA UNTUK LAPTOP BERBASIS SWITCHING REGULATOR DENGAN TEGANGAN KELUARAN VARIABEL	19
3.1 Spesifikasi Sel Surya	19
3.2 Spesifikasi Laptop	19
3.3 Rangkaian <i>Switching Regulator</i>	20

BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS.....	26
4.1 Pengujian dengan Tegangan Sumber Tetap	26
4.1.1 Pengujian dengan beban resistor variabel	26
4.1.2 Pengujian dengan beban laptop.....	30
4.2 Pengujian dengan sel surya	35
4.2.1 Analisis panel surya pada proses pengujian	36
4.2.2 Analisis <i>Switching Regulator</i> dalam pengujian	37
4.2.3 Analisis beban laptop dalam pengujian.....	38
4.2.4 Analisis efisiensi sistem	39
BAB 5 KESIMPULAN	40
DAFTAR REFERENSI	41



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Penampang p-n junction pada sel surya	4
Gambar 2.2 Struktur modul sel surya	5
Gambar 2.3 Penampang distribusi konsentrasi serta <i>depletion region</i> pada <i>p-n junction</i> dalam kondisi ekuilibrium	6
Gambar 2.4 Proses terjadinya elektron dan <i>hole</i> pada sel surya silikon	6
Gambar 2.5 Kurva I-V sel surya ideal dan daya yang diproduksi oleh sel surya ...	7
Gambar 2.6 Prinsip <i>Linear regulator</i> sederhana.....	10
Gambar 2.7 Rancangan umum dan cara kerja <i>buck regulator</i>	12
Gambar 2.8 Arus induktor <i>buck converter</i>	12
Gambar 2.9 Rancangan umum dan cara kerja <i>boost regulator</i>	13
Gambar 2.10 Rancangan umum dan cara kerja <i>buck-boost regulator</i>	14
Gambar 2.11 (a) Mode Kontinyu (b) Mode Diskontinyu	17
Gambar 3.1 Bagan urutan perangkat catu daya laptop dengan sel surya.....	19
Gambar 3.2 Blok diagram fungsi sistem kerja L4970A	21
Gambar 3.3 Pin pada L4970A.....	21
Gambar 3.4 Rancangan <i>Switching Regulator</i> dengan L4970A.	23
Gambar 4.1 Skema pengujian sistem catu daya dengan beban pengganti menggunakan sumber suplai daya	27
Gambar 4.2 Contoh hasil keluaran untuk beban (a) $8,3\Omega$ dan (b) $5,8\Omega$	27
Gambar 4.3 Nilai arus keluaran pada tegangan keluaran tertentu	28
Gambar 4.4 Efisiensi Regulator Tiap Nilai Tegangan	29
Gambar 4.5 Skema pengujian sistem catu daya dengan beban laptop menggunakan sumber suplai daya	30
Gambar 4.6 Efek Variasi V_{input} terhadap kerja sistem	31
Gambar 4.7 Pengujian dengan $V_{input} \approx 24\text{ V}$ dan $V_{output} \approx$ (a) 19 V (b) 18 V	33
Gambar 4.8 Perbandingan <i>charging rate</i> pada (a) sistem regulator dan (b) adaptor asli	34
Gambar 4.9 Efisiensi pengujian menggunakan beban laptop dengan V_{input} tetap	34
Gambar 4.10 Skema pengujian sistem catu daya laptop dengan sel surya	36
Gambar 4.11 Laptop masih membaca catu dari sistem regulator	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan <i>Switching Regulator</i> dan <i>Linear Regulator</i>	11
Tabel 3.1 Penjelasan Fungsi Pin pada L4970A	21



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan perangkat bertenaga listrik di Indonesia saat ini berkembang sangat pesat. Listrik digunakan di hampir seluruh sendi kehidupan, baik komunikasi, informasi, industri, transportasi, dan lain sebagainya. Sayangnya, sebagian besar pembangkit listrik yang digunakan saat ini berbahan bakar fosil, seperti minyak dan batu bara, padahal cadangan energi fosil yang dimiliki dan dapat digunakan sangat terbatas. Sebagai perbandingan, seperti yang disampaikan oleh Kepala Balai Besar Teknologi Energi (B2TE) BPPT, Dr. Ir. Soni Solistia Wirawan, M. Eng, kebutuhan BBM saat ini sebesar 1,4 juta ton BBM / tahun untuk pasokan bagi 60% industri, sedangkan yang dapat Indonesia hasilkan hanya 0,9 juta ton / tahun, sehingga masih harus mengimpor 0,5 juta ton. Dengan kenyataan potensi yang dimiliki hanya 9 milyar barel, bahan bakar minyak yang dimiliki Indonesia akan habis kurang dari 20 tahun [1].

Di samping itu, penggunaan bahan bakar fosil, seperti minyak bumi juga dapat mengakibatkan pemanasan global. Hal ini karena penggunaan bahan bakar fosil akan menyisakan gas-gas ampas, seperti asam sulfur, CO dan CO₂. Gas CO₂ yang lepas ke udara akan mengakibatkan “efek rumah kaca” yang dapat mengakibatkan kenaikan suhu bumi. Asam sulfur yang terlepas ke udara juga dapat menyebabkan hujan asam [2].

Oleh karena itu, perlu ada sumber alternatif sebagai pembangkit tenaga listrik. Salah satu sumber yang cukup menjanjikan adalah tenaga surya. Tenaga surya memiliki beberapa kelebihan dibanding sumber energi yang lain, di antaranya persediannya hampir tak terbatas karena berasal dari matahari, tidak menghasilkan polusi, serta dapat dibangun di daerah terpencil yang tidak terjangkau transmisi listrik dari pembangkit pusat. Indonesia juga memiliki potensi tenaga surya yang besar. Lokasinya yang berada di garis khatulistiwa menyebabkan Indonesia mendapat penyinaran matahari lebih dari 6 jam sehari, dengan rata-rata radiasi surya mencapai 4,8 kWh/m² tiap harinya [3].

Salah satu perangkat yang menggunakan energi listrik dan cukup akrab bagi kalangan mahasiswa adalah laptop, karena kini laptop tidak hanya dipandang sebagai kebutuhan sampingan, namun menjadi salah satu kebutuhan utama, mengingat mobilitas mahasiswa yang cukup tinggi, namun harus tetap bisa menyelesaikan tugasnya dengan baik. Oleh karena itu, apabila suplai daya untuk perangkat laptop di lingkungan kampus bisa digantikan dengan energi alternatif, akan dapat mengurangi penggunaan energi fosil. Mengingat bahwa tiap laptop memiliki level tegangan catu yang berbeda-beda, maka agar dapat digunakan untuk semua jenis laptop, perangkat catu daya harus memiliki keluaran yang dapat disesuaikan dengan nilai tegangan catu yang dibutuhkan oleh masing-masing laptop. Dalam penelitian skripsi kali ini akan dipaparkan perangkat catu daya laptop bersumber sel surya dengan tegangan keluaran yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan catu laptop, menggunakan *switching regulator* berbasis IC L4970A.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian skripsi ini adalah:

1. Merancang dan membuat perangkat Sistem Catu Daya Tenaga Surya menggunakan *Switching Regulator* untuk Laptop dengan tegangan keluaran yang dapat disesuaikan menggunakan IC L4970A.
2. Menguji dan menganalisis perangkat yang telah dibuat

1.3 Perumusan Masalah

Untuk perancangan perangkat catu daya sel surya untuk laptop ini, perlu dilihat kebutuhan tegangan laptop secara umum, agar dapat diketahui spesifikasi sel surya yang tepat. Besar tegangan hubung terbuka sel surya perlu diperhitungkan agar persyaratan tegangan masukan minimum regulator dapat terpenuhi dan daya yang dibutuhkan oleh laptop terpenuhi. Perangkat catu daya yang dibuat juga harus memiliki fitur agar pengguna mampu menyesuaikan tegangan keluaran, mengingat setiap jenis laptop memiliki kebutuhan tegangan yang berbeda. Perangkat juga harus memiliki efisiensi yang tinggi.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian skripsi ini, penulis membatasi masalah pada perancangan dan pembuatan sistem *switching regulator* berbasis *buck converter* menggunakan IC L4970A serta pengujian dengan tegangan keluaran berkisar antara 15-20V menggunakan sumber suplai daya dan sel surya. Perancangan dilakukan menggunakan perangkat lunak Altium Designer dengan hasil perancangan berupa rangkaian dengan media PCB.

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pemahaman penulisan, penelitian skripsi ini dibagi dalam 5 bab yang disusun berdasarkan sistematika sebagai berikut: BAB I berisi pendahuluan yang mencakup latar belakang penulisan, tujuan penulisan, perumusan masalah, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan, BAB II menguraikan teori dasar, khususnya mengenai sel surya dan *switching regulator*, BAB III menguraikan rincian perangkat dan perancangan sistem, BAB IV menguraikan analisis rancangan secara teori, dan BAB V berisi kesimpulan dari penelitian skripsi.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Sel Surya

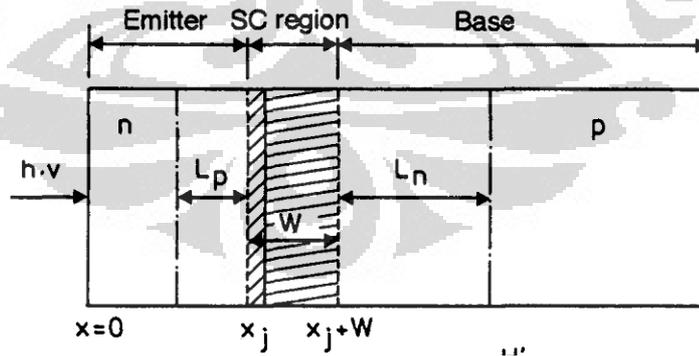
2.1.1 Definisi

Sel Surya adalah suatu perangkat yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip *photovoltaic*. Prinsip *photovoltaic* ialah suatu prinsip yang memungkinkan timbulnya listrik sebagai akibat dari generasi muatan yang disebabkan oleh radiasi foton cahaya.

2.1.2 Struktur

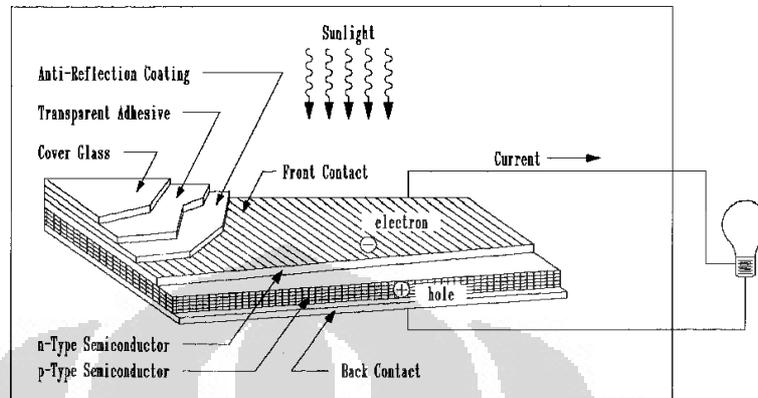
Pada umumnya, struktur sel surya merupakan penggabungan bahan semikonduktor dengan sifat level energi berbeda. Salah satu struktur yang sering digunakan dalam sel surya adalah *p-n junction*.

Layaknya pada diode, *p-n junction* untuk sel surya terdiri dari gabungan bahan dengan *dopant* golongan III (membentuk semikonduktor tipe-p) dan bahan dengan *dopant* golongan V (membentuk semikonduktor tipe-n). Pada Gambar 2.1 ditunjukkan penampang *p-n junction* pada sel surya.



Gambar 2.1. Penampang p-n junction pada sel surya[4]

Struktur lengkap dari suatu modul sel surya dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.2.



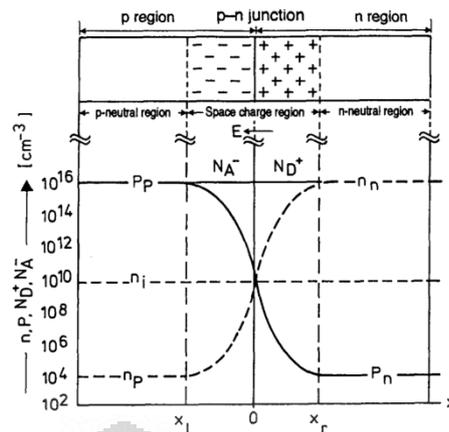
Gambar 2.2 Struktur modul sel surya[5]

Struktur umum sel surya terdiri dari beberapa bagian, yaitu

- *p-n junction*, berfungsi sebagai sumber muatan,
- lapisan AR (*Anti Reflective*), berfungsi untuk mengurangi cahaya memantul
- Kontak, berbahan dasar metal.
- Lapisan kaca, untuk perlindungan mekanis.

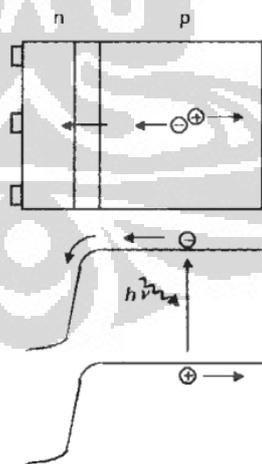
2.1.3 Cara Kerja Sel Surya

Pada suatu struktur *p-n junction*, ada area yang disebut *depletion region*, yakni area pada titik sambungan yang memiliki medan listrik. Area ini timbul akibat terkumpulnya ion-ion positif pada sisi tipe-n dan ion-ion negatif pada sisi tipe-p sebagai akibat terlepas dan berpindahannya elektron. Pada kondisi *equilibrium*, *depletion region* ini mengakibatkan total arus yang mengalir bernilai 0. Gambar 2.3 menunjukkan distribusi konsentrasi serta *depletion region* pada *p-n junction* dalam kondisi *equilibrium*.



Gambar 2.3 Penampang distribusi konsentrasi serta *depletion region* pada *p-n junction* dalam kondisi ekuilibrium [4]

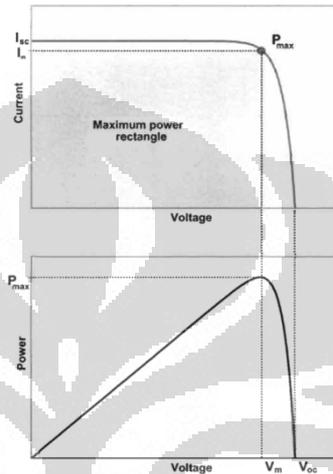
Saat suatu sel surya terpapar cahaya matahari, energi dari foton akan diserap oleh elektron pada material, sehingga elektron akan memiliki cukup energi untuk lepas dari atom dan menimbulkan generasi pasangan elektron-hole. Akibat adanya medan listrik pada *depletion region*, elektron dari tipe-p akan tertarik ke tipe-n dan sebaliknya untuk *hole*. Apabila *p-n junction* ini dihubungkan pada suatu beban, arus akan mengalir, dan saat elektron kembali ke material tipe-p, elektron akan berkombinasi kembali. Proses terjadinya elektron dan *hole* pada sel surya silikon ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Proses terjadinya elektron dan *hole* pada sel surya silikon. Saat terkena cahaya, energi foton menghasilkan pasangan elektron-hole yang bergerak ke arah yang berlawanan [6]

2.1.4 Karakteristik Ideal Sel Surya

Ada beberapa karakteristik pada sel surya yang cukup penting untuk diperhatikan. Karakteristik I-V ini berkaitan dengan kurva I-V sel surya. Kurva I-V sel surya merupakan superposisi kurva I-V dioda sel surya dengan arus yang dihasilkan oleh cahaya (*light generated current*). Gambar 2.5 menunjukkan kurva I-V ideal dan daya pada sel surya.



Gambar 2.5 Kurva I-V sel surya ideal dan daya yang diproduksi oleh sel surya [6]

Karakteristik tersebut di antaranya :

- Arus total.

Arus total didapat dengan mengurangi arus gelap diode (arus saat tidak ada cahaya) (I_D) dengan arus akibat pencahayaan (I_L). Hal ini sesuai dengan persamaan sel surya Shockley[7],

$$I = I_D - I_L = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] - I_L \quad (2.1)$$

dengan I_0 adalah arus saturasi. Arus saturasi ini disebut juga arus difusi atau arus bocor (bernilai 10^8 Am^2 untuk sel surya yang baik), e adalah nilai muatan, dan k adalah konstanta Boltzmann. Beberapa referensi menuliskan perumusan,

$$I = I_L - I_D \quad (2.2)$$

yang pada dasarnya sama dengan perumusan sebelumnya, hanya saja akan berbeda polaritas.

- Arus Hubung Singkat (I_{sc})

Arus hubung singkat adalah arus saat tidak ada beban pada rangkaian ($R=0$). Pada sel surya, nilainya sebesar arus akibat pencahayaan (I_L). Arus hubung singkat bergantung pada beberapa parameter sebagai berikut[8]:

- Luas sel surya (*area*). Hubungan arus singkat yang berhubungan dengan luas sel surya dinotasikan sebagai densitas arus hubung singkat (*short circuit current density* / J_{sc} dalam mA/cm^2). Parameter J_{sc} digunakan untuk sel surya dan parameter I_{sc} digunakan untuk modul surya dan panel surya
- Jumlah foton (daya yang dihasilkan sumber cahaya). I_{sc} secara langsung bergantung terhadap intensitas cahaya.
- Spektrum sumber cahaya. Dalam kebanyakan pengukuran sel surya, spektrum distandarisasikan terhadap spektrum AM1.5
- Parameter optik (absorpsi dan pantulan) sel surya

Sel surya silikon dengan spektrum AM1.5G mempunyai arus maksimum yang memungkinkan sebesar $46\text{mA}/\text{cm}^2$. Sel surya komersial mempunyai besar arus hubung singkat antara $28\text{mA}/\text{cm}^2$ dan $35\text{mA}/\text{cm}^2$ [8].

- Tegangan Rangkaian Terbuka (V_{oc})

Tegangan rangkaian terbuka adalah besarnya tegangan pada kondisi arus total I bernilai 0. Besarnya dirumuskan dengan[7],

$$V_{oc} = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad (2.3)$$

Tegangan V_{oc} adalah besar tegangan untuk nilai beban maksimum pada rangkaian.

- *Fill Factor* (FF)

Fill factor, disebut juga faktor kurva, merupakan nilai pengukuran dari ketajaman lengkung dari suatu kurva I-V, yang menandakan seberapa baik *junction* dibuat dan seberapa rendah resistansi yang ditimbulkan. FF dirumuskan dengan[7],

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2.4)$$

Besarnya FF dapat menurun akibat adanya resistansi seri dan akan menjadi lebih besar saat V_{oc} bernilai tinggi. Nilai maksimum FF adalah 1.

- Efisiensi Sel Surya

Efisiensi pada sel surya adalah perbandingan antara daya maksimal dengan daya masukan dari foton cahaya matahari[7],

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{V_{max} \times I_{max}}{P_{light}} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{I(t) \times A_c} \quad (2.5)$$

dengan $I(t)$ adalah intensitas matahari dan A_c adalah luas area sel surya.

2.2 *Switching Regulator*

2.2.1 Definisi dan Cara Kerja

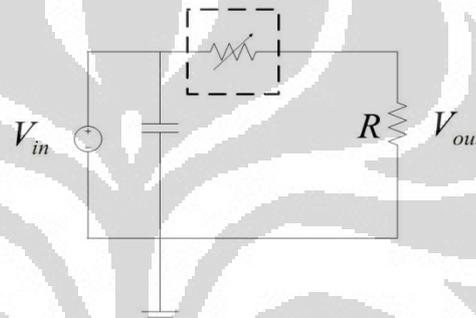
Switching regulator, atau sering disebut juga SMPS (*Switching Mode Power Supply*) adalah salah satu jenis regulator tegangan DC-DC yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan keluaran yang tetap dari tegangan masukan yang berubah-ubah, dengan menggunakan prinsip *switching*. *Switching regulator* dapat mengubah tegangan DC menjadi tegangan DC lain yang besarnya lebih tinggi, lebih rendah, ataupun memiliki polaritas yang terbalik.

Untuk meregulasi tegangan, SMPS mengambil energi dari tegangan masukan sedikit demi sedikit, menggunakan prinsip *on-off switch* berulang,

Proses *switching* ini menggunakan *switch* elektrik dan pengendali. Kecepatan *switch* yang digunakan sangat cepat, bisa mencapai antara 50kHz-1MHz.

2.2.2 Keunggulan *Switching Regulator*

Switching Regulator memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan jenis *Linear Regulator*. Hal ini karena pada *linear regulator*, yang secara sederhana dapat dianalogikan dengan sebuah potensiometer, di mana daya yang tidak terpakai diubah menjadi panas[9]. Prinsip *Linear Regulator* sederhana dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Prinsip *Linear regulator* sederhana [9]

Contohnya, apabila sistem linear regulator memiliki V_{input} sebesar 24 V, dan nilai V_{output} yang diinginkan sebesar 18 V, maka akan terdapat tegangan jatuh sebesar 6 V pada sistem. Bila arus yang mengalir pada keluaran sebesar 10 A, maka sesuai rumus daya, daya yang terbuang menjadi sebesar :

$$P = I.V = 10A * 6V = 60 \text{ W} \quad (2.6)$$

Daya ini akan diubah menjadi panas dan tentunya akan menurunkan efisiensi, hingga mencapai angka 75%. Efisiensi ini akan mengecil secara linear seiring penurunan nilai V_{output} .

Prinsip yang berbeda digunakan oleh *switching regulator*. Besarnya nilai tegangan keluaran ditentukan oleh *duty cycle* dari proses *switching* yang dilakukan dengan frekuensi tinggi. *Duty cycle* adalah perbandingan waktu *switch* tertutup dengan perioda *switching*. Pada sistem *switching regulator*

sederhana, seperti *buck regulator*, nilai *duty cycle* ini sama dengan perbandingan antara V_{out} dan V_{in} . Karena berdasarkan pada proses *switching*, *switching regulator* hampir tidak memiliki resistansi sehingga daya yang terbuang menjadi panas sangat kecil. Hal ini menyebabkan *switching regulator* memiliki efisiensi yang tinggi.

Beberapa perbandingan lain antara *switching regulator* dan *linear regulator* dapat dilihat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan *Switching Regulator* dan *Linear Regulator* [9]

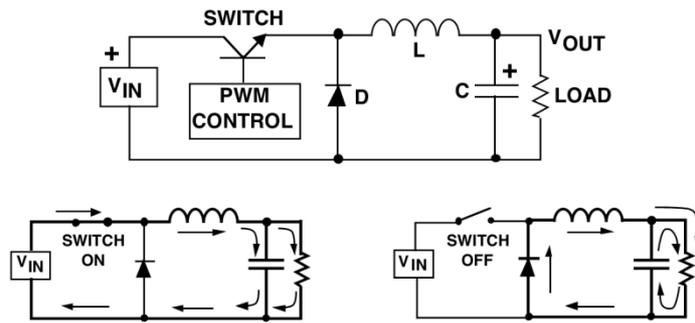
	<i>Linear</i>	<i>Switching</i>
Fungsi	Hanya <i>step-down</i>	<i>Step up, step down, inverting</i>
Efisiensi	Rendah menengah. Tinggi jika $V_{in}-V_{out}$ kecil	Tinggi
Panas terbuang	Tinggi	Rendah
Kompleksitas	Sederhana, hanya memerlukan regulator dan kapasitor	Menengah rumit. Memerlukan induktor, dioda, dan kapasitor filter, serta FET.
Ukuran	Kecil menengah	Besar (untuk daya rendah), kecil (untuk daya tinggi)
Biaya Total	Rendah	Menengah atas
<i>Noise/Ripple</i>	Rendah	Menengah atas

2.2.3 Jenis-jenis *Switching Regulator*

Ada beberapa jenis *switching regulator* yang umum digunakan, di antaranya :

- *Buck Regulator*

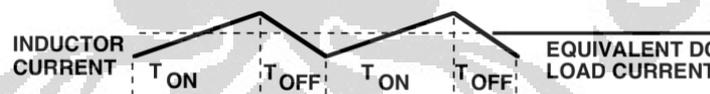
Buck Regulator berfungsi menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah dari tegangan masukan dengan polaritas yang sama. Rancangan umum dan cara kerja dari *buck regulator* digambarkan seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Rancangan umum dan cara kerja *buck regulator*. [10]

Saat *switch on*, tegangan masukan dihubungkan ke induktor, dan arus akan melewati induktor dengan nilai yang terus meningkat. Selama waktu *on*, arus induktor mengalir melalui beban dan kapasitor.

Saat *switch off*, tegangan masukan dihilangkan, namun karena arus induktor tidak dapat berubah mendadak, tegangan pada induktor akan menjaga arus konstan. Arus dari induktor akan mengalir melewati beban dan kembali melalui dioda. Kapasitor akan *discharge* muatan ke beban selama waktu *off*, menambah arus total yang dialirkan ke beban. Gambar 2.8 menunjukkan perubahan arus induktor pada waktu T_{on} dan T_{off} .



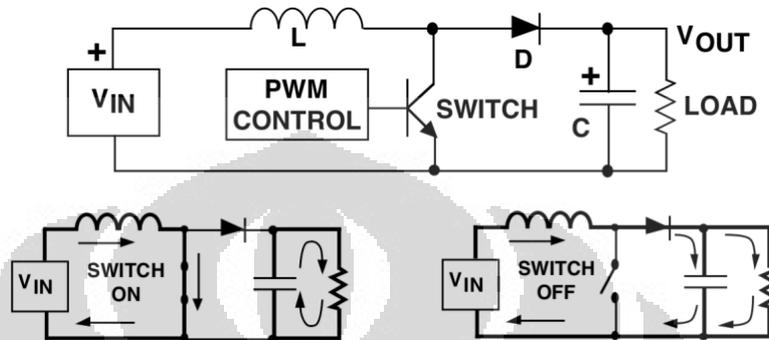
Gambar 2.8 Arus induktor *buck converter*. [10]

Dari Gambar 2.8 terlihat bahwa arus yang melalui induktor meningkat saat *switch on* dan menurun saat *switch off*. Arus beban DC merupakan rata-rata dari arus induktor, sedangkan beda arus puncak-puncak disebut **arus riak induktor**, yang biasanya diusahakan di bawah 20%-30% dari arus DC[10].

Buck Regulator adalah jenis converter DC-DC yang paling banyak digunakan pada aplikasi manajemen daya dan regulator tegangan mikroprosesor[9].

- *Boost Regulator*

Boost Regulator berfungsi menghasilkan tegangan keluaran DC yang lebih besar dari tegangan masukan dengan polaritas yang sama. Rancangan umum dan cara kerja dari *boost regulator* digambarkan seperti pada Gambar 2.9.



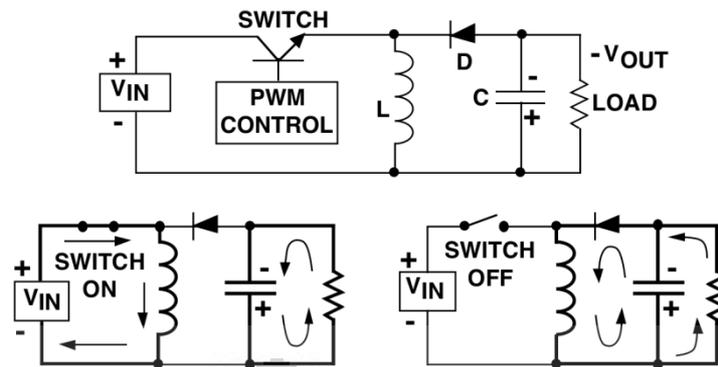
Gambar 2.9 Rancangan umum dan cara kerja *boost regulator*. [10]

Saat *switch on*, tegangan masukan didorong melewati induktor hingga menyebabkan arus yang melewatinya meningkat. Saat *switch off*, arus akan mengalir melewati dioda, sehingga kapasitor dapat *charge up* hingga nilai tegangan yang melebihi tegangan masukan. Pada kondisi tunak (*steady-state*), arus induktor melewati kapasitor dan beban saat waktu *off*, sedangkan saat waktu *on* arus beban hanya dicatu oleh kapasitor.

Hal yang penting dari *boost regulator* adalah, arus beban dan arus *switch* tidak sama dan daya yang dapat diberikan pada beban akan lebih kecil dari daya pada transistor. Besarnya arus keluaran akan lebih kecil dari arus masukan, karena tegangan keluaran lebih besar dari tegangan masukan.

- *Buck-Boost Regulator*

Buck-Boost Regulator berfungsi menghasilkan tegangan keluaran yang bisa lebih besar ataupun lebih kecil dari tegangan masukan dengan polaritas terbalik. Rancangan umum dan cara kerja dari *buck-boost regulator* digambarkan seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Rancangan umum dan cara kerja *buck-boost regulator*. [10]

Saat *switch on*, tegangan masukan didorong melewati induktor, meningkatkan arusnya. Selama *on time*, arus beban hanya disuplai oleh *discharge* kapasitor. Saat *switch off*, induktor akan menyuplai arus untuk kapasitor keluaran dan beban. Perlu diperhatikan bahwa muatan yang hilang pada kapasitor selama *on time* harus dapat diganti selama kondisi *off time*.

2.2.4 Komponen Penting pada *Switching Regulator*

Terdapat beberapa komponen penting yang harus diperhatikan dalam proses pembuatan suatu sistem *Switching Regulator*, yaitu :

- *Switch*

Sesuai dengan namanya, salah satu komponen regulator penting dalam sistem *switching regulator* adalah *switch*. Dalam aplikasi SMPS, *switch* yang digunakan adalah *transistor*. *Switch* yang digunakan harus memiliki waktu *switching* yang tetap dan mampu bertahan terhadap *spike* tegangan yang dihasilkan induktor. Masukan *gate* transistor biasanya berupa sinyal PWM (*Pulse Width Modulated*) yang akan menentukan waktu ON dan OFF. Besar dan jenis *switch* yang digunakan tergantung besarnya arus beban dan kapabilitas tegangan kondisi mati [9].

Jenis *switch* yang digunakan bisa berupa MOSFET, IGBT, JFET, maupun BJT. MOSFET memiliki kemampuan frekuensi kerja yang lebih

tinggi dibanding BJT, namun dengan tegangan kerja yang lebih kecil, karena sifat intrinsik MOSFET menghasilkan resistansi-nyala yang akan bertambah pada saat tegangan *breakdown* perangkat ditingkatkan. Perangkat lain yang dapat bekerja seperti BJT ialah IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*), namun *switch* ini hanya bisa bekerja pada $f < 50\text{kHz}$.

Pemilihan frekuensi kerja menentukan performansi *switch*. Frekuensi ini biasanya ditentukan oleh kebutuhan efisiensi. Semakin tinggi frekuensi *switching*, semakin kecil ukuran dan nilai komponen yang digunakan. Namun frekuensi yang terlalu tinggi dapat meningkatkan rugi magnetik pada induktor atau rugi *switching* pada MOSFET sehingga mengurangi efisiensi [9].

- Induktor

Fungsi induktor adalah membatasi tingkat kemiringan arus yang menggambarkan seberapa cepat perubahan nilai arus pada kondisi ON ke OFF atau sebaliknya pada *switch*. Pembatasan ini dapat terjadi karena sifat arus pada induktor yang tidak dapat berubah secara tiba-tiba. Saat arus yang masuk ke induktor jatuh, induktor berperan sebagai sumber arus sementara bagi beban, sehingga arus pada beban tidak ikut jatuh tiba-tiba. Induktor juga membatasi persentase riak arus dan menentukan apakah rangkaian bekerja pada mode kontinyu atau tidak.

Sebagai salah satu media penyimpanan energi pada *switching regulator*, induktor perlu mendapatkan perhatian khusus agar keluaran yang dihasilkan menjadi stabil. Hal ini karena arus yang melewati induktor mengandung komponen AC dan DC, di mana komponen AC-nya harus dibatasi. Besar induktansi yang digunakan sangat penting untuk ditentukan. Besarnya nilai induktor yang dibutuhkan untuk suatu *switching regulator* dengan tegangan masukan V_i , tegangan keluaran V_o , frekuensi *switching* f_{sw} , dan persentase arus riak induktor ΔI_L (umumnya sekitar 10-30% [11]) dirumuskan dengan

$$L = \left[(V_i - V_o) \cdot \frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{1}{f_{sw}} \right] \cdot \frac{1}{\Delta I_{L,max}} \quad (2.7)$$

Besarnya induktor yang dibutuhkan dapat dikurangi dengan implementasi frekuensi *switching* yang tinggi, topologi *multi-phase interleaved*, dan pengendali histerik yang cepat. Nilai induktor yang lebih kecil dari perhitungan memungkinkan respon transien yang lebih cepat, namun juga riak arus keluar yang lebih besar, sehingga dapat meningkatkan rugi konduksi pada *switch*, induktor, dan resistansi parasitik. Induktor bernilai kecil juga perlu kapasitor filter yang lebih besar untuk mengurangi riak tegangan keluaran. Induktor yang digunakan umumnya dililit pada inti toroidal yang dibuat dari ferit atau besi bubuk.

- Kapasitor

Kapasitor memungkinkan terjadinya proses penyaringan dengan menyediakan jalur bagi arus harmonik untuk menjauhi beban. Kapasitansi keluaran dibutuhkan untuk mengurangi *overshoot* dan riak tegangan yang terjadi pada keluaran pada regulator. Kapasitor yang digunakan harus cukup besar hingga tegangan keluaran tidak mengalami penurunan berarti saat *switch* terbuka. Kapasitansi keluaran yang terlalu kecil akan mengakibatkan *overshoot*, serta riak tegangan ΔV_o yang tinggi bila dibarengi dengan ESR (*Equivalent Series Resistance*) yang tinggi [9].

Nilai ΔV_o dipengaruhi riak arus induktor dan nilai ESR (*Equivalent Series Resistance*). Ada beberapa cara untuk dapat mengurangi ESR dari kapasitor keluaran, di antaranya adalah memilih kapasitor dengan ESR rendah, seperti jenis *solid tantalum*, EKE dan EKR, atau memasang beberapa kapasitor secara paralel, karena nilai resistansi akan mengecil bila dipasang paralel [11].

- Dioda *Freewheeling*

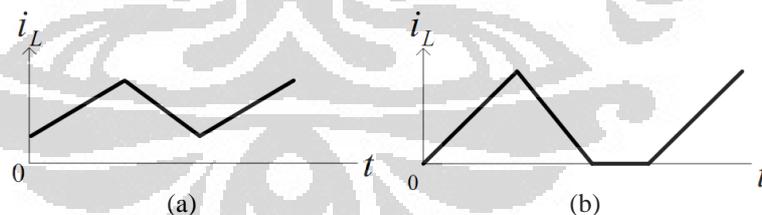
Pada bagian dekat induktor terdapat dioda *freewheeling/flyback*. Dioda ini berfungsi untuk mencegah terjadinya lompatan arus (*arc*) pada *switch* yang terbuka akibat tegangan pada induktor. Penyebab terjadinya *arc* ini disebabkan oleh kondisi *charging* dan *discharging* induktor saat kondisi *switching*. Pada kondisi *switch* tertutup, arus mengalir dari sumber

melalui induktor, sehingga induktor terisi muatan, sedangkan pada kondisi *switch* terbuka, arus dari sumber akan berhenti mengalir. Saat arus dari sumber berhenti, induktor akan berusaha menahan perubahan arus yang tiba-tiba dengan memanfaatkan energi yang dimilikinya untuk menghasilkan tegangan. Akibat adanya tegangan ini, dapat timbul percikan atau lompatan arus pada *switch* yang terbuka.

Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam memilih dioda untuk *flyback* pada desain regulator ini, yaitu memiliki tegangan jatuh yang rendah, memiliki kapasitas arus maju yang besar, waktu *recovery* catu balik yang cepat (40-50 ns), dan tegangan batas catu balik yang lebih besar dari suplai daya. Dioda Schottky menjadi jenis dioda yang umum digunakan karena memenuhi persyaratan tersebut.

2.2.5 Mode Kontinyu (*Continuous Mode/CCM*) & Diskontinyu (*Discontinuous Mode/DCM*)

Switching Regulator, khususnya *Buck Converter*, dapat bekerja pada Mode Kontinyu atau Diskontinyu. Perbedaan dari kedua mode ini adalah pada Mode Kontinyu arus pada induktor tidak pernah mencapai nilai nol, seperti digambarkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 (a) Mode Kontinyu (b) Mode Diskontinyu[9]

Pada mode CCM, arus mengalir secara kontinyu di induktor selama siklus *switching* pada operasi tunak. Biasanya CCM memiliki performansi yang lebih baik, dan memungkinkan daya keluaran maksimal dengan tegangan *input* dan tingskat arus *switch* tertentu.

Pada DCM, arus di dalam induktor dapat mencapai nilai nol dan tetap nol pada sebagian waktu siklus *switching*. Pada aplikasi dengan arus

beban keluaran kecil, desain dengan DCM memiliki kelebihan, yaitu dapat menghasilkan ukuran perangkat yang lebih kecil. Namun nilai kapasitor keluaran harus besar agar memiliki tegangan keluaran yang konstan.

2.3 Rumus Umum

Ada beberapa rumus umum yang digunakan dalam perancangan ini, di antaranya :

- Nilai V_{out} maksimum

$$V_{omax} = \frac{R_3 + R_5}{R_5} \cdot 5,1 V \quad (2.7)$$

- Nilai arus

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.8)$$

-Frekuensi *Switching* [12]

$$f_{SW} = \frac{9}{R_{OSC}C_{OSC}} \quad (2.9)$$

atau untuk $f > 200\text{kHz}$

$$f_{SW} = \frac{1}{\frac{R_{OSC}C_{OSC}}{9} + T_{DISCH}} \quad (2.10)$$

dengan

$$T_{DISCH} = \frac{V_{th-H} - V_{th-L}}{20mA} \cdot C_{OSC} \quad (2.11)$$

$$V_{th-H} = \frac{V_i - 9V_{BE}}{R_{OSC}} + 2V_{BE} \quad (2.12)$$

$$V_{th-L} = 2V_{BE} \quad (2.13)$$

BAB 3

SISTEM CATU DAYA SEL SURYA UNTUK LAPTOP BERBASIS SWITCHING REGULATOR DENGAN TEGANGAN KELUARAN VARIABEL

Rangkaian catu daya laptop yang dibuat secara umum terdiri dari 3 komponen, yaitu sel surya, rangkaian *switching regulator*, dan perangkat laptop itu sendiri. Susunan ketiga perangkat ini digambarkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan urutan perangkat catu daya laptop dengan sel surya.

3.1 Spesifikasi Sel Surya

Jenis dan spesifikasi sel surya yang digunakan memiliki tegangan puncak berkisar antara 25 - 30 V dengan nilai arus puncak sekitar 3-4 A (sesuai dengan tingkat tegangan dan arus adaptor laptop), sehingga memiliki daya puncak sekitar 80-100 W. Hal ini bertujuan untuk mengantisipasi tegangan jatuh pada regulator serta pelemahan paparan cahaya matahari selama masa pencatuan baterai laptop.

3.2 Spesifikasi Laptop

Laptop yang akan diujicobakan adalah laptop Asus A43SJ dengan tingkat tegangan adaptor tertulis sebesar 19 V / 4,74 A. Dari hasil pengukuran pada beberapa kondisi, didapatkan nilai tegangan dan arus yaitu :

- Tanpa baterai
 - Baru dinyalakan (*booting*) : $V = 19 \text{ V}$; $I = 1,7 \text{ A}$
 - Kondisi tidak digunakan (*siaga*) : $V = 18,9 \text{ V}$; $I = 0,75 \text{ A}$
 - Dijalankan dengan proram berat : $V = 18,5 \text{ V}$; $I = 1,7 \text{ A}$

- Dengan baterai
 - Tidak dinyalakan (pengisian baterai) : $V = 19 \text{ V}$; $I = 1,2 \text{ A}$
 - Dinyalakan (*booting*) : $V = 19 \text{ V}$; $I = 4,2 \text{ A}$
 - Kondisi tidak digunakan (siaga) : $V = 18,9 \text{ V}$; $I = 3,5 \text{ A}$
 - Dijalankan dengan proram berat : $V = 18,5 \text{ V}$; $I = 4,3 \text{ A}$

3.3 Rangkaian *Switching Regulator*

Rangkaian yang digunakan adalah *switching regulator* jenis *Buck Converter*, karena sel surya yang digunakan memiliki nilai tegangan maksimum yang lebih tinggi dibandingkan level tegangan catu daya laptop. Hal ini untuk mengantisipasi berkurangnya intensitas cahaya yang diterima sel surya, yang dapat mengurangi tegangan keluaran sel surya.

Salah satu komponen penting yang digunakan dalam *switching regulator* ini adalah *Integrated Circuit* (IC). Penggunaan IC dapat menggantikan kerja beberapa perangkat lain yang ada pada regulator konvensional, seperti *PWM / timer*, sehingga menyederhanakan rangkaian yang dibuat. Pada rangkaian kali ini, IC yang digunakan adalah L4970A dari ST Electronics. IC ini pernah digunakan oleh Muhammad Insan untuk membuat sistem catu *Switching Regulator* bersumber sel surya dengan tegangan keluaran tetap [12].

L4970A adalah sebuah Sirkuit Terpadu (*Integrated Circuit / IC*) dengan fungsi *step down switching regulator (buck converter)*. L4970A dapat menghasilkan keluaran arus hingga maksimal 10A dengan rentang tegangan keluaran 5,1 V – 40V, yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan. L4970A memiliki kemampuan untuk melakukan *soft start*, operasi kerja terus menerus, serta dapat bekerja pada frekuensi *switching* hingga 500 kHz, sehingga dapat mengurangi ukuran dan biaya komponen filter eksternal. Blok diagram fungsi dari sistem kerja IC L4970A dapat dilihat pada Gambar 3.2.

10	FREQUENCY COMPENSATION	Terhubung dengan rangkaian RC menuju ground, menentukan karakteristik penguatan <i>loop</i> regulasi.
11	FEEDBACK INPUT	Terminal <i>Feedback Loop</i> Regulasi. Terhubung langsung dengan keluaran untuk nilai tegangan 5,1 V atau dengan pembagi untuk tegangan keluaran lebih besar.
12	SOFTSTART	Terhubung dengan kapasitor menuju ground untuk mengatur konstanta waktu <i>soft start</i> .
13	SYNC INPUT	Digunakan untuk sinkronisasi beberapa L4970A.
14	V _{REF}	Tegangan referensi 5,1 V
15	V _{START}	Rangkaian <i>start-up</i> internal untuk mengendalikan daya.

L4970A memiliki efisiensi yang cukup tinggi, sekitar 80%-85%[11]. Nilai efisiensi pada aplikasi dengan IC L4970A dipengaruhi oleh beberapa faktor rugi daya, yaitu :

- P_{sat}, yaitu rugi saturasi pada transistor daya Q yang meningkat seiring penurunan V_i.

$$P_{sat} = V_{sat} \cdot I_o \frac{T_{on}}{T} + V_{sat} \cdot I_o \frac{V_o}{V_i}$$

dengan $T_{on}/T = V_o/V_i$ dan V_{sat} adalah tegangan saturasi transistor daya pada arus I_o.

- P_D, yaitu rugi pada dioda *freewheeling* yang meningkat seiring peningkatan V_i, yang berakibat pada peningkatan T_{ON} pada dioda.

$$P_D = V_F \cdot I_o \frac{V_i - V_o}{V_i} = V_F \cdot I_o \left(1 - \frac{V_o}{V_i}\right)$$

dengan V_F adalah tegangan maju dioda.

- P_L, yaitu rugi akibat resistansi seri pada kumparan

$$P_L = R_S I_o^2$$

- P_q, yaitu rugi akibat arus *stand-by* dan arus pengendali daya

$$P_L = V_i I_q$$

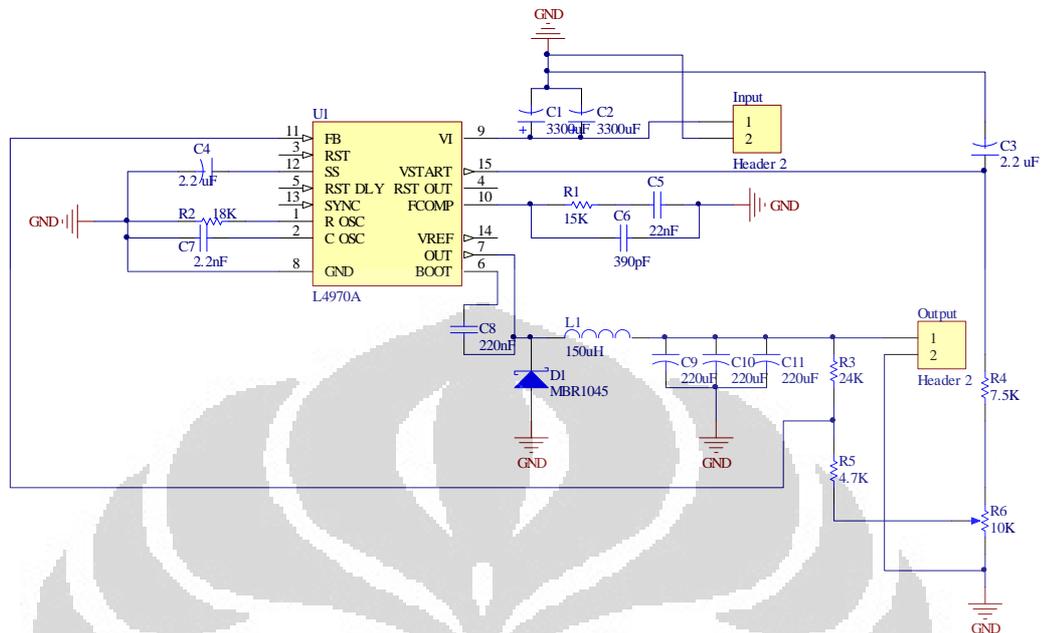
dengan I_q adalah arus suplai kerja pada frekuensi *switching* kerja.

- P_{sw}, yaitu rugi pada transistor daya

$$P_{sw} = V_i \cdot I_o \frac{t_r - t_f}{2T}$$

Dalam *application note* L4970A terdapat beberapa rancangan contoh aplikasi, termasuk aplikasi untuk desain *switching regulator* dengan tegangan

keluaran yang bervariasi. Berdasarkan desain ini, dibuatlah rancangan *switching regulator* untuk aplikasi catu daya sel surya, seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rancangan *Switching Regulator* dengan L4970A.

Ada beberapa hal yang menjadi perhatian dalam desain ini, di antaranya :

- Tegangan Keluaran

Tegangan keluaran pada rancangan *switching regulator* ini diatur oleh potensiometer P, dengan tegangan puncak yang ditentukan oleh R3 dan R5. Bila tegangan keluaran maksimum V_o diinginkan sebesar 30 V, maka R3 bernilai 24K Ω dan R5 bernilai 4,7 K Ω . Hal ini karena masukan pin 11 harus bernilai sekitar 5,1 V, sehingga apabila dihitung dengan *voltage divider* dengan menggunakan persamaan (2.7), nilai V_{omax} dapat diketahui

$$V_{omax} = \frac{R_3 + R_5}{R_5} \cdot 5,1 V = \frac{24k + 4,7k}{4,7k} \cdot 5,1 V \approx 31V$$

Besarnya arus yang mengalir pada R3 sebesar 1 mA dan dengan mengurangi arus pada R3, maka V_o dapat dikurangi [11]. Untuk mendapatkan V_o sebesar 0V, maka arus yang mengalir (arah terbalik) adalah sebesar

$$I_3 = \frac{V_{rev}}{R_3} = \frac{5,1V}{24K} = 0,21mA$$

$$\Delta V_{R5} = R_5 \cdot 0,21 = 4,7k \cdot 0,21 = 1V,$$

Sehingga apabila tegangan pada potensiometer “P” mencapai $V_{ref}+1V$, tegangan keluaran akan bernilai 0. Apabila “P” dipasang pada nilai maksimum, nilai tegangan jatuhnya diharapkan sekitar 6V, sehingga bila P bernilai 10k Ω , dengan keluaran pin 15 sebesar 12 V, besarnya R_4 akan menjadi 7,5K Ω [11].

- Frekuensi *Switching*.

Frekuensi *Switching* atau frekuensi osilasi adalah frekuensi yang berfungsi untuk mengatur berapa kali transistor pada regulator mengalami *switching* tiap detik. Frekuensi *switching* f_{sw} ditentukan oleh sinyal berbentuk *sawtooth* yang dihasilkan osilator, dan apabila sinyal ini dibandingkan dengan tegangan keluaran dari *error amplifier*, akan menghasilkan sinyal PWM [11].

Besarnya frekuensi *switching* regulator f_{sw} dipengaruhi oleh nilai resistansi osilator R_{osc} (pada rangkaian dilambangkan dengan R2) dan kapasitor osilator C_{osc} (pada rangkaian dilambangkan dengan C5). Dalam rangkaian yang dirancang, besarnya R_{osc} sebesar 18 K Ω , sedangkan C_{osc} sebesar 2,2 nF, sehingga dengan menggunakan persamaan (2.9) dapat diketahui frekuensi *switching* dengan perhitungan

$$f_{sw} = \frac{9}{18 \cdot 10^3 \cdot 2,2 \cdot 10^{-9}} = 227,272 \text{ kHz}$$

karena besarnya $f_{sw} > 200 \text{ kHz}$, maka perhitungan f_{sw} melibatkan T_{DISCH} dengan menggunakan persamaan (2.10), sehingga menjadi

$$f_{sw} = \frac{1}{\frac{18 \cdot 10^3 \cdot 2,2 \cdot 10^{-9}}{9} + \frac{V_i - 9V_{BE}}{18 \cdot 10^3} \frac{1}{20mA}} \cdot 2,2 \cdot 10^{-9}$$

Dengan asumsi $V_{BE} \approx 0,65$ V [10] dan V_i bernilai maksimal 30 V, maka f_{sw} menjadi

$$f_{sw} = \frac{1}{\frac{18 \cdot 10^3 \cdot 2,2 \cdot 10^{-9}}{9} + \frac{30 - 9V_{BE}}{18 \cdot 10^3} \frac{1}{20mA} 2,2 \cdot 10^{-9}} = 227,265 \text{ kHz}$$

- Induktor

Sebagai salah satu komponen penting dari rangkaian *switching regulator*, besarnya induktor yang digunakan harus sesuai dengan kebutuhan. Dengan asumsi nilai V_i konstan sebesar 30 V (nilai keluaran maksimum sel surya), V_o sebesar 20 V (rata-rata tegangan laptop), f_{sw} sebesar 227 kHz (mendekati perhitungan sebelumnya), dan $\Delta I_{L \text{ Max}}$ sebesar 220 mA (merujuk pada acuan [13]), besarnya induktor yang dibutuhkan menjadi

$$L = \left[(30 - 20) \cdot \frac{20}{30} \cdot \frac{1}{227 \cdot 10^3} \right] \cdot \frac{1}{0,22} = 133,5 \mu H$$

Induktor yang digunakan sebaiknya memiliki nilai induktansi sama atau lebih besar dari hasil perhitungan, sehingga induktor sebesar $150 \mu H$ sudah cukup memenuhi kebutuhan regulator ini.

BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Setelah dilakukan perancangan dan fabrikasi, alat yang dibuat diuji. Ada 2 tahap pengujian, yaitu pengujian dengan tegangan sumber tetap dan sel surya.

4.1 Pengujian dengan Tegangan Sumber Tetap

Pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan *power supply* sebagai pengganti sel surya. Hal ini dimaksudkan untuk melihat kerja sistem apabila mendapat daya masukan stabil dari *power supply*.

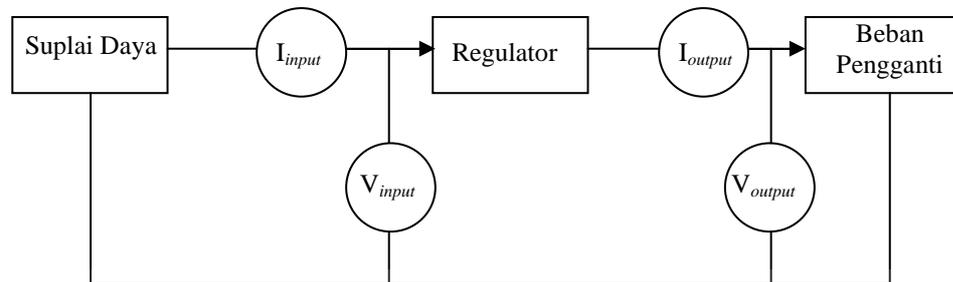
4.1.1 Pengujian dengan beban resistor variabel

Pada pengujian ini, beban laptop digantikan dengan resistor variabel. Pemilihan nilai resistor variabel ini disesuaikan dengan nilai tegangan dan arus yang digunakan oleh laptop pada berbagai kondisi penggunaan. Hal ini dimaksudkan untuk melihat prediksi karakteristik dari tegangan dan arus yang masuk ke beban.

Dalam pengujian ini ada beberapa perangkat yang digunakan, seperti :

1. Satu buah *power supply* DC dengan tegangan maksimum 30 V dan arus maksimal 3 A.
2. Tiga buah multimeter
3. Satu buah osiloskop (mengukur V_{output})
4. Rangkaian regulator
5. Resistor variabel pengganti beban

Perangkat di atas dirangkai sesuai skema seperti pada Gambar 4.1.

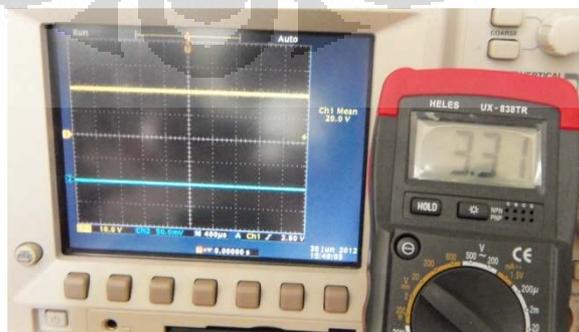


Gambar 4.1 Skema pengujian sistem catu daya dengan beban pengganti menggunakan sumber suplai daya

Dari karakteristik arus dan tegangan laptop yang terdapat pada Bab 3, terlihat bahwa arus yang digunakan laptop berkisar antara 0,75A hingga maksimal 4,3A pada tegangan 19 V, namun beban pengganti yang digunakan memiliki batasan arus maksimal ideal sekitar 3A, sehingga untuk pengujian ini digunakan nilai beban yang dapat menginterpretasikan nilai tegangan dan arus tersebut, yakni $8,3\Omega$; $5,8\Omega$; dan 15Ω



(a)

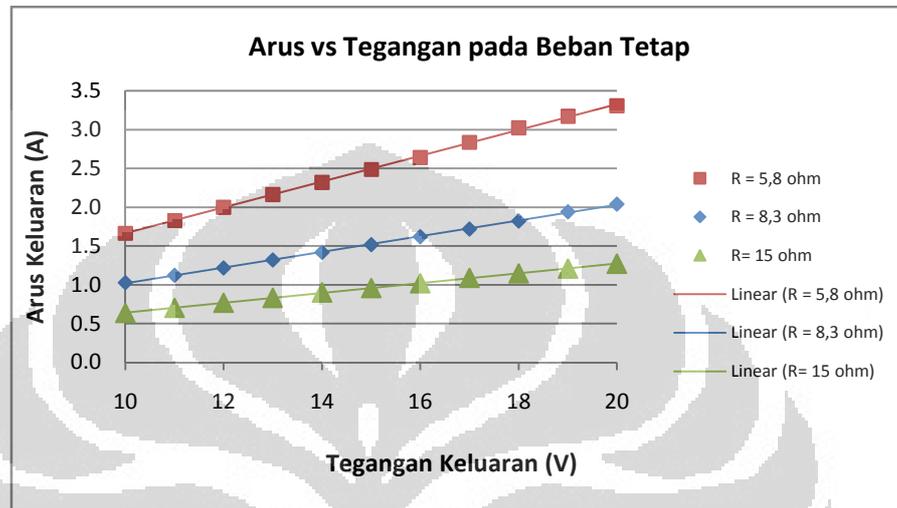


(b)

Gambar 4.2 Contoh hasil keluaran untuk beban (a) $8,3\Omega$ dan (b) $5,8\Omega$

4.1.1.1 Analisis Tegangan dan Arus

Dari percobaan dengan kedua nilai resistansi tersebut, didapatkan besar arus saat nilai tegangan keluaran divariasikan, seperti terdapat dalam Lampiran 1, dan diinterpretasikan dalam bentuk grafik seperti Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Nilai arus keluaran pada tegangan keluaran tertentu

Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa nilai arus yang keluar bersifat linear terhadap nilai tegangan keluaran, di mana semakin besar tegangan keluaran, semakin besar pula arus yang keluar. Hal ini sesuai dengan hukum Ohm, di mana

$$V=I.R$$

Meskipun begitu, nilai arus yang dihasilkan lebih kecil dari nilai idealnya. Hal ini disebabkan oleh adanya rugi daya pada jalur, komponen maupun proses *switching* pada IC L4970A, seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2. Pengujian ini menunjukkan bahwa regulator yang digunakan bekerja cukup baik untuk beban tetap.

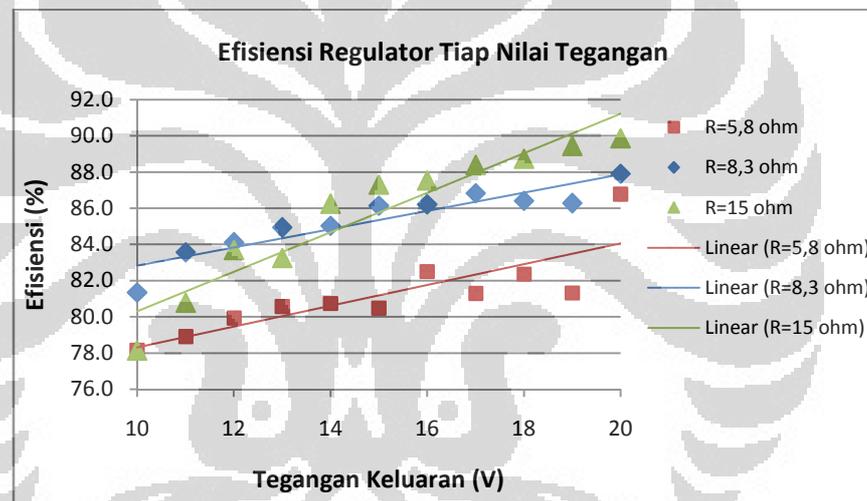
4.1.1.2 Analisis Efisiensi

Dengan membandingkan P_{input} regulator (hasil perkalian V_{input} dan I_{input}) dengan P_{output} (hasil perkalian V_{output} dan I_{output}), dapat diperkirakan

nilai efisiensi dari sistem regulator pada beban tetap, menggunakan perumusan

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\%$$

Dari hasil pengukuran yang dilakukan pada bagian masukan dan keluaran regulator, didapatkan nilai P_{output} dan P_{input} pada tiap nilai tegangan keluaran. Dengan menggunakan rumusan di atas, didapat nilai efisiensi pada masing-masing nilai tegangan keluaran yang ditunjukkan dalam grafik pada Gambar 4.4 .



Gambar 4.4 Efisiensi Regulator Tiap Nilai Tegangan

Dari grafik pada Gambar 4.4 di atas, terlihat bahwa karakteristik efisiensi untuk kedua nilai hambatan hampir sama, di mana semakin kecil nilai tegangan keluaran, semakin kecil pula nilai efisiensinya. Namun, nilai efisiensinya cukup tinggi, yakni berkisar antara 78%-90%. Hal ini kemungkinan disebabkan karena untuk mengatur tegangan keluaran, regulator memberikan arus balik yang mengurangi arus pada R3 dan R5. Meskipun saat V_{output} mengecil terjadi pengaturan *duty cycle* yang dapat mengurangi terjadinya pembuangan energi menjadi panas, pemberian arus

balik juga membutuhkan daya lebih sehingga mengurangi efisiensi rangkaian.

Selain itu, berdasarkan *applicaton note* IC L4970A [11], yang juga telah dijelaskan di Bab 2, ada beberapa jenis rugi daya pada yang mempengaruhi efisiensi, salah satunya adalah rugi pada dioda *freewheel* yang meningkat saat perbandingan antara V_{output} dan V_{input} mengecil. Hal ini karena dengan mengecilnya V_o/V_i , waktu aktif dioda $T_{on\ diode}$ meningkat, sehingga daya jatuh pada dioda bertambah

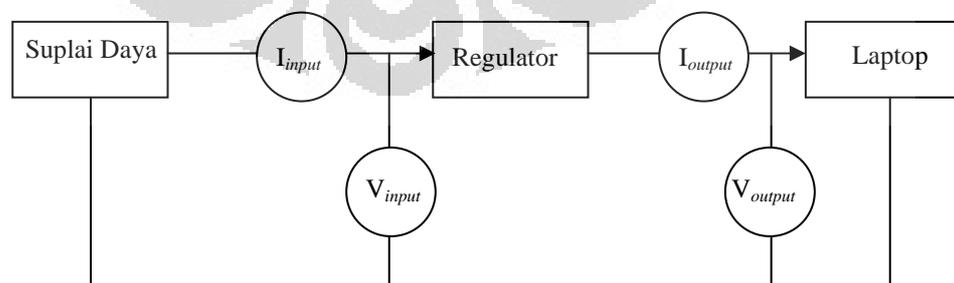
4.1.2 Pengujian dengan beban laptop

Pengujian sistem ini dilanjutkan dengan tetap menggunakan suplai daya sebagai sumber, namun beban yang digunakan diganti dengan laptop. Hal ini dilakukan untuk melihat kesesuaian sistem regulator dengan laptop yang akan digunakan sebagai beban utama.

Dalam pengujian ini ada beberapa perangkat yang digunakan, seperti:

1. Satu buah *power supply* DC dengan tegangan maksimum 30 V dan arus maksimal 3 A.
2. Empat buah multimeter
3. Rangkaian regulator
4. Laptop Asus A43SJ

Perangkat di atas dirangkai sesuai skema seperti pada Gambar 4.5.



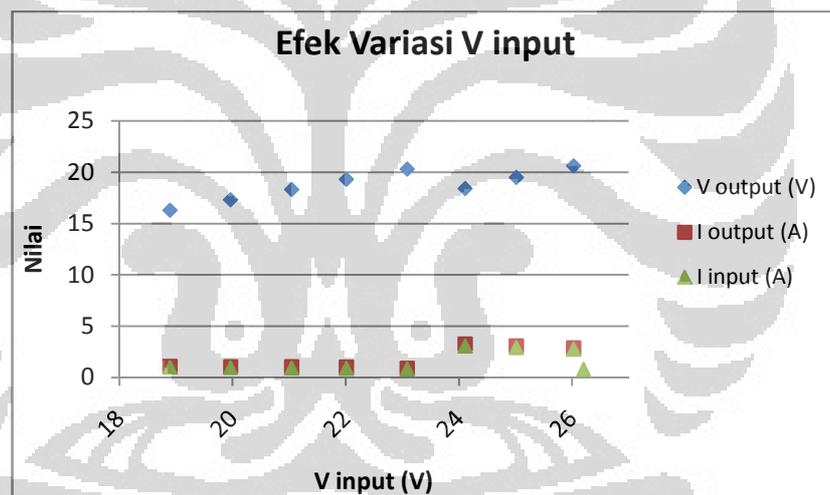
Gambar 4.5 Skema pengujian sistem catu daya dengan beban laptop menggunakan sumber suplai daya

Pengujian dilakukan dengan dua cara, yaitu

1. Mengatur potensiometer pada nilai maksimum dan memvariasikan tegangan masukan. Hal ini dilakukan untuk melihat efek perubahan tegangan masukan terhadap keluaran sistem.
2. Mengatur tegangan masukan sekitar 24 V dan tegangan keluaran sekitar 18 V dan 19 V. Hal ini dilakukan untuk melihat efek penurunan nilai tegangan keluaran terhadap nilai arus dan efisiensi sistem.

4.1.2.1 Analisis Tegangan dan Arus

Hasil pengujian 1 terdapat dalam Lampiran 2 dan dirangkum dalam grafik pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Efek Variasi V_{input} terhadap kerja sistem

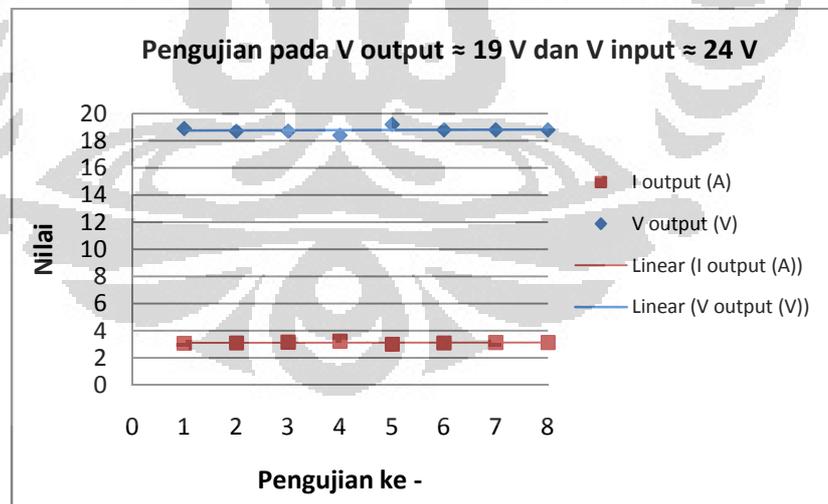
Dari hasil pengujian 1, terlihat bahwa agar sistem menghasilkan keluaran yang optimal dengan arus yang mencukupi bagi laptop, sistem perlu diberi tegangan masukan dengan batas tertentu, yakni di atas 24 V. Saat suplai diberi masukan kurang dari 24 V, meskipun tegangan keluaran dapat diregulasi, namun arus yang dihasilkan kurang mencukupi. Hal ini dapat terjadi karena laptop memiliki sistem pembacaan daya masuk. Saat masukan regulator kurang dari 24 V, laptop menyesuaikan bebannya,

sehingga tegangan keluaran sistem tetap bisa mencapai tegangan yang dibutuhkan namun dengan arus yang lebih kecil.

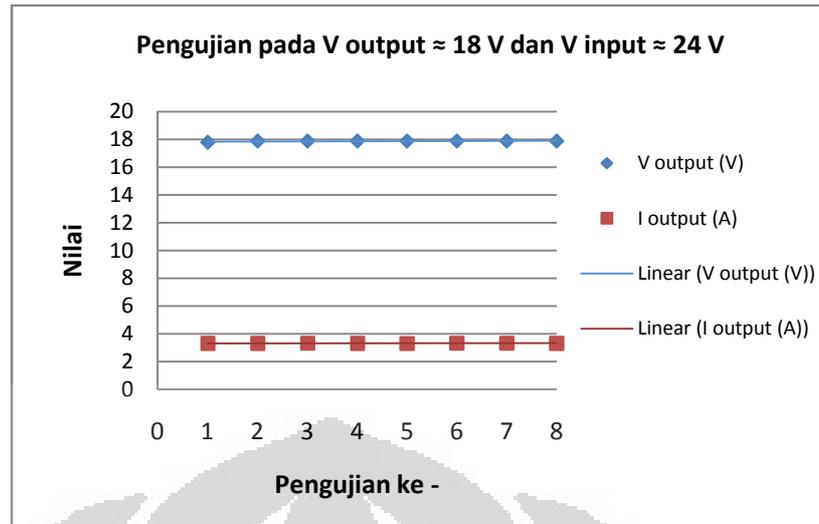
Saat $V_{input} \geq 24$ V, hasil keluaran regulator cukup untuk memberikan catu penuh pada laptop, sehingga laptop bekerja pada kondisi normal dan arus yang mengalir sesuai dengan kebutuhan. Saat $V_{input} > 26$ V, V_{output} regulator menjadi lebih dari 20 V, sehingga untuk keamanan, laptop memutus pencatuan dari regulator. Itulah mengapa keluaran regulator jadi tidak stabil.

Hasil pengujian 1 ini menunjukkan bahwa suplai masukan yang dibutuhkan oleh sistem ini untuk mendapatkan tegangan dan arus yang sesuai ($V_{out} \approx 19V$; $I_{out} \approx 3A$) harus cukup besar dan stabil dengan kemampuan suplai arus yang stabil juga. Hal ini menjadi salah satu kekurangan yang mungkin dimiliki oleh sel surya, karena arus dan tegangan yang dihasilkan sel surya tergantung pada paparan sinar matahari yang diterima.

Hasil pengujian 2 terdapat dalam Lampiran 3 dan dirangkum dalam grafik pada Gambar 4.7.



(a)



(b)

Gambar 4.7 Pengujian dengan $V_{input} \approx 24$ V dan $V_{output} \approx$ (a) 19 V (b) 18 V

Dari hasil pengujian 2, dengan nilai tegangan keluaran yang berbeda, terlihat bahwa arus keluaran juga memiliki nilai yang berbeda. Namun, berbeda dengan hasil yang didapat dari pengujian dengan beban pengganti, saat tegangan keluaran diturunkan dengan menggunakan beban laptop, arus yang dihasilkan justru lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa sifat beban laptop cenderung menjaga kestabilan daya yang masuk, di mana saat tegangannya bernilai sekitar 19 V arusnya bernilai sekitar 3,1 A, sedangkan saat tegangan sekitar 18 V arusnya bernilai sekitar 3,4 A dengan daya rata-rata sekitar 53-54 W. Hal ini karena, berbeda dengan resistor variabel yang hanya menerima daya, laptop bersifat menarik daya untuk kerja sistemnya, sehingga arus yang digunakan tidak bersifat linear terhadap besarnya tegangan namun diseimbangkan dengan daya masukannya.

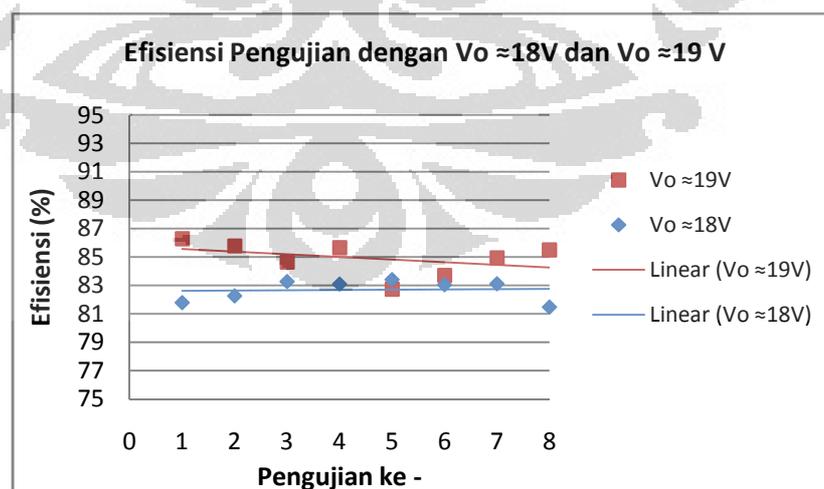
Selain itu, melalui pengukuran menggunakan perangkat lunak Battery Care seperti yang terlihat pada Gambar 4.8, terlihat bahwa daya yang disuplai ke baterai oleh sistem pada pengujian ini sama dengan suplai dengan adaptor asli, yakni bernilai sekitar 37,8 W. Hal ini menunjukkan bahwa perangkat regulator mampu memberikan suplai daya yang cukup bagi laptop.



Gambar 4.8 Perbandingan *charging rate* pada (a) sistem regulator dan (b) adaptor asli

4.1.2.2 Analisis Efisiensi

Dari tegangan dan arus terukur pada pengujian 1 dan 2, ini dapat dilihat besar efisiensi daya dari pengujian sistem dengan laptop. Besar efisiensi dari tiap pengujian terdapat dalam Lampiran 4 dan dirangkum dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Efisiensi pengujian menggunakan beban laptop dengan V_{input} tetap

Pada pengujian 1, nilai efisiensi saat $V_{input} < 24V$ lebih tinggi dibandingkan saat $V_{input} \geq 24V$, di mana saat $V_{input} < 24V$ efisiensinya berkisar antara 93%-99%, sedangkan saat $V_{input} \geq 24V$ efisiensinya berkisar antara 82%-84%. Hal ini karena besar I_{output} saat $V_{input} < 24V$ lebih kecil, sehingga tegangan jatuh pada sistem juga lebih kecil.

Pada pengujian 2, nilai efisiensi yang didapat cukup stabil. Untuk $V_{output} \approx 19V$ efisiensinya sekitar 82-86% dengan rata-rata 84,9%, sedangkan untuk $V_{output} \approx 18V$ efisiensinya 81-83% dengan rata-rata 82,7%. Efisiensi dari pengujian 2 ini memiliki sifat yang cukup mirip dengan pengujian pada beban pengganti, di mana semakin dekat nilai V_{output} dengan V_{input} , semakin besar pula nilai efisiensinya. Seperti yang telah dijelaskan pada bab 2, nilai efisiensi ini dipengaruhi oleh rugi-rugi yang meningkat saat nilai I_{output} membesar, seperti rugi daya dioda *freewheel* P_D , rugi saturasi P_{sat} , rugi pada resistansi kumparan P_L , dan rugi *switching* transistor daya P_{sw} [11].

4.2 Pengujian dengan sel surya

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan sel surya. Dalam pengujian ini ada beberapa perangkat yang digunakan, seperti :

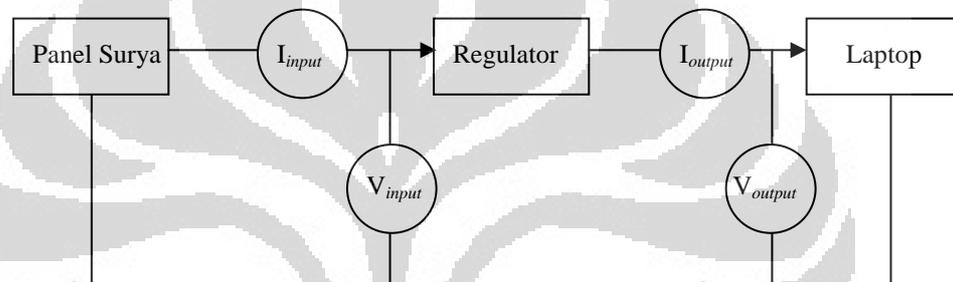
1. Satu buah modul sel surya dengan daya sekitar 100 W dengan V_{oc} 27 V dan I_{sc} 4A.
2. Empat buah multimeter
 - Multimeter digital Sanwa CD800a untuk mengukur tegangan keluaran sel surya (V_{input})
 - Multimeter digital GwInstek GDM-356 untuk mengukur arus keluaran sel surya (I_{input})
 - Multimeter digital DT-830B untuk mengukur tegangan keluaran regulator (V_{output})
 - Multimeter digital Heles UX-838TR untuk mengukur arus keluaran sel surya (I_{output})
3. Rangkaian regulator

4. Laptop Asus A43SJ

Pengujian sistem dilakukan dalam 2 kondisi, yakni :

1. Laptop menyala namun tidak bekerja berat (kondisi siaga)
2. Laptop menyala dan bekerja (menayangkan video resolusi tinggi)

Masing-masing pengujian dilakukan sekitar 30 menit dan dilakukan pengambilan data setiap 2 menit, sehingga tiap pengujian menghasilkan 15 data. Kedua pengujian dilakukan dengan skema seperti yang terdapat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Skema pengujian sistem catu daya laptop dengan sel surya

Hasil pengujian dimasukkan ke dalam lampiran 4 dan 5, dengan rincian:

- Lampiran 4 yang menunjukkan data tegangan dan arus masukan, tegangan dan arus keluaran, serta daya masukan dan keluaran regulator pada pengujian 1 dengan Asus A43SJ
- Lampiran 5 yang menunjukkan data tegangan dan arus masukan, tegangan dan arus keluaran, serta daya masukan dan keluaran regulator pada pengujian 2 dengan Asus A43SJ

4.2.1 Analisis panel surya pada proses pengujian

Dalam pengujian ini, digunakan sel surya berdaya 100 W. Dengan pengukuran didapatkan bahwa V_{oc} sel surya ini mencapai 27 V, dan nilainya tidak mengalami perubahan berarti meskipun cahaya matahari yang diterima meredup. Namun, besarnya I_{sc} mengalami penurunan.

Saat sel surya dipasangkan pada regulator dan beban laptop, tegangan terukur menjadi turun, di mana dalam pengujian pertama

tegangan keluaran sel surya berada di kisaran 21 Volt sampai 23 Volt, sedangkan untuk pengujian 2 berkisar antara 14,5 Volt sampai 14,7 Volt. Hal ini karena keberadaan beban laptop menyebabkan terjadinya transmisi daya dari sel surya ke beban dalam bentuk arus, sehingga tegangan pada sel surya saat dibebani lebih rendah dari tegangan V_{oc} -nya. Pada pengujian 2 terlihat bahwa tegangan suplai dari sel surya saat dipasang beban mengalami penurunan dibandingkan pengujian 1. Hal ini dipengaruhi beberapa faktor, di antaranya adalah sudut matahari yang mulai berubah sehingga mengurangi intensitas cahayanya dan menurunkan daya keluaran maksimalnya, serta perbedaan sifat beban laptop pada dua pengujian tersebut. Dari pengujian juga terlihat bahwa catu yang diberikan oleh sel surya bersifat menyesuaikan dengan sifat kerja regulator.

4.2.2 Analisis *Switching Regulator* dalam pengujian

Switching Regulator yang digunakan dalam sistem ini berbasis IC L4970A sebagai pusat kendali frekuensi *switching* serta *duty cycle* dari *buck regulator*. Berdasarkan penjelasan di Bab 3, IC ini memiliki spesifikasi di antaranya arus keluaran maksimum 10 A, efisiensi yang tinggi, jangkauan *duty cycle* hingga 90%, pembatas arus, serta fungsi reset dan *soft start*. Regulator yang dirancang memiliki spesifikasi tegangan keluaran yang dapat diatur dari 0 hingga 30 V (bila tegangan masukan mencukupi) dengan mengubah nilai hambatan potensiometer, sehingga arus yang melewati resistor *voltage divider* penentu nilai tegangan bisa dikurangi dan secara otomatis mengurangi nilai tegangan keluaran.

Berdasarkan hasil pengujian, terlihat bahwa tegangan dan arus keluaran regulator pada pengujian 1 masih belum terlalu stabil. Nilai tegangan masih memiliki rentang $\pm 0,5$ V dari nilai tegangan yang diinginkan, yakni 19 V, dengan arus bernilai 0,76-0,85 A. Sedangkan pada pengujian 2, meski tegangan keluaran turun hingga 11,2 V, nilainya lebih stabil dengan arus sekitar 1,42-1,46 A. Dengan kedua pengujian ini, laptop masih mampu mendeteksi adanya catu dari sistem ini.



Gambar 4.11 Laptop masih membaca catu dari sistem regulator

Dari pengujian tersebut, terlihat bahwa daya yang dapat dialirkan oleh sistem ini terbatas dan berkisar di angka 20 W, lebih kecil dari yang seharusnya dibutuhkan laptop. Hal ini karena, sesuai dengan pengujian menggunakan suplai daya, sistem regulator baru dapat bekerja optimal saat diberi $V_{input} \geq 24$ V. Apabila V_{input} kurang dari nilai tersebut, laptop akan menyesuaikan pembebanannya sehingga meskipun V_{output} regulator sesuai namun arus yang dialirkan menjadi lebih kecil.

Pada pengujian 1, karena laptop tidak bekerja berat, arus yang dibutuhkan tidak terlalu tinggi, sehingga tegangan masukan pun cukup sesuai dengan nilai yang diinginkan. Namun, saat pengujian 2 di mana laptop bekerja cukup berat, arus yang dibutuhkan menjadi lebih tinggi. Karena daya yang dapat dilewatkan tetap, maka tegangan mengalami penurunan.

Selain itu, saat pengujian ditemukan fakta bahwa IC L4970A cukup mudah panas, sehingga butuh perangkat pendingin yang handal agar tidak mengganggu kerja sistem.

4.2.3 Analisis beban laptop dalam pengujian

Dalam pengujian, terlihat ada perbedaan saat laptop dalam keadaan siaga (tidak bekerja) dan dalam keadaan bekerja berat, di mana arus saat laptop bekerja lebih besar dibandingkan saat kondisi siaga, karena prosesor

dan komponen lainnya pada laptop membutuhkan daya lebih untuk memproses data dibandingkan saat laptop tidak bekerja pada kondisi maksimal. Hal ini mempengaruhi besarnya arus yang diserap oleh laptop.

4.2.4 Analisis efisiensi sistem

Efisiensi sistem dapat diketahui dengan membandingkan rata-rata daya masukan regulator dari sel surya dengan rata-rata daya keluaran regulator. Dari hasil pengujian 1 didapatkan efisiensi sebesar :

$$\eta_1 = \frac{P_{out 1}}{P_{in 1}} \times 100\% = \frac{15,16}{17,8} \times 100\% = 86,82\%$$

Sedangkan dari hasil pengujian 2 didapatkan efisiensi sebesar :

$$\eta_2 = \frac{P_{out 2}}{P_{in 2}} \times 100\% = \frac{14,98}{19,45} \times 100\% = 82,14\%$$

Dari kedua pengujian terlihat bahwa efisiensi rangkaian ini cukup baik dan sesuai dengan *datasheet* IC L4970A, yakni dari rentang 80-90%. Hal ini menunjukkan bahwa *switching regulator* memang memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibanding linear regulator, karena proses regulasi tegangan tidak menghasilkan rugi daya berupa panas. Rugi daya hanya terjadi karena tegangan jatuh pada komponen regulator.

BAB 5

KESIMPULAN

Dari pengujian yang dilakukan terhadap perangkat yang dibuat, dapat diambil kesimpulan, di antaranya:

- a. Dari grafik perbandingan tegangan dan arus pada beban tetap, terlihat bahwa sistem regulator dapat bekerja dengan cukup baik pada beban pengganti, dibuktikan dengan besar arus keluaran yang sesuai dengan tegangan yang diberikan (bersifat linear).
- b. Efisiensi sistem regulator ini mencapai nilai 78%-90% untuk beban tetap dan 79-85% untuk beban laptop, di mana efisiensi untuk beban laptop pada saat bekerja lebih kecil dibanding saat kondisi siaga.
- c. Agar dapat memberi suplai optimal pada laptop dengan tegangan keluaran sekitar 18-20 V, sistem regulator harus mendapat $V_{input} \geq 24$ V, sehingga sel surya yang digunakan harus memiliki $V_{max} > 24$ V dengan kemampuan pencatuan yang stabil.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Energi Fosil di Zona Merah. (n.d.)
http://www.listrikindonesia.com/energi_fosil_di_zona_merah_198.htm
diakses 9 Desember 2011
- [2] Batan. PENGARUH MASALAH LINGKUNGAN GLOBAL TERHADAP MANUSIA (1): MASALAH LINGKUNGAN UDARA. Diakses 10 Juli 2012 <http://www.batan.go.id/ensiklopedi/01/01/02/02/01-01-02-02.html>
- [3] Kementrian ESDM. Pemanfaatan Energi Surya Di Indonesia. Diakses 10 Juli 2012. <http://www.esdm.go.id/news-archives/56-artikel/3347-pemanfaatan-energi-surya-di-indonesia.html>
- [4] Goetzberger, Adolf et.al. (1998). Crystalline Silicon Solar Cells. England: John Wiley & Sons Ltd
- [5] Patel, M.R. (1999). Wind and Solar Power Systems. Florida : CRC Press
- [6] Markvart, Tom and Luis Castaner. (2003). Pratical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications. Oxford: Elsevier Advanced Technology
- [7] Tiwari, G.N. & Dubey, Swapnil. (2010). Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- [8] Halomoan, Junartha. (2006, Juni). Sistem Daya Tenaga Surya untuk Laptop. Depok : Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia
- [9] Rahman, M. Saad. (2007). Buck Converter Design Issues. Swedia : Linköping Institute of Technology
- [10] Simpson, Chester. Linear and Switching Voltage Regulator Fundamentals. National Semiconductor. Diakses 5 Maret 2012.
<http://www.national.com/assets/en/appnotes/f5.pdf>
- [11] Gattavari, G & Diazzi, C. (1995). Easy Application Design with The L4970A, Monolithic DC-DC Converters Family. SGS-THOMSON Microelectronics
- [12] Insan, Muhammad. (2009, Agustus). Implementasi *Switching Regulator* untuk Komputer Bergerak dengan Menggunakan Sel Surya. Depok : Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia
- [13] Inductor Selection for *Switching Regulators*. St. Louis: Cooper Bussmann. diakses 5 Maret 2012
http://www.cooperindustries.com/content/dam/public/bussmann/Electronics/Resources/Brochures/Switching_Regulator_Inductor_Application_Guide.pdf

Lampiran 1: Data Hasil Pengujian dengan Suplai Daya Tetap dan Beban
Pengganti

R= 8,3 Ω

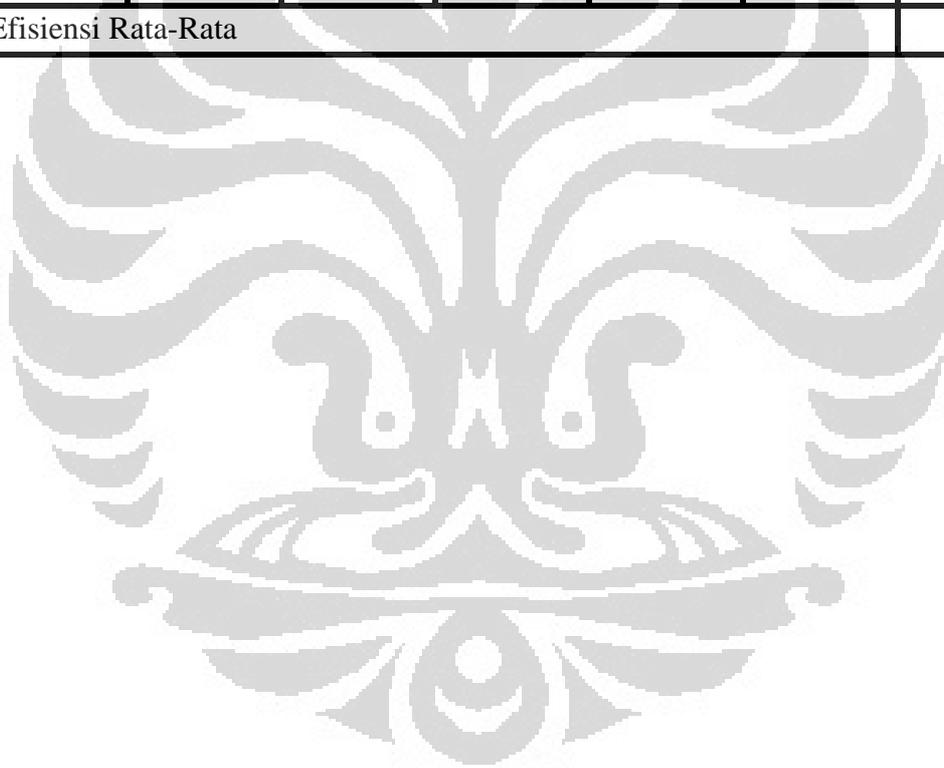
Vin	Iin	Vout	Iout	Pin	Pout	Efisiensi
24,35	0,52	10,00	1,03	12,66	10,30	81,35
24,18	0,61	11,00	1,13	14,81	12,38	83,57
24,18	0,72	12,00	1,22	17,41	14,64	84,11
24,05	0,84	13,00	1,32	20,20	17,16	84,94
24,10	0,97	14,00	1,42	23,38	19,88	85,04
24,23	1,09	15,00	1,52	26,47	22,80	86,15
24,05	1,25	16,00	1,62	30,06	25,92	86,22
24,05	1,40	17,00	1,72	33,67	29,24	86,84
23,88	1,59	18,00	1,82	37,96	32,81	86,42
23,80	1,80	19,00	1,94	42,72	36,86	86,28
23,80	1,95	20,00	2,04	46,41	40,80	87,91
Efisiensi Rata-Rata						85,35

R= 5,8 Ω

Vin	Iin	Vout	Iout	Pin	Pout	Efisiensi
23,98	0,89	10,00	1,67	21,34	16,68	78,15
24,10	1,06	11,00	1,83	25,55	20,16	78,91
23,98	1,25	12,00	2,00	30,03	24,00	79,92
23,90	1,46	13,00	2,16	34,89	28,11	80,57
23,80	1,69	14,00	2,32	40,22	32,48	80,75
23,80	1,95	15,00	2,49	46,41	37,35	80,48
23,70	2,16	16,00	2,64	51,19	42,24	82,51
23,90	2,49	17,00	2,84	59,39	48,28	81,29
23,80	2,78	18,00	3,02	66,05	54,41	82,38
24,20	3,06	19,00	3,17	74,05	60,23	81,33
24,20	3,15	20,00	3,31	76,23	66,15	86,78
Efisiensi Rata-Rata						81,19

$R = 15 \Omega$

Vin	Iin	Vout	Iout	Pin	Pout	Efisiensi
24,00	0,34	10,00	0,64	8,16	6,38	78,13
24,00	0,40	11,00	0,71	9,60	7,76	80,78
24,00	0,46	12,00	0,77	11,04	9,24	83,70
24,00	0,54	13,00	0,83	12,96	10,79	83,26
23,95	0,61	14,00	0,90	14,61	12,60	86,25
23,90	0,69	15,00	0,96	16,49	14,40	87,32
23,90	0,78	16,00	1,02	18,64	16,32	87,54
23,83	0,88	17,00	1,09	20,97	18,53	88,38
23,80	0,98	18,00	1,15	23,32	20,70	88,75
23,80	1,08	19,00	1,21	25,70	22,99	89,44
23,75	1,19	20,00	1,27	28,26	25,40	89,87
Efisiensi Rata-Rata						85,76



Lampiran 2: Data Hasil Pengujian dengan Suplai Daya Tetap dan Beban Laptop.
Tegangan Masukan Divariasikan, Potensiometer Maksimum

Vin (V)	Iin(A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi (%)
18,90	0,99	16,30	1,08	18,71	17,60	94,11
19,96	0,96	17,30	1,04	19,16	17,99	93,90
21,05	0,91	18,30	1,03	19,15	18,85	98,42
22,01	0,88	19,30	1,00	19,37	19,30	99,63
23,09	0,82	20,30	0,93	18,93	18,88	99,71
24,11	3,06	18,40	3,30	73,78	60,72	82,30
25,02	2,90	19,50	3,11	72,55	60,65	83,59
26,03	2,75	20,60	2,92	71,58	60,15	84,03
26,20	0,79	<i>Unstable</i>	<i>Unstable</i>	20,70		



Lampiran 3: Data Hasil Pengujian dengan Suplai Daya Tetap dan Beban Laptop.
Tegangan Masukan Tetap

$V_{output} \approx 19 \text{ V}$

Vin (V)	Iin(A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi (%)
23,91	2,84	18,90	3,10	67,90	58,59	86,29
23,86	2,85	18,70	3,12	68,00	58,34	85,80
23,75	2,93	18,70	3,15	69,59	58,91	84,65
23,61	2,93	18,40	3,22	69,18	59,25	85,65
24,33	2,89	19,20	3,03	70,31	58,18	82,74
24,07	2,91	18,80	3,12	70,06	58,66	83,73
24,14	2,87	18,80	3,13	69,29	58,84	84,93
24,14	2,86	18,80	3,14	69,05	59,03	85,49
Efisiensi Rata-rata						84,91

$V_{output} \approx 18 \text{ V}$

Vin (V)	Iin(A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi (%)
24,10	2,98	17,80	3,30	71,82	58,74	81,79
24,10	2,98	17,90	3,30	71,82	59,07	82,25
24,09	2,98	17,90	3,34	71,80	59,79	83,27
24,09	2,96	17,90	3,31	71,30	59,25	83,10
24,07	2,96	17,90	3,32	71,24	59,43	83,41
24,08	2,99	17,90	3,34	71,99	59,79	83,05
24,06	2,99	17,90	3,34	71,93	59,79	83,12
24,00	3,03	17,90	3,31	72,73	59,25	81,47
Efisiensi Rata-rata						82,68

Lampiran 4: Data Hasil Pengujian dengan Suplai Daya Sel Surya dan Beban
Laptop (kondisi siaga)

Lokasi : Engineering Centre Universitas Indonesia

Hari/Tanggal : Minggu / 24 Juni 2012

Waktu : 13.00- 13.30

Laptop : Asus A43SJ

Kondisi : Laptop menyala namun tidak bekerja berat (kondisi siaga)

Vi	Ii	Vo	Io	Pin	Pout
22,79	0,75	19,2	0,77	17,09	14,4
21,87	0,78	20	0,76	17,06	15,6
22,83	0,8	18,5	0,84	18,26	14,8
22,67	0,83	18,5	0,85	18,82	15,36
21,97	0,94	18,9	0,87	20,65	17,77
22,96	0,74	19,3	0,81	16,99	14,28
22,94	0,77	19,4	0,76	17,66	14,94
22,42	0,8	18,9	0,81	17,93	15,12
23,01	0,75	18,7	0,85	17,26	14,03
21,52	0,83	19,3	0,81	17,86	16,02
22,79	0,78	19,6	0,8	17,78	15,29
23,02	0,74	19,6	0,79	17,03	14,50
22,69	0,83	19,6	0,78	18,83	16,27
22,49	0,77	19,1	0,8	17,32	14,71
21,72	0,76	18,8	0,81	16,51	14,29
Daya Rata-Rata				17,81	15,16
Efisiensi				85,13%	

Lampiran 5: Data Hasil Pengujian dengan Suplai Daya Sel Surya dan Beban
Laptop (kondisi bekerja)

Lokasi : Engineering Centre Universitas Indonesia

Hari/Tanggal : Minggu / 24 Juni 2012

Waktu : 13.00- 13.30

Laptop : Asus A43SJ

Kondisi : Laptop menyala dan bekerja (menayangkan video resolusi tinggi)

Vi	Ii	Vo	Io	Pin	Pout
14,68	1,33	11,2	1,46	19,5244	14,896
14,68	1,36	11,2	1,46	19,9648	15,232
14,73	1,36	11,2	1,45	20,0328	15,232
14,72	1,36	11,2	1,45	20,0192	15,232
14,55	1,35	11,2	1,44	19,6425	15,12
14,55	1,35	11,2	1,43	19,6425	15,12
14,55	1,34	11,2	1,43	19,497	15,008
14,53	1,34	11,2	1,43	19,4702	15,008
14,52	1,34	11,2	1,43	19,4568	15,008
14,52	1,33	11,1	1,42	19,3116	14,763
14,56	1,33	11,2	1,42	19,3648	14,896
14,53	1,33	11,2	1,42	19,3249	14,896
14,51	1,33	11,2	1,42	19,2983	14,896
14,48	1,33	11,2	1,42	19,2584	14,896
14,55	1,35	11,2	1,44	19,6425	15,12
Daya Rata-Rata				19,44632	14,97555
Efisiensi				77,01%	