



UNIVERSITAS INDONESIA

**SIMULASI DAN VERIFIKASI MODUL SURYA TERHUBUNG
DENGAN BOOST CONVERTER PADA JARINGAN LISTRIK
MIKRO ARUS SEARAH DENGAN MENGGUNAKAN
MATLAB SIMULINK**

SKRIPSI

**AKHMAD KALMIN
0806455074**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**SIMULASI DAN VERIFIKASI MODUL SURYA TERHUBUNG
DENGAN BOOST CONVERTER PADA JARINGAN LISTRIK
MIKRO ARUS SEARAH DENGAN MENGGUNAKAN
MATLAB SIMULINK**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

**AKHMAD KALMIN
0806455074**

**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 : Akhmad Kalmin

NPM : 0806455074

Tanda Tangan : *K1118L*

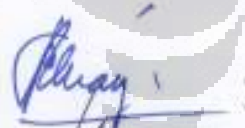

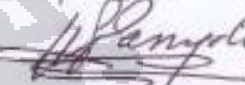
Tanggal : 25 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Akhmad Kalmin
NPM : 0806455074
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Simulasi dan Verifikasi Modul Surya Terhubung dengan Boost Converter pada Jaringan Listrik Mikro Arus Searah dengan Menggunakan Matlab Simulink

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. Rudy Setiabudy, DEA ()
Penguji : Dr.-Ing Eko Adhi Setiawan S.T., M.T. ()
Penguji : Ir. Soepranyoto, M.Sc ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 25 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Saya menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu saya memohon maaf apabila terjadi kesalahan dalam penulisan skripsi ini. Saya juga menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Rudy Setiabudy, DEA selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, petunjuk dan saran-saran serta kemudahan lainnya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik,
2. Bapak Dr.-Ing Eko Adhi Setiawan S.T., M.T. yang telah memberikan masukan, pengarahan dan sarannya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan,
3. Bapak Ir. Budiyanto, MT yang telah memberikan semangat, pengarahan dan masukan-masukan sehingga skripsi ini dapat selesai pada waktunya,
4. Kedua orang tua dan kakak-kakak saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral,
5. Beng Tito, Dhanang Rosid dan Dwi Sanjaya yang telah banyak membantu selama proses pengerjaan skripsi ini, dan
6. Sahabat-sahabat saya yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu atas segala dukungan yang telah diberikan.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 25 Juni 2012

Penulis

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

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

Nama : Akhmad Kalmin

NPM : 0806455074

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:

Simulasi dan Verifikasi Modul Surya Terhubung Dengan Boost Converter Pada Jaringan Listrik Mikro Arus Searah Dengan Menggunakan MatLab Simulink

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir 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: 25 Juni 2012

Yang menyatakan



(Akhmad Kalmin)

ABSTRAK

Nama : Akhmad Kalmin
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Simulasi dan Verifikasi Modul Surya Terhubung Dengan Boost Converter pada Jaringan Listrik Mikro Arus Searah dengan Menggunakan MatLab Simulink

Sel surya merupakan teknologi yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik secara langsung. Sel surya inilah yang populer dikembangkan sebagai solusi untuk mengurangi ketergantungan penggunaan sumber energi dari bahan bakar fosil untuk menghasilkan energi listrik dan pencemaran lingkungan yang diakibatkan penggunaan bahan bakar fosil. Untuk aplikasi yang sebenarnya, sel surya dalam jumlah yang banyak saling dihubungkan dan disatukan menjadi satu unit yang disebut sebagai modul surya. Modul surya yang beredar dipasaran memiliki spesifikasi tertentu. Spesifikasi tersebut dapat digunakan untuk pembuatan model modul surya dan memverifikasinya. Setelah dilakukan verifikasi, hasil menunjukkan bahwa model yang dibuat cukup bagus. Permasalahan yang muncul dalam penggunaan modul surya adalah kekontinyuan tegangan keluaran dari modul surya inilah yang menjadi masalah. Oleh karena itu, dibutuhkan simulasi untuk membuat tegangan keluaran dari modul surya menjadi kontinu meskipun intensitas radiasi matahari berubah-ubah. Salah satunya dengan memakai konverter penaik tegangan. Dalam simulasi tegangan keluaran model modul surya yang dibuat memiliki nilai yang bervariasi yaitu diantara 13 sampai 18 volt. Sedangkan *boost converter* yang disimulasikan adalah konverter yang menaikkan tegangan dari 12 volt ke 254 volt. Karena itu diperlukan pengatur tegangan yang dapat membuat tegangan keluaran dari modul surya menjadi 12 volt. Dengan adanya pengatur tegangan, *boost converter* memiliki tegangan keluaran yang konstan yaitu 254 volt meskipun tegangan keluaran dari modul surya yang merupakan masukan untuk *boost converter* berubah-ubah sebagai akibat pengaruh perubahan intensitas radiasi dan perubahan temperatur kerja.

Kata kunci: energi terbarukan, jaringan listrik mikro arus searah, sel surya, modul surya, dan *boost converter*

ABSTRACT

Name : Akhmad Kalmin
Major : Electrical Engineering
Title : Simulation and Verification Solar Module which Connected To
Boost Converter in DC Micro-Grid with Matlab Simulink

Solar cell is a technology that converts solar energy into electrical energy directly. This is a popular solar cell was developed as a solution to reduce dependence on the use of energy sources from fossil fuels to generate electrical energy and environmental pollution caused by fossil fuel use. For actual applications, solar cells in large numbers are connected each other and incorporated into one unit called a solar module. Solar modules on the market have certain specifications. These specifications can be used for the manufacture of solar modules model and verify it. After verification, the results indicate that the model is very good. The problems that arise in the use of solar module is continuity of output voltage of the solar modules. Therefore, simulation is necessary to make the output voltage of solar module to be continuous even though the intensity of solar radiation varies. One of them by using a voltage boost converter. In the simulation, output voltage of model of the solar module created has a value that varies between 13 to 18 volts. While the simulated boost converter is a 12 V to 254 V boost converter. Hence, a voltage regulator that can make the output voltage of the solar modules to 12 volts is needed. With the voltage regulator, boost converter has a constant output voltage is 254 volts even though the voltage input of boost converter varies due to the influence of changes in the intensity of radiation and work temperature.

Key Words: Renewable Energy, DC Micro-Grid, Solar Cell Solar Module, and Boost Converter

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Metodologi Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 LANDASAN TEORI	4
2.1 Sumber Daya Energi Terbarukan	5
2.1.1 Sel Surya	5
2.1.2 Prinsip kerja sel surya	7
2.1.3 Karakteristik sel surya	7
2.1.4 Efisiensi sel surya	8
2.2 Konverter	10
2.2.1 Boost converter	11
2.2.2 Prinsip kerja boost converter	11
2.2.3 Continuous conduction mode (CCM)	12
2.2.4 Penentuan besarnya L dan C	14
BAB 3 PEMODELAN MODUL DAN BOOST CONVERTER	16

3.1 Model Modul Surya	16
3.2 Maximum Power Point Tracker (MPPT)	24
3.2.1 Diagram alir ICM	25
3.3 Model Boost Converter	27
3.4 Model Sistem.....	29
BAB 4 HASIL SIMULASI DAN VERIFIKASI MODUL SURYA.....	31
4.1 Pengukuran Intensitas Radiasi Matahari dan Temperatur Kerja Modul Surya..	31
4.2 Simulasi Modul Surya	33
4.2.1 Simulasi karakteristik modul surya	34
4.2.2 Verifikasi modul surya	38
4.2.2.1 Data perbandingan hasil simulasi pemodelan dengan pengukuran.....	38
4.2.2.2 Data dan analisis.....	41
4.2.2.3 Grafik perbandingan hasil simulasi pemodelan dengan pengukuran....	44
4.2.2.4 Analisis perbandingan hasil simulasi pemodelan dengan pengukuran .	48
4.3 Simulasi Modul Surya dengan Boost Converter	50
4.3.1 Hasil simulasi	50
4.3.2 Analisis hasil simulasi.....	55
BAB 5 KESIMPULAN.....	56
DAFTAR ACUAN.....	57

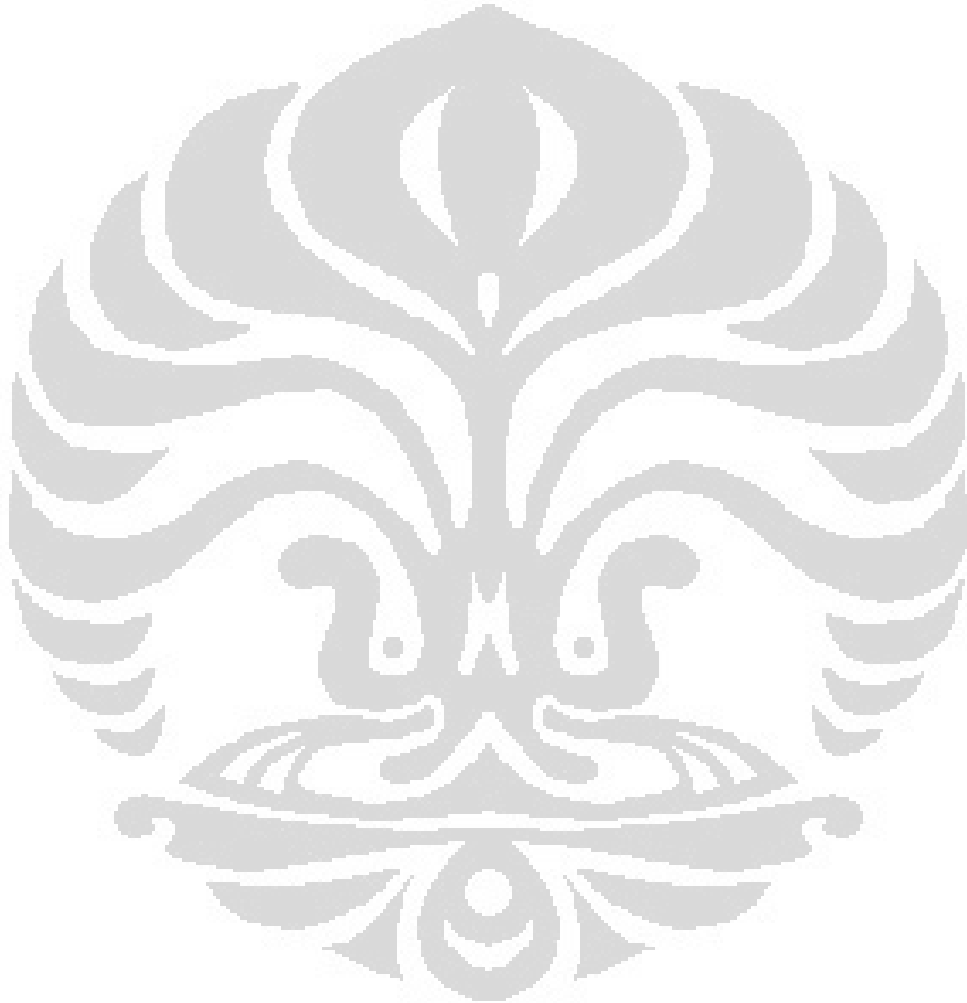
DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Jaringan Listrik Mikro Arus Searah Dengan Beberapa Sumber
- Gambar 2.2 Rangkaian Dari Sel Surya [10]
- Gambar 2.3 Prinsip Kerja Sel Surya
- Gambar 2.4 Kurva Karakteristik I – V
- Gambar 2.5 Pengaruh Temperature Terhadap V_{OC}
- Gambar 2.6 Pengaruh Intensitas Radiasi Matahari Terhadap Arus
- Gambar 2.7 Ekstra Luasan Panel PV Dalam Posisi Datar
- Gambar 2.8 Rangkain Boost Converter
- Gambar 2.9 Prinsip Kerja Boost Converter
- Gambar 2.10 Continuous Conduction Mode: (A) Saklar On; (B) Saklar Of
- Gambar 3.1 Subsistem 1 Mengubah $^{\circ}C$ ke K
- Gambar 3.2 Rangkaian Pada Subsistem 1
- Gambar 3.3 Subsistem 2 Model Perhitungan Arus Photon
- Gambar 3.4 Rangkaian Pada Subsistem 2
- Gambar 3.5 Subsistem 3 Model Perhitungan Irs
- Gambar 3.6 Rangkaian Pada Subsistem 3
- Gambar 3.7 Subsistem 4 Perhitungan Arus Saturasi
- Gambar 3.8 Rangkaian Pada Subsistem 4
- Gambar 3.9 Subsistem 5
- Gambar 3.10 Rangkaian Pada Subsistem 5
- Gambar 3.11 Subsistem 6
- Gambar 3.12 Rangkaian Pada Subsistem 6
- Gambar 3.13 Hubungan Antara 6 Subsistem
- Gambar 3.14 Blok Pemodelan Modul Sel Surya
- Gambar 3.15. Diagram Alir ICM
- Gambar 3.16 Subsistem Boost Converter
- Gambar 3.17 Rangkaian Dalam Subsistem Boost Converter
- Gambar 3.18 Blok Simulasi Untuk Menentukan Nilai R
- Gambar 3.19 Hubungan Antara Blok Modul Surya, Voltage Regulator Dan Boost Converter

- Gambar 4.1 Pengukuran Intesitas Radiasi Matahari Dan Temperatur Kerja Modul Surya
- Gambar 4.2 Blok Simulasi Untuk Mengetahui Karakteristik Modul Surya
- Gambar 4.3 Karakteristik I – V Hasil Simulasi Modul Surya Dengan Perubahan Intensitas Radiasi
- Gambar 4.4 Karakteristik P – V Hasil Simulasi Modul Surya Dengan Perubahan Intensitas Radiasi
- Gambar 4.5 Karakteristik I – V Dari Simulasi Modul Surya Dengan Perubahan Temperatur Kerja
- Gambar 4.6 Karakteristik P – V Dari Simulasi Modul Surya Dengan Perubahan Temperatur Kerja
- Gambar 4.7 Grafik Voc Terhadap Intensitas Radiasi Matahari Saat Cuaca Mendung
- Gambar 4.8 Grafik Tegangan Terhadap Intensitas Radiasi Matahari Saat Cuaca Mendung
- Gambar 4.9 Grafik Arus Terhadap Intensitas Matahari Saat Cuaca Mendung
- Gambar 4.10 Grafik Daya Terhadap Intensitas Matahari Saat Cuaca Mendung
- Gambar 4.11 Grafik Voc Terhadap Intensitas Matahari Saat Cuaca Cerah
- Gambar 4.12 Grafik Tegangan Terhadap Intensitas Matahari Saat Cuaca Cerah
- Gambar 4.13 Grafik Arus Terhadap Intensitas Matahari Saat Cuaca Cerah
- Gambar 4.14 Grafik Daya Terhadap Intensitas Matahari Saat Cuaca Cerah
- Gambar 4.15 Grafik Keluaran Modul Surya Dengan Data Radiasi 54 W/m^2 , 144 W/m^2 Dan 273 W/m^2
- Gambar 4.16 Grafik Keluaran Modul Surya Dengan Data Radiasi 476 W/m^2 , 623 W/m^2 Dan 752 W/m^2
- Gambar 4.17 Rangkaian Voltage Regulator
- Gambar 4.18 Blok Simulasi Modul Surya Yang Terhubung Dengan Boost Converter Melalui Voltage Regulator
- Gambar 4.19 Grafik Tegangan Modul Surya Pada Cuaca Mendung
- Gambar 4.20 Grafik Tegangan Voltage Regulator Pada Cuaca Mendung
- Gambar 4.21 Grafik Tegangan Keluaran Boost Converter Pada Cuaca Mendung
- Gambar 4.22 Grafik Tegangan Modul Surya Pada Cuaca Cerah

Gambar 4.23 Grafik Tegangan Voltage Regulator Pada Cuaca Cerah

Gambar 4.24 Grafik Tegangan Keluaran Boost Converter Pada Cuaca Cerah



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Pengukuran Intensitas Radiasi Matahari Dan Temperatur Kerja Modul Surya Pada Caca Mendung

Tabel 4.2 Pengukuran Intensitas Radiasi Matahari Dan Temperatur Kerja Modul Surya Pada Caca Mendung

Tabel 4.3 Spesifikasi Modul Sel Surya

Tabel 4.4 Perbandingan Voc Model Dengan Pengukuran

Tabel 4.5 Perbandingan Tegangan Dan Arus Pada Model Dengan Pengukuran

Tabel 4.6 Perbandingan Voc Model Dengan Pengukuran

Tabel 4.7 Perbandingan Tegangan Dan Arus Pada Model Dengan Pengukuran

Tabel 4.8 Persentase Kesalahan Voc Pengukuran Pada Cuaca Mendung

Tabel 4.9 Persentase Kesalahan Tegangan Dan Arus Hasil Simulasi Pada Cuaca Mendung

Tabel 4.10 Persentase Kesalahan Daya Hasil Simulasi Pada Cuaca Mendung

Tabel 4.11 Persentase Kesalahan Voc Pengukuran Pada Cuaca Cerah

Tabel 4.12 Persentase Kesalahan Tegangan Dan Arus Hasil Simulasi Pada Cuaca Cerah

Tabel 4.13 Persentase Kesalahan Daya Hasil Simulasi Pada Cuaca

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Dari kebutuhan yang sifatnya mendasar seperti untuk kebutuhan rumah tangga hingga untuk kebutuhan komersial, hampir semuanya membutuhkan energi listrik. Sebagian besar kebutuhan energi ini dipenuhi oleh sumber energi dari bahan fosil. Sedangkan saat ini kebutuhan energi semakin lama mengalami peningkatan. Di Indonesia sendiri ketersediaan sumber energi listrik tidak mampu memenuhi peningkatan kebutuhan listrik tersebut. Terjadinya pemutusan sementara dan pembagian energi listrik secara bergilir merupakan dampak dari terbatasnya energi listrik yang dapat disalurkan oleh PLN.

Salah satu upaya untuk mengatasi krisis energi listrik ialah dengan mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil. Hal ini dikarenakan energi fosil yang ada jumlahnya terbatas dan energi fosil ini juga merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui, jadi butuh jutaan tahun untuk menciptakannya. Karena kelangkaan tersebut, tentu saja berdampak terhadap segi ekonominya. Hal ini terlihat pada beberapa tahun ini yaitu kenaikan harga minyak bumi. Selain itu, kekhawatiran akan dampak polusi dan pemanasan global membuat sumber energi terbarukan mendapat perhatian khusus.

Sumber energi terbarukan merupakan energi yang tak akan habis, bersih, dan dapat digunakan secara tersebar. Selain itu, energi terbarukan juga memiliki beberapa keuntungan, yaitu secara cuma-cuma dapat diambil dari alam, dan dapat diintegrasikan dengan jenis-jenis sumber energi terbarukan lainnya. Salah satu masalah yang timbul dalam penggunaan sumber energi terbarukan adalah tidak kontinunya energi yang dapat dihasilkan, misalnya sel surya tidak dapat menghasilkan energi saat malam hari sehingga dibutuhkan media penyimpanan energi yang dihasilkan selama siang hari dan dapat menggunakannya pada

malam hari. Begitu pula dengan turbin angin, energi yang dihasilkan turbin angin tidak konstan karena perubahan kecepatan angin setiap waktunya.

Hal ini dapat diatasi dengan jaringan listrik mikro arus searah, yaitu suatu jaringan listrik skala kecil yang mencatu daya untuk beban dengan sistem arus searah. Sumber dari jaringan listrik mikro arus searah ini berasal dari penggabungan beberapa sumber energi terbarukan seperti sel surya dan turbin angin. Penggunaan sel surya menjadi salah satu solusi yang dapat dipertimbangkan sebagai catu daya di rumah, sedangkan energi angin dapat digunakan ketika radiasi matahari tidak dapat memenuhi kebutuhan beban.

1.2. Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah:

1. Analisis perbandingan keluaran dari pemodelan modul surya BPPT buatan PT LEN INDUSTRI (Persero) dengan hasil pengukuran.
2. Analisis pengaruh perubahan intensitas radiasi matahari dan temperatur terhadap tegangan keluaran boost converter.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam skripsi ini adalah pemodelan modul surya, boost converter dan pemodelan voltage regulator beserta MPPT (Maximum Power Point Tracking) sebagai penghubung antara modul surya dengan boost converter.

1.4. Metodologi Penulisan

Metode penulisan yang dilakukan penulis adalah studi literatur, pemodelan alat dan mensimulasikan pada Matlab simulink serta pengamatan pengukuran yang dilakukan di gedung Engineering Center, Universitas Indonesia.

1.5. Sistematika Penulisan

Skripsi ini dibagi menjadi lima bab. Bab satu menjelaskan tentang latar belakang, tujuan, batasan masalah, metodologi penulisan dan sistematika penulisan. Bab dua membahas mengenai teori dasar yang dibutuhkan untuk mendapatkan model matematis dari modul surya dan boost converter. Bab tiga dijelaskan tentang rancangan model dari modul surya, MPPT dan boost converter. Sedangkan bab empat dijelaskan tentang perbandingan hasil dari simulasi dan pengukuran dan analisisnya. Kemudian untuk bab lima berisikan kesimpulan dari skripsi yang diusulkan.



BAB 2

LANDASAN TEORI

Jaringan listrik mikro merupakan bagian dari suatu sistem utama yang memiliki keunggulan pengaturan terhadap dirinya sendiri, sehingga apabila terjadi gangguan pada sistem utama, jaringan listrik mikro masih dapat menjalankan fungsinya sebagai pembangkit dan penyaluran sendiri untuk melayani bebannya [7]. Jaringan listrik mikro juga merupakan sistem penyedia sumber daya energi lokal yang menggunakan pembangkit listrik energi terbarukan dengan skala kecil, antara lain Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) untuk memasok kebutuhan daya listrik di beberapa lokasi, seperti wilayah industri, kompleks perumahan atau area pendidikan. Sistem ini dirancang untuk memasok daya listrik ke wilayah yang sulit dijangkau dan atau terisolir serta dapat dihubungkan dengan jaringan PLN.

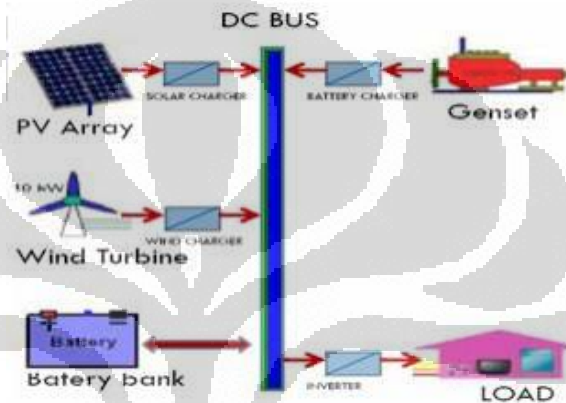
Tegangan keluaran PLTS adalah tegangan arus searah (DC) yang kontinuitas dayanya tergantung pada intensitas cahaya matahari. Demikian juga PLTB, kontinuitas daya yang dihasilkan tergantung pada kecepatan angin. Untuk menjaga kontinuitas pasokan daya ke jaringan, maka daya yang dihasilkan PLTS dan PLTB disimpan ke dalam baterai, yang kemudian disalurkan ke jaringan listrik mikro arus searah.

Jaringan listrik mikro arus searah merupakan sistem pendekatan untuk interkoneksi antar sumber daya terbarukan dengan keluaran arus searah dan untuk menyuplai daya dengan kualitas tinggi [14]. Kita misalkan sebuah jaringan listrik mikro yang melingkupi desa kecil sebagai contohnya. Jaringan listrik mikro seperti sistem-sistem daya, terdiri dari beberapa komponen [10]:

- Sumber daya terbarukan
- Beban (baik yang dapat dikontrol maupun tidak oleh pengendali jaringan mikro)
- Unit-unit penyimpanan energi

- Jaringan listrik skala kecil
- Sistem pengendali dan
- Jaringan telekomunikasi.

Sistem distribusi arus searah dengan tegangan rendah banyak digunakan seperti pada sistem telekomunikasi, sistem perkapalan, dan pada peralatan rumah tangga dan perkantoran. Sistem jaringan listrik mikro arus searah dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Jaringan listrik mikro arus searah dengan beberapa sumber

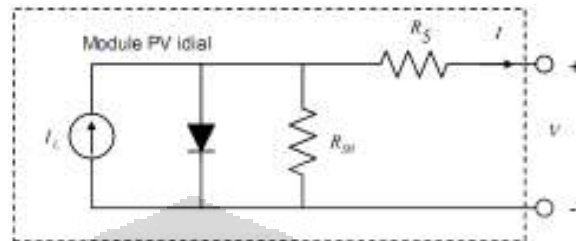
2.1. Sumber Daya Energi Terbarukan

Sumber daya energi terbarukan merupakan komponen yang sangat penting pada jaringan listrik mikro. Karena itu perlu diketahui karakteristik dan faktor apa saja yang mempengaruhi kinerja dari sumber daya ini. Salah satu sumber daya terbarukan yang populer digunakan adalah sel surya yang mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik.

2.1.1. Sel surya

Sel surya merupakan suatu sel yang terbuat dari semikonduktor dan berfungsi untuk mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Konversi listrik yang dihasilkan dari irradiasi cahaya pada suatu sel semikonduktor diketahui sebagai efek photovoltaic. Rangkaian sel surya dapat direpresentasikan sebagai sumber arus yang terhubung paralel dengan sebuah dioda dan tahanan (R_{SH}) dan terhubung seri dengan

tahanan (R_S) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Dengan rangkaian ini maka didapat model matematis dari sel surya yang nantinya dikembangkan untuk pemodelan sel surya.



Gambar 2.2 Rangkaian dari sel surya [11]

Persamaan rangkaian di atas adalah:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{(V+IR_S)}{nkT/q} \right) - 1 \right] - \frac{(V+IR_S)}{R_{SH}} \quad (2.1)$$

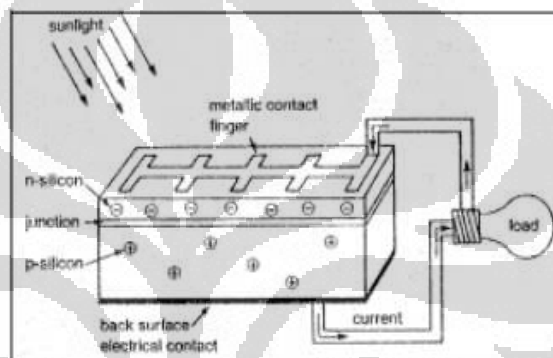
Dimana:

- I = arus keluaran sel surya (Ampere)
- V = tegangan sel surya (Volt)
- I_L = arus yang dibangkitkan oleh sel surya (Ampere)
- I_0 = arus saturasi reverse (Ampere)
- n = faktor ideal dioda (bernilai 1 untuk dioda ideal)
- q = pengisian electron ($1,602 \times 10^{-19}$ C)
- k = konstanta Boltzman ($1,3806 \times 10^{-23}$ J.K⁻¹)
- T = temperatur sel surya (K)

Dalam keadaan cuaca yang cerah, sebuah sel surya akan menghasilkan tegangan konstan sebesar 0.5 V sampai 0.7 V (tegangan sebuah dioda) dengan arus sekitar 20 mA dan jumlah energi yang diterima akan mencapai optimal jika posisi sel surya (tegak lurus) terhadap sinar matahari selain itu juga tergantung dari konstruksi sel surya itu sendiri. Ini berarti bahwa sebuah sel surya dapat menghasilkan daya $0.6 \text{ V} \times 20 \text{ mA} = 12 \text{ mW}$.

2.1.2. Prinsip kerja sel surya

Sel surya merupakan sebuah piranti yang mampu mengubah secara langsung energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Saat cahaya mengenai permukaan semikonduktor, energi foton yang berasal dari cahaya matahari lebih besar dari energi band gap-nya akan mematahkan ikatan pada elektron valensi, sehingga pasangan elektron-hole akan tergenerasi. Pasangan elektron-hole akan menimbulkan medan listrik. Hal ini ditunjukkan oleh gambar 2.3 dibawah ini.

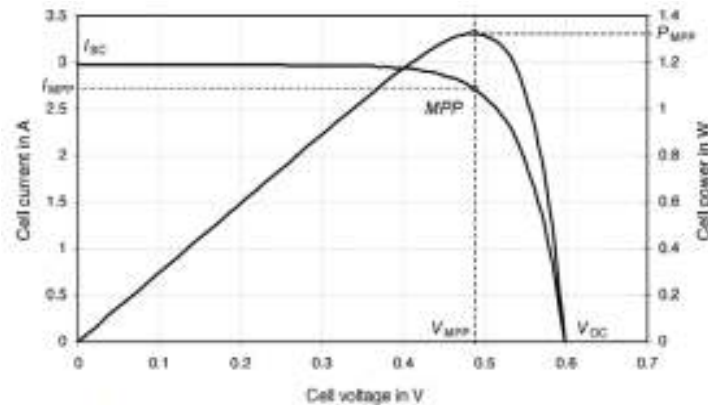


Sumber : Steven J.Strong, *The Solar Electric House*, p.18

Gambar 2.3 Prinsip Kerja Sel Surya

2.1.3. Karakteristik sel surya

Daya yang dihasilkan dari sel surya adalah tegangan (V) operasi dikalikan dengan arus (I) operasi. Tegangan dan arus keluaran yang dihasilkan ketika sel surya memperoleh penyinaran merupakan karakteristik yang disajikan dalam kurva I-V pada gambar 2.4. Kurva ini menunjukkan bahwa pada saat arus dan tegangan berada pada titik kerja maksimal (Maximum Power Point) maka akan menghasilkan daya keluaran maksimum (P_{MPP}). Tegangan di Maximum Power Point (MPP) V_{MPP} , lebih kecil dari tegangan open circuit (V_{OC}) dan arus saat MPP I_{MPP} , adalah lebih rendah dari arus short circuit (I_{sc}).



Sumber : Quaschnig, 2005

Gambar 2.4. Kurva karakteristik I – V

2.1.4. Efisiensi sel surya

Efisiensi sel surya dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain tegangan open circuit (V_{OC}), arus source circuit (I_{SC}) dan Fill Factor (FF).

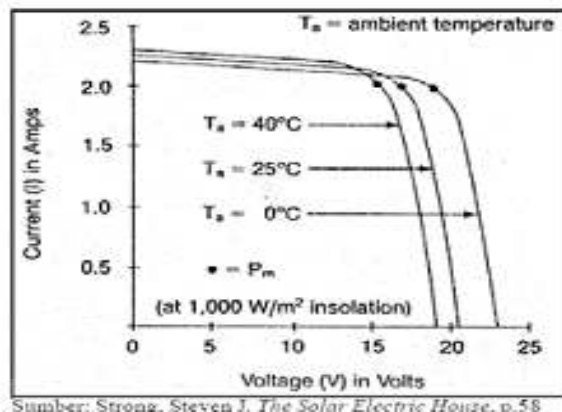
$$\eta = \frac{V_{OC} I_{SC} FF}{P_{in}} \quad (2.2)$$

Dengan:

- η = efisiensi sel surya
- V_{OC} = Open circuit voltage (Volt)
- I_{SC} = Source circuit current (Ampere)
- FF = Fill Factor

Efisiensi maksimum dari konversi energi sel surya tergantung pada [2]:

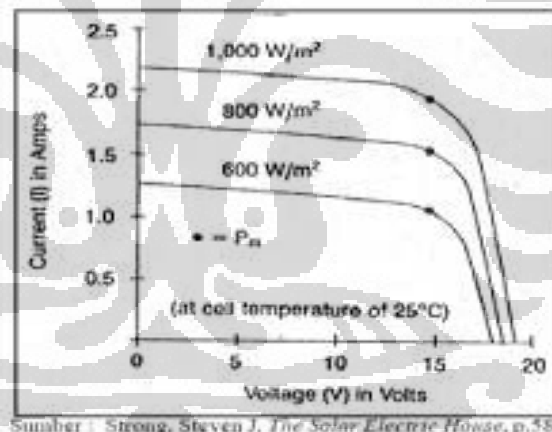
1. Temperature Kerja. Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap normal (pada $25^{\circ}C$). Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan (V_{oc}). Pada gambar 2.5, setiap kenaikan temperatur sel surya 10 Celsius (dari $25^{\circ}C$) akan berkurang sekitar 0.4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali lipat untuk kenaikan temperatur sel per $10^{\circ}C$.



Sumber: Strong, Steven J. *The Solar Electric House*, p.58

Gambar 2.5 Pengaruh temperature terhadap V_{oc}

2. Radiasi matahari. Radiasi matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum cahaya ke bumi. Intensitas radiasi matahari akan banyak berpengaruh pada arus (I) yang dihasilkan dan sedikit berpengaruh pada tegangan (lihat gambar 2.6).

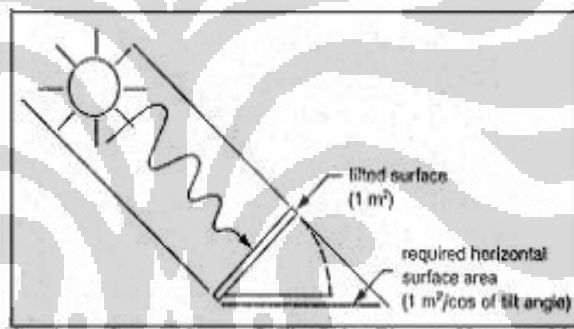


Sumber: Strong, Steven J. *The Solar Electric House*, p.58

Gambar 2.6 Pengaruh intensitas radiasi matahari terhadap arus

3. Kecepatan angin. Kecepatan angin disekitar lokasi larik sel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca larik sel surya.
4. Keadaan atmosfer bumi. Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimal arus listrik dari deretan sel surya.

5. Orientasi panel atau larik sel surya. Orientasi dari rangkaian sel surya (larik) ke arah matahari secara optimum penting agar panel surya dapat menghasilkan energi maksimum. Sudut orientasi (tilt angle) dari panel surya juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum
6. Posisi letak sel surya (larik) terhadap matahari (tilt angle). Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel surya secara tegak lurus (lihat gambar 2.7) akan mendapatkan energi maksimum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$ atau 1 kW/m^2 . Kalau tidak dapat mempertahankan ketegak lurus antara sinar matahari dengan bidang PV, maka ekstra luasan bidang panel sel surya membutuhkan bidang panel sel surya yang berubah setiap jam dalam sehari terhadap sun latitude.



Sumber : Strong, Steven J, *The Solar Electric House*, p.66

Gambar 2.7 Ekstra luasan panel PV dalam posisi datar

Panel sel surya pada Equator (latitude 0 derajat) yang diletakkan mendatar (tilt angle = 0) akan menghasilkan energi maksimum, sedangkan untuk lokasi dengan latitude berbeda harus dicarikan “tilt angle” yang optimum.

2.2. Konverter

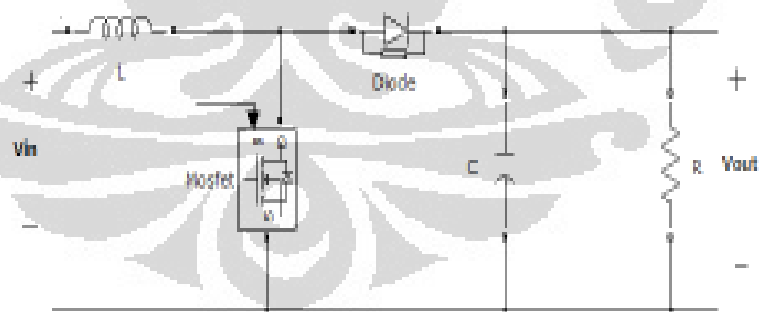
Sistem catu daya yang bekerja dalam mode pensaklaran (switching) mempunyai efisiensi yang jauh lebih tinggi dibanding sistem catu daya linier. Oleh karena itu, hampir semua catu-daya modern bekerja dalam mode switching atau dikenal sebagai SMPS (Switched

Mode Power Supply). Komponen utama dari sistem catu-daya adalah konverter dc–dc yang berfungsi untuk mengkonversikan daya elektrik bentuk dc (searah) ke nilai dc lainnya.

Secara umum, ada tiga rangkaian (topologi) dasar dari konverter dc-dc yaitu buck, boost, dan buck-boost. Rangkaian lain biasanya mempunyai kinerja mirip dengan topologi dasar ini sehingga sering disebut sebagai turunannya. Contoh dari konverter dc-dc yang dianggap sebagai turunan rangkaian buck adalah forward, push-pull, half-bridge, dan full-bridge. Contoh dari turunan rangkaian boost adalah konverter yang bekerja sebagai sumber arus. Contoh dari turunan rangkaian buck-boost adalah konverter flyback.

2.2.1. Boost converter

Boost converter dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dibanding tegangan masukannya (penaik tegangan). Komponen utama dari boost converter ialah induktor, kapasitor, dioda dan switch saklar (MOSFET). Rangkaian dari konverter penaik tegangan dapat dilihat pada gambar 2.8.

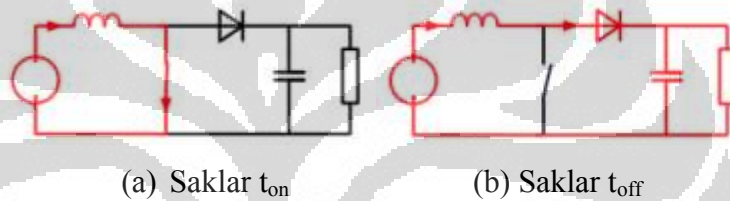


Gambar 2.8 Rangkaian boost converter

2.2.2. Prinsip Kerja Boost converter

Kemampuan boost converter untuk menaikkan tegangan DC berkaitan dengan prinsip switch duration (t_{on} dan t_{off} switch). Saat saklar atau switch MOSFET pada kondisi tertutup (t_{on}), arus akan mengalir ke

induktor sehingga menyebabkan energi yang tersimpan di induktor naik. Saat saklar MOSFET terbuka (t_{off}), arus induktor ini akan mengalir menuju beban melewati dioda sehingga energi yang tersimpan di induktor akan turun. Jika kita lihat pada gambar 2.9 b pada saat t_{off} beban akan disuplai oleh tegangan sumber ditambah dengan tegangan induktor yang sedang melepaskan energinya. Kondisi ini yang menyebabkan tegangan keluaran menjadi lebih besar dibandingkan dengan tegangan masukannya. Rasio antara tegangan keluaran dan tegangan masukan konverter sebanding dengan rasio antara periode penyaklaran dan waktu pembukaan saklar.



Gambar 2.9 Prinsip kerja Boost converter

Dalam operasionalnya, terdapat dua modus operasi untuk Boost converter, yaitu *Continuous Conduction Mode* (CCM) dan *Discontinuous Conduction Mode* (DCM). Pada *continuous mode*, arus induktor tidak pernah jatuh ke nol dalam semua siklus pensaklaran. Sedangkan untuk *discontinuous mode*, arus pada induktor akan jatuh ke nol sebelum selesai satu periode pensaklaran.

2.2.3. *Continuous Conduction Mode* (CCM)

Gambar 2.10 menunjukkan bentuk gelombang dalam keadaan tunak untuk mode conduction ini dimana arus induktor (I_L) mengalir dengan kontinyu [$i_L(t) > 0$].

Saat switch ON, menyebabkan tegangan input (V_s) sama dengan tegangan induktor. Kondisi ini menyebabkan terjadinya peningkatan arus yang melewati induktor, perubahan arus yang melewati inductor pada periode waktu tertentu t dirumuskan[9]:

$$\frac{\Delta I_L}{\Delta t} = \frac{V_s}{L} \quad (2.3)$$

Dimana: V_s adalah tegangan masukan konverter

$$\Delta I_{Lon} = \frac{1}{L} \int_0^{DT} V_s dt = \frac{DT}{L} V_s \quad (2.4)$$

Saat switch OFF, menyebabkan energi dalam bentuk arus yang tersimpan pada inductor mengalir ke beban, sehingga perubahan arus inductor dapat dirumuskan:

$$V_s - V_o = L \frac{dI_L}{dt} \quad (2.5)$$

Dimana V_o adalah tegangan keluaran konverter

$$\Delta I_{Loff} = \int_{DT}^T \frac{(V_s - V_o) dt}{L} = \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} \quad (2.6)$$

Karena integral tegangan inductor terhadap waktu pada keadaan tunak untuk jangka waktu tertentu (satu periode) harus 0, maka:

$$V_s \cdot t_{on} + (V_s - V_o)t_{off} = 0 \quad (2.7)$$

$$\Delta I_{Loff} + \Delta I_{Lon} = 0 \quad (2.8)$$

$$\frac{DT}{L} V_s + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0 \quad (2.9)$$

Dengan membagi persamaan (2.3) dengan T_s didapat persamaan:

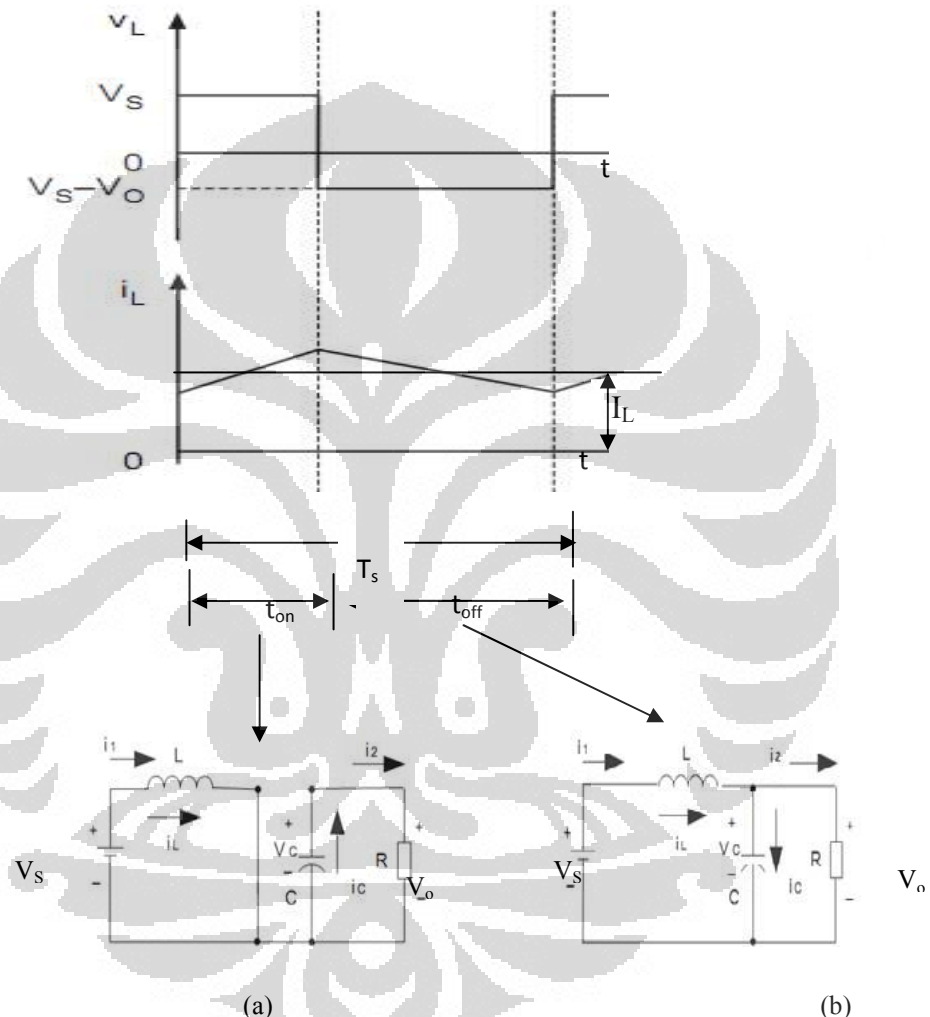
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{T_s}{t_{off}} = \frac{1}{1-D} \quad (2.10)$$

Jika diasumsikan tidak ada rugi – rugi pada rangkaian ($P_s = P_o$), maka

$$V_s I_s = V_o I_o \quad (2.11)$$

Dan

$$\frac{I_o}{I_s} = (1 - D) \quad (2.12)$$



Gambar 2.10 Continuous Conduction mode: (a) saklar on; (b) saklar of

2.2.4. Penentuan Besarnya L dan C

Untuk pemodelan konverter yang baik diperlukan perhitungan nilai komponen-komponen yang tepat. Karena nilai komponen yang tidak tepat, dapat menyebabkan hasil keluaran yang kurang baik, seperti keluarnya ripple tegangan dan arus yang terlalu besar. Untuk mendesain rangkaian konverter, perlu ditetapkan beberapa variable seperti frekuensi

switching, tegangan output, tegangan input minimum, arus beban, ripple arus dan ripple tegangan.

Untuk menentukan nilai komponen - komponen untuk boost converter setelah modul surya dilakukan dengan perhitungan menggunakan persamaan – persamaan di bawah ini [12]:

- Perhitungan duty cycle (D)

$$D = \left(1 - \frac{V_{in-min}}{V_{out}}\right) \quad (2.13)$$

- Perhitungan nilai induktor (L)

$$\Delta i_L = 0.4 \times i_{in} \quad (2.14)$$

$$L = \frac{1}{f} \times (V_{out} + V_f - V_{in}) \times \left(\frac{V_{in}}{V_{out} + V_f}\right) \times \left(\frac{1}{\Delta i_L}\right) \quad (2.15)$$

- Perhitungan nilai kapastor (C):

$$i_{out} = i_{in} \times \left(\frac{V_{in}}{V_{out} + V_f}\right) \quad (2.16)$$

$$i_{Dpeak} = \frac{i_{out}}{D} \quad (2.17)$$

$$i_{Drms} = i_{Dpeak} \times \sqrt{D} \quad (2.18)$$

$$i_{crms} = \sqrt{i_{Drms}^2 \times i_o^2} \quad (2.19)$$

$$\Delta V_o = \text{ripple tegangan output} \times V_o \quad (2.20)$$

Maka:

$$C = \frac{i_{crms} \times D \times T}{\Delta V_o} \quad (2.21)$$

BAB 3

PEMODELAN MODUL SURYA DAN BOOST CONVERTER

3.1. Model Modul Surya

Pada bab 2 telah dijelaskan bahwa rangkaian sel surya dapat direpresentasikan sebagai sumber arus yang terhubung paralel dengan sebuah dioda dan tahanan (R_{SH}) dan terhubung seri dengan tahanan (R_S) seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.2 pada halaman 6. Berdasarkan rangkaian tersebut didapat persamaan arus yang dihasilkan oleh sel surya.

Persamaan 2.1 merupakan model matematis dari satu sel surya. Karena energi yang dihasilkan oleh satu sel surya sangat kecil terhadap kebutuhan beban pada umumnya, maka sel surya dikembangkan lagi menjadi modul surya yang terdiri dari beberapa sel surya. Selain itu nilai dari $R_{SH} \gg R_S$, sehingga persamaan yang digunakan dalam pemodelan sel surya menjadi [8]:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{(V+I.R_S)}{N_S.n.k.T/q} \right) - 1 \right] \quad (3.1)$$

$$I_L = [I_{SCr} + K_i(T_{ak} - T_{rk})] * \lambda/1000 \quad (3.2)$$

$$I_{rs} = I_{SCr} / \left[\exp \left(\frac{(q.V_{oc})}{N_s.A.k.T} \right) - 1 \right] \quad (3.3)$$

$$I_0 = I_{rs} \left[\frac{T}{T_r} \right]^3 \exp \left[\frac{q * E_{g0}}{B.k} \left\{ \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right\} - 1 \right] \quad (3.4)$$

$$I = N_p * I_L - N_p * I_0 \left[\exp \left(\frac{(V+I.R_S)}{N_S.n.k.T/q} \right) - 1 \right] \quad (3.5)$$

Dengan:

K_i = Koefisien temperatur

I_{rs} = Reverse saturation current pada diode (A)

N_p = Jumlah sel surya yang dihubung paralel

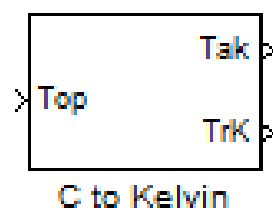
N_s = Jumlah sel surya yang dihubung seri
 V = V_{OC}

Pemodelan dari modul sel surya ini dilakukan dengan menggunakan simulink MatLab. Data parameter di dapat dari jurnal baik dari faktor ideal (A) bahan material yang digunakan dalam pembuatan sel surya, temperatur referensi modul surya(T_{ref}), konstanta boltzman (k) maupun muatan electron(q). Arus hubung singkat (I_{sc}) dan tegangan hubung terbuka(V_{oc}) diperoleh dari data modul sel surya yang nyata. Dengan program simulink MatLab perubahan arus maksimal dan daya maksimal dari modul sel surya dapat diketahui. Data ini nantinya akan dibandingkan dengan modul sel surya nyata.

Dengan menggunakan persamaan – persamaan di atas, modul surya dapat dimodelkan pada simulink MatLab. Untuk memudahkan dalam pemodelan setiap persamaan dimodelkan oleh sebuah subsistem sehingga pemodelan dari modul surya terlihat rapi. Di bawah ini dijelaskan tentang tahapan dalam pemodelan modul surya dimana untuk setiap persamaan dijadikan sebuah subsistem[8]:

1. Tahap 1

Subsistem pertama yang dibuat adalah model yang mengubah temperatur kerja modul sel surya dari derajat Celcius ke Kelvin seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1. Masukan dari subsistem ini adalah temperatur kerja modul sel surya pada derajat Celcius. Sedangkan untuk keluarannya, subsistem ini mempunyai dua keluaran yaitu temperatur kerja modul surya dan temperatur referensi modul surya dengan satuan Kelvin.

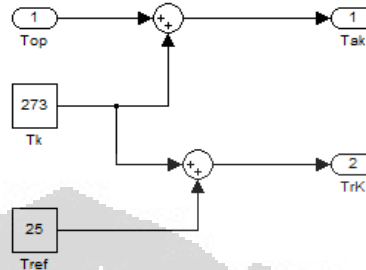


Gambar 3.1 subsistem 1 mengubah °C ke K

Untuk mengubah temperatur kerja derajat Celcius ke Kelvin digunakan persamaan:

$$T_{rk} = 273 + 25 (\text{Reference Temperature}) \quad (3.6)$$

$$T_{ak} = 273 + T_{op} (\text{Operating Temperature}) \quad (3.7)$$

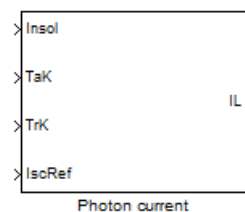


Gambar 3.2 Rangkaian pada subsistem 1

Persamaan (3.6) dan (3.7) digunakan untuk pemodelan subsistem 1. Sehingga rangkaian dalam dari subsistem ini seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.2 dimana untuk setiap temperatur dalam derajat celcius baik temperatur kerja modul surya maupun temperatur referensi akan ditambahkan dengan 273 yang merupakan ketetapan untuk mengubah satuan dari derajat celcius ke Kelvin.

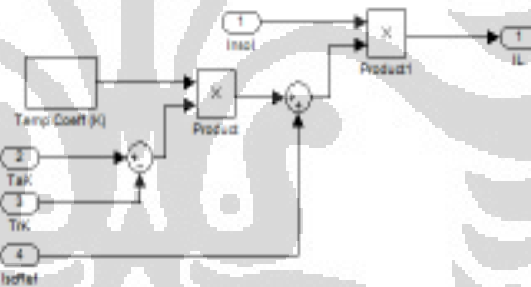
2. Tahap 2

Subsistem 2 merupakan model yang menghitung arus yang dibangkitkan oleh sel surya (I_L) atau arus photon. Masukan dari model ini adalah insolation atau irradiasi, temperatur kerja modul dalam satuan Kelvin (Tak), temperatur referensi modul dalam satuan Kelvin (Trk) dan arus hubungan tertutup referensi (Iscr). Subsistem yang telah dibuat seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3.3 subsistem 2 model perhitungan arus yang dibangkitkan

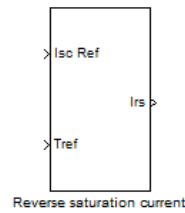
Pemodelan subsistem ini dengan menggunakan persamaan 3.2. Persamaan ini merupakan persamaan yang sederhana dimana hanya terdapat operasi – operasi dasar seperti pengurangan, penjumlahan dan perkalian. Dalam simulink matlab operasi-operasi dasar yang ada memiliki blok sendiri-sendiri, sehingga rangkaian yang dibuat masih terlihat sederhana. Contohnya seperti pada operasi pengurangan Tak oleh Trk dimana antara Tak dan Trk hanya dihubungkan oleh blok lingkaran dimana blok ini berfungsi sebagai pengurangan. Begitu juga dengan perkalian antara koefisien temperatur (K_i) dengan hasil pengurangan tadi dimana K_i dan hasil pengurangan dihubungkan oleh sebuah blok perkalian. Dan begitupun seterusnya sehingga pada akhir operasi didapat nilai I_L sehingga rangkaian dalam subsistem 2 seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rangkaian pada subsistem 2

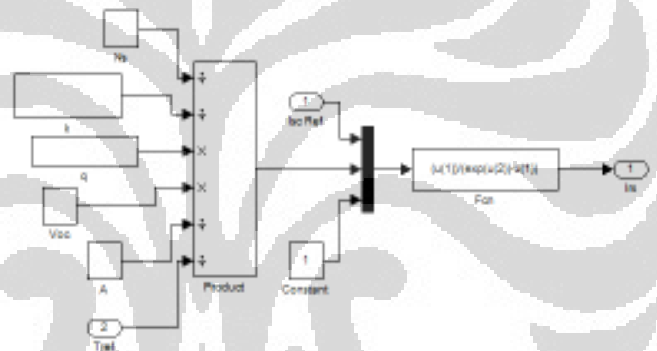
3. Tahap 3

Subsistem 3 (gambar 3.5) merupakan model perhitungan dari arus saturasi balik (I_{rs}). Masukan dari model ini yaitu arus hubungan tertutup pada temperatur referensi (I_{scr}) dan temperatur referensi dalam satuan Kelvin (Trk). Sedangkan untuk q dan k , merupakan suatu konstanta yang nilainya telah ditetapkan. Begitu pula dengan N_s , V_{oc} dan A , nilai dari parameter ini telah ditentukan sesuai modul surya yang ada.



Gambar 3.5 subsistem 3 model perhitungan Irs

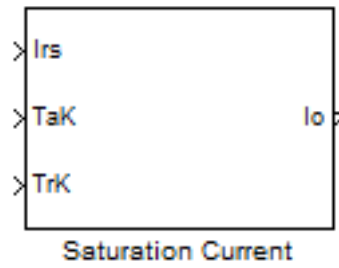
Rangkaian pada subsistem 3 merupakan pemodelan dari persamaan (3.3). Seperti halnya pada pemodelan subsistem 2, Subsistem 3 ini memiliki operasi-operasi dasar hanya saja ada fungsi eksponensialnya. Untuk menerapkan fungsi eksponensial ini digunakan blok Fcn pada akhir operasi. Sehingga didapat model rangkaian dari subsistem 3 seperti gambar 3.6 dibawah ini.



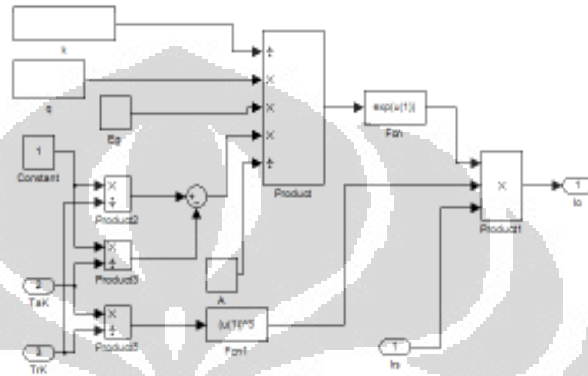
Gambar 3.6 Rangkaian pada subsistem 3

4. Tahap 4

Pada tahap ini persamaan yang digunakan adalah perhitungan dari arus saturasi (I_0). Masukan dari model ini yaitu temperatur kerja modul dalam satuan Kelvin (T_{ak}) dan temperatur referensi dalam satuan Kelvin (T_{rk}) serta arus saturasi balik yang merupakan keluaran dari subsistem 3. Gambar 3.7 di bawah ini menunjukkan subsistem 4 yaitu subsistem untuk perhitungan arus saturasi. Sedangkan gambar 3.8 merupakan rangkaian yang ada pada subsistem 4. Rangkaian ini di dapat dengan memodelkan persamaan 3.4.



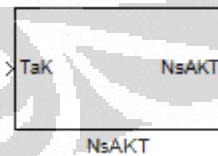
Gambar 3.7 subsistem 4 perhitungan arus saturasi



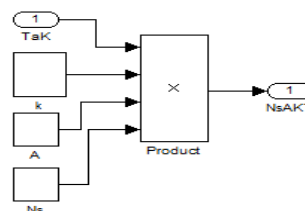
Gambar 3.8 Rangkaian pada subsistem 4

5. Tahap 5

Subsistem 5 merupakan model untuk mengubah temperatur kerja dengan satuan Kelvin menjadi hasil dari perkalian $N_s \times A \times k \times T$. Hal ini untuk memudahkan dalam pembuatan subsistem selanjutnya. Gambar di bawah ini menunjukkan subsistem 5 dan rangkaian yang ada di dalamnya.



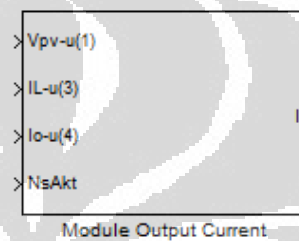
Gambar 3.9 Subsistem 5



Gambar 3.10 rangkaian pada subsistem 5

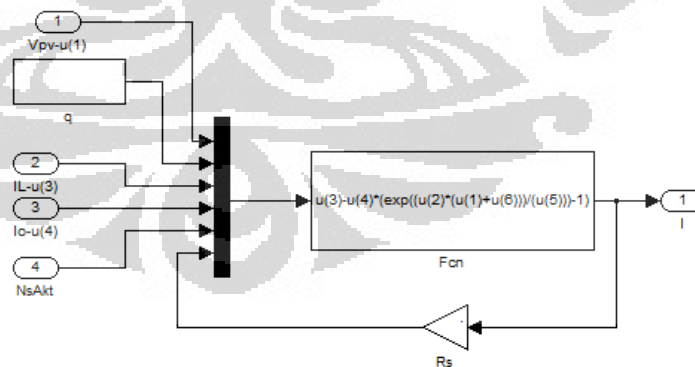
6. Tahap 6

Pada tahap ini merupakan model dari perhitungan dari arus yang dihasilkan modul sel surya. Dengan menggunakan persamaan (3.5) dapat dilakukan pemodelan perhitungan tersebut. Masukan dari model ini adalah tegangan photovoltaic (V_{pv}), arus yang dibangkitkan oleh sel surya (I_L), arus saturai (I_o) dan perkalian antara N_s , k , A dan T . Subsistem yang dibuat adalah subsistem 6 seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.11 yang mempunyai keluaran arus (I).



Gambar 3.11 Subsistem 6

Pemodelan rangkaian yang ada pada subsistem 6 sama seperti pemodelan subsistem - subsistem sebelumnya. Namun ada hal yang membedakan yaitu masukan tahanan seri (R_s) yang nilainya selalu mengalami peningkatan untuk setiap waktu sehingga untuk R_s digunakan blok "gain".



Gambar 3.12 Rangkaian pada subsistem 6

7. Tahap 7

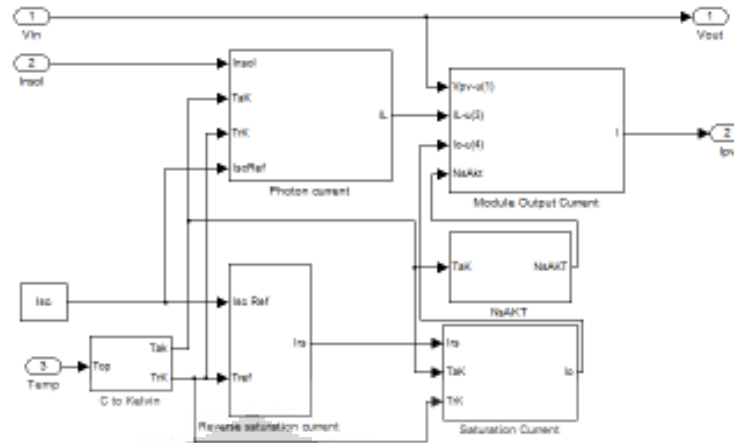
Pada tahap ini semua model subsistem yang telah dibuat saling dihubungkan. Untuk keluaran dari subsistem 1 yaitu Tak

dihubungkan dengan masukan Tak dari subsistem 2, subsistem 4 dan subsistem 5. Sedangkan keluaran Trk dihubungkan dengan masukan Trk dari subsistem 2 subsistem 3 dan subsistem 4

Masukan subsistem 2 yang tersisa adalah insolation dan arus hubung singkat referensi ($I_{sc_{ref}}$). Insolation merupakan suatu masukan yang dapat diubah sehingga untuk insolation cukup dihubungkan pada port input sedangkan untuk $I_{sc_{ref}}$ merupakan konstanta yang telah ada berdasarkan modul yang akan dimodelkan. Sedangkan keluaran dari subsistem 2 yaitu I_L dihubungkan dengan masukan dari subsistem 6.

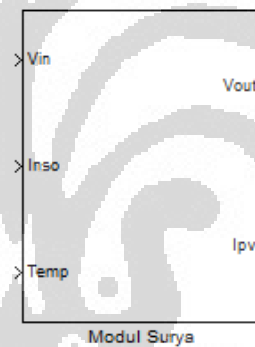
Pada subsistem 3 masukan yang belum terhubung adalah $I_{sc_{ref}}$. maka dari itu masukan dihubungkan dengan $I_{sc_{ref}}$ yang merupakan blok konstan. Sedangkan keluaran subsistem ini (I_{rs}) dihubungkan dengan masukan dari subsistem 4. Semua masukan dari subsistem 4 telah terhubung. Untuk keluaran subsistem 4 yaitu (I_s) dihubungkan dengan inputan dari subsistem 6.

Subsistem 5 hanya memiliki satu masukan dan satu keluaran. Masukan subsistem ini telah terhubung dengan subsistem 1 (Tak). Sedangkan keluaran belum terhubung karena itu keluaran dari subsistem ini dihubungkan dengan masukan subsistem 6 ($N_s A_k T$). Sehingga masukan subsistem 6 yang belum terhubung adalah masukan untuk tegangan. Maka untuk masukan tegangan dihubungkan dengan port inputan. Keluaran dari subsistem 6 adalah arus yang dihasilkan modul surya dan kemudian dihubungkan ke port keluaran, begitu juga untuk tegangan yang dihasilkan modul surya. Hubungan antara subsistem –subsistem di atas ditunjukkan oleh gambar 3.13.



Gambar 3.13 hubungan antara 6 subsistem

Model akhir dari modul sel surya ditunjukkan pada gambar 3.14. Masukan dari model ini ialah tegangan, insolation/irradiasi dan temperatur kerja dari modul.



Gambar 3.14 Blok pemodelan modul sel surya

3.2. Maximum Power Point Tracker (MPPT)

Pada simulasi yang dibuat, keluaran dari modul surya akan dijadikan masukan dari model boost converter. Akan tetapi, keluaran model modul surya di atas masih dalam bentuk kurva karakteristik yaitu arus terhadap tegangan dan daya terhadap tegangan, maka diperlukan suatu algoritma yang dapat mencari titik maksimum dari kurva daya terhadap tegangan sehingga keluaran dari modul surya menjadi maksimal. Salah satu caranya dengan menggunakan MPPT (Maximum Power Point Tracker) yang diintegrasikan dengan voltage regulator.

Salah satu jenis MPPT adalah metode ICM (Incremental Conduction Metode). Metode penentuan titik daya maksimum atau titik tegangan operasi optimal dengan memanfaatkan sifat bahwa suatu fungsi, dalam hal ini adalah fungsi daya terhadap tegangan, akan mencapai titik maksimum ketika gradiennya bernilai 0. Atau sesuai dengan persamaan:

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (3.6)$$

Karena $P = I.V$, maka:

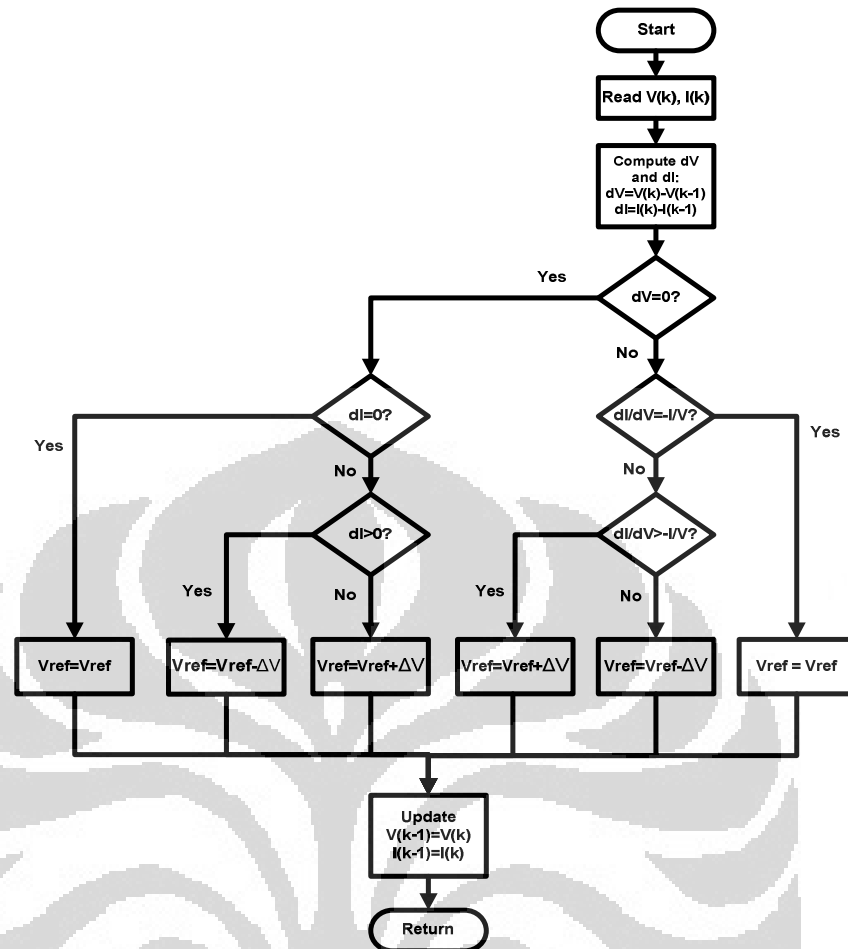
$$\frac{d(IV)}{dV} = I \frac{dV}{dV} + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = 0 \quad (3.7)$$

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (3.8)$$

Algoritma ICM ini akan meningkatkan atau menurunkan nilai tegangan operasi hingga persamaan (3.8) tercapai (Yan, Fei, Jinjun, & Shanxu, 2008). Namun karena algoritma ICM ini memberikan peningkatan dan penurunan nilai tegangan operasi secara konstan, maka nilai tegangan operasi yang tercapai akan berosilasi disekitar titik tegangan operasi optimal.

3.2.1. Diagram alir ICM

Algoritma ICM ini dapat dinyatakan dalam bentuk diagram alir. Gambar 3.16 menunjukkan diagram alir dari algoritma ICM yang akan digunakan pada sistem MPPT [13].



Gambar 3.15. Diagram Alir ICM

Keterangan variabel yang digunakan pada Gambar 3.16:

- $V(k)$: Tegangan keluaran Sel Surya pada sampling k
 $I(k)$: Arus keluaran Sel Surya pada sampling k
 $V(k-1)$: Tegangan keluaran Sel Surya pada sampling $k-1$
 $I(k-1)$: Arus keluaran Sel Surya pada sampling $k-1$
 V_{ref} : Rekomendasi tegangan operasi Sel Surya
 ΔV : Konstanta perubahan V_{ref}

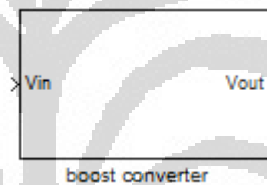
Adapun penjelasan proses pada diagram alir ICM adalah sebagai berikut:

1. Baca nilai $V(k)$ dan $I(k)$ sel surya.
2. Hitung nilai dV dan dI , yaitu $dV = V(k) - V(k-1)$ dan $dI = I(k) - I(k-1)$.
3. Lihat nilai dV dan dI untuk menentukan nilai $V_{ref}(k)$:
 - a. Jika $dV = 0$ dan $dI = 0$, maka $V_{ref}(k) = V_{ref}(k-1)$.

- b. Jika $dV = 0$ dan $dI > 0$, maka $V_{ref}(k) = V_{ref}(k-1) - \Delta V$.
 - c. Jika $dV = 0$ dan $dI < 0$, maka $V_{ref}(k) = V_{ref}(k-1) + \Delta V$.
 - d. Jika $dI/dV = -I(k)/V(k)$, maka $V_{ref}(k) = V_{ref}(k-1)$.
 - e. Jika $dI/dV > -I(k)/V(k)$, maka $V_{ref}(k) = V_{ref}(k-1) + \Delta V$.
 - f. Jika $dI/dV < -I(k)/V(k)$, maka $V_{ref}(k) = V_{ref}(k-1) - \Delta V$.
4. Memperbarui nilai $V(k-1)$ dan $I(k-1)$ dimana:
 $V(k-1)=V(k)$ dan $I(k-1)= I(k)$

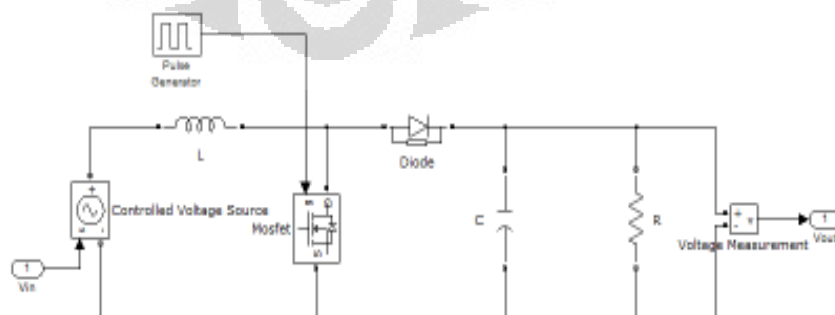
3.3. Model Boost Converter

Boost converter dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dibanding tegangan masukannya. Dalam simulasi ini komponen utama penyusun dari boost converter ialah induktor, kapasitor, dioda dan MOSFET.



Gambar 3.16 subsistem boost converter

Pada bab 2 telah dijelaskan tentang rangkaian dan model matematis boost converter. Dengan penjelasan tersebut boost converter dapat dimodelkan pada simulink MatLab. Pada matlab komponen-komponen penyusun boost converter sudah tersedia seperti induktor, kapasitor, diode, mosfet dan resistor. Sehingga kita dapat merangkai modelnya seperti gambar 3.17 di bawah ini.



Gambar 3.17 Rangkaian dalam subsistem boost converter

Boost converter yang dimodelkan adalah konverter yang menaikkan tegangan dari 12 volt ke 254 volt. Dengan menggunakan persamaan – persamaan yang telah dijelaskan pada bab 2 dapat ditentukan nilai komponen penyusun boost converter. Untuk lebih jelasnya di bawah ini dijelaskan perhitungannya.

Nilai – nilai yang sudah ditentukan:

Tegangan masukan (V_s) : 12 volt

Tegangan keluaran (V_o) : 254 volt

Periode switching (T) : 20 μ s

Frekuensi (f_s) : 50 kHz

Ripple tegangan keluaran : 0.1 %

- Perhitungan duty cycle

$$D = \left(1 - \frac{12}{254}\right) = 0,953$$

- Perhitungan nilai L

$$\Delta i_L = 0.4 \times 4,17 = 1.668$$

$$L = \frac{1}{50000} \times (254 + 0.7 - 12) \times \left(\frac{12}{254 + 0.7}\right) \times \left(\frac{1}{1,668}\right) = 0.1367 \text{ mH}$$

- Perhitungan nilai C

$$i_{out} = 4.17 \times \left(\frac{12}{254 + 0.7}\right) = 0.1965 \text{ A}$$

$$i_{Dpeak} = \frac{0.1965}{0.953} = 0.2065 \text{ A}$$

$$i_{Drms} = 0.2065 \times \sqrt{0.953} = 0.2016 \text{ A}$$

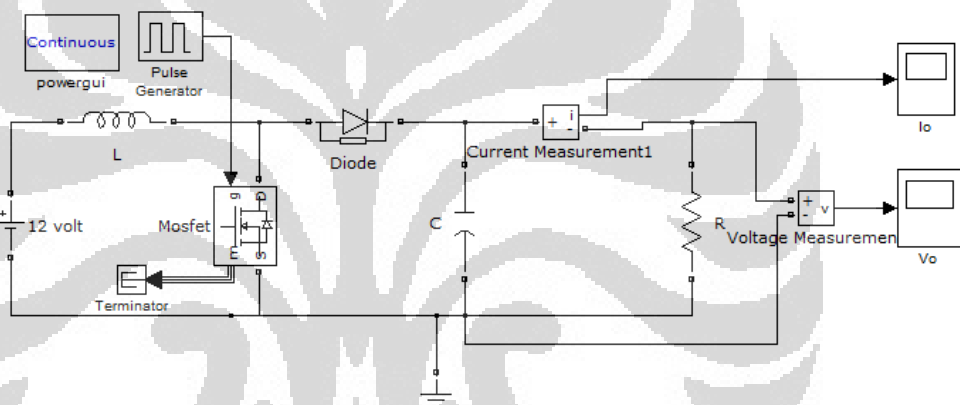
$$i_{crms} = \sqrt{0.2016^2 \times 0.0.1965^2} = 0.045$$

$$\Delta V_o = 0.1\% \times 254 = 0,254$$

Maka:

$$C = \frac{0,045 \times 0,953 \times 0,00002}{0,254} = 3,38 \mu F$$

Setelah nilai dari komponen - komponen yang dibutuhkan untuk pemodelan boost converter diketahui maka masukan nilai-nilai tersebut pada model boost converter yang telah dibuat dan mensimulasikannya. Untuk memudahkan dalam menemukan nilai L yang tepat dengan menggunakan sumber tegangan DC dengan nilai konstan yaitu 12 volt. Sehingga rangkaian model boost converter seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.19.



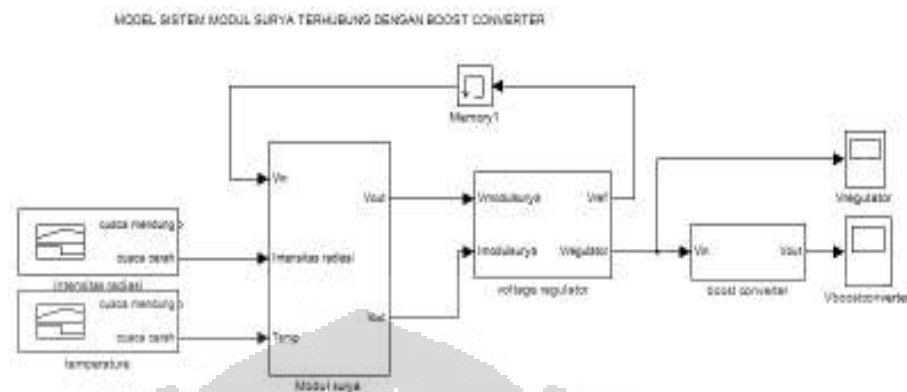
Gambar 3.18 Blok simulasi untuk menentukan nilai R

Dengan menggunakan rangkaian di atas, hal yang dilakukan adalah menentukan nilai R untuk mendapatkan tegangan keluaran 254 volt. Setelah dilakukan simulasi nilai R yang sesuai sebesar 7500 Ω .

3.4. Model Sistem

Model yang telah dibuat dihubungkan satu dengan yang lain. Model dari modul surya yang menghasilkan arus dan tegangan dihubungkan dengan voltage regulator yang terintegrasi dengan sistem MPPT untuk menentukan daya maksimal yang dihasilkan oleh modul surya. Kemudian tegangan keluaran dari voltage regulator dihubungkan dengan boost converter sebagai masukan blok boost converter.

Hubungan antara blok tersebut ditunjukkan oleh gambar 3.22 dibawah ini.



Gambar 3.19 Hubungan antara blok modul surya, voltage regulator dan boost converter

Rangkaian voltage regulator dalam simulasi ini menggunakan topologi buck converter dengan pengendali PI. Dengan perhitungan didapat nilai inductor $33.4 \mu\text{H}$ dan kapasitor $86.87 \mu\text{F}$. Untuk mencari nilai resistor rangkaian tersebut didimulasikan dan nilai resistor yang didapat 10Ω . Namun, ripple yang dihasilkan terlalu besar sehingga nilai C dinaikkan menjadi $100 \mu\text{F}$.

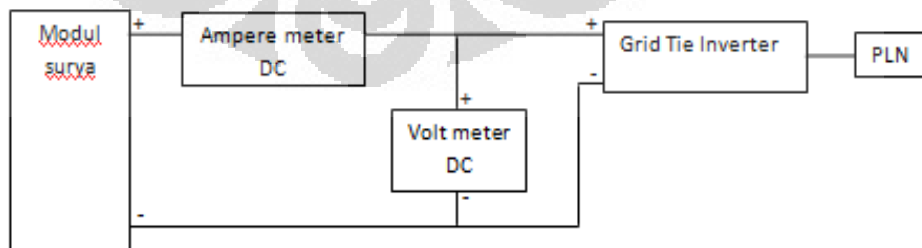
BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.1. Pengukuran Intensitas Radiasi Matahari dan Temperatur Kerja Modul Surya

Sel surya dapat menghasilkan energi listrik ketika radiasi matahari mengenai permukaan modul surya. Energi listrik yang dihasilkan bergantung pada besar kecilnya nilai radiasi yang diserap oleh modul surya tersebut. Faktor lain yang mempengaruhi besar kecilnya energi yang dihasilkan modul surya adalah temperatur kerjanya. Oleh karena itu untuk melakukan simulasi dibutuhkan data radiasi matahari dan temperatur kerja dari modul surya.



(a) Gambar alat – alat pengukuran



(b) Skematik pengukuran

Gambar 4.1 Pengukuran intensitas radiasi matahari dan temperatur kerja modul surya

Intensitas radiasi matahari ialah jumlah energi matahari yang sampai pada suatu luasan tertentu dari suatu permukaan pada waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam satuan Calori, Joule, atau Watt/m². Pada simulasi data yang digunakan adalah data intensitas radiasi matahari minimum, rata-rata intensitas radiasi dan intensitas radiasi maksimum pada masing-masing cuaca.

Hal ini dilakukan karena kita ingin mendapatkan pengaruh dari perubahan intensitas radiasi matahari terhadap keluaran dari modul surya dan boost converter. Di bawah ini tabel pengukuran intensitas radiasi matahari dan temperatur kerja dari modul surya.

Tabel 4.1 Pengukuran intensitas radiasi matahari dan temperatur kerja modul surya saat cuaca mendung

Waktu (WIB)	Intensitas Radiasi Matahari (W / m ²)	Temperatur kerja modul surya		Temperatur lingkungan	
		K	°C	K	°C
9:00	54	301.8	28.8	299.6	26.6
9:30	64	302.1	29.1	300.2	27.2
10:00	73	303.2	30.2	301.1	28.1
10:30	105	303.3	30.3	301.2	28.2
11:00	144	305.5	32.5	301.8	28.8
11:30	130	306.6	33.6	301.6	28.6
12:00	176	307.2	34.2	302.3	29.3
12:30	133	306.9	33.9	302.5	29.5
13:00	202	307.4	34.4	303.1	30.1
13:30	273	309.2	36.2	303.5	30.5

Keterangan : 5 Juni 2012

Tabel 4.2 Pengukuran intensitas radiasi matahari dan temperatur kerja modul surya saat cuaca terang

Waktu (WIB)	Intensitas Radiasi Matahari (W / m ²)	Temperatur kerja modul surya		Temperatur Lingkungan	
		K	°C	K	°C

8:30	476	325.1	52.1	304.9	31.9
9:00	523	323.8	50.8	302.2	29.2
9:30	589	325.9	52.9	302.6	29.6
10:00	623	326	53	309.3	36.3
10:30	658	329.9	56.9	303.7	30.7
11:00	752	328.1	55.1	305	32

Keterangan : 7 Juni 2012

4.2. Simulasi Modul Surya

Simulasi modul surya dilakukan dengan menggunakan simulink MatLab. Modul surya yang dimodelkan adalah modul surya B2TE-BPPT buatan PT LEN INDUSTRI (Persero) yang spesifikasinya dapat dilihat pada tabel 4.3. Data parameter di dapat dari jurnal baik dari faktor ideal (A) bahan material yang digunakan dalam pembuatan sel surya, temperatur referensi modul surya (Tref), konstanta boltzman (k) maupun muatan electron (q). Arus hubung singkat (Isc) dan tegangan hubung terbuka (Voc) diperoleh dari data modul sel surya yang nyata.

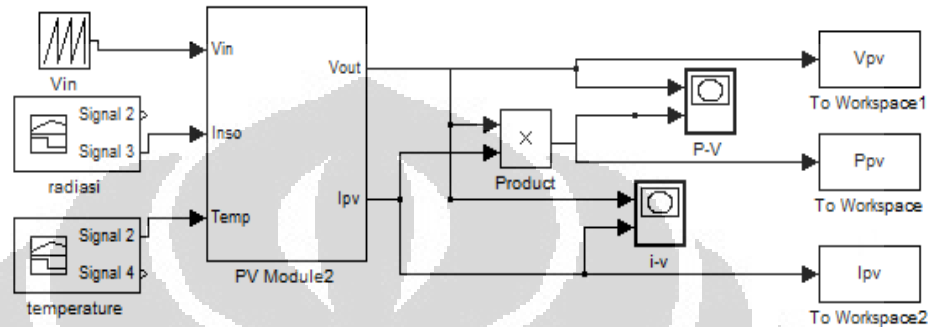
Tabel 4.3 Spesifikasi Modul Sel Surya

Spesifikasi Modul Sel Surya	
Pmax (watt)	50
Voc (volt)	21.0 – 22.2
Isc (Ampere)	3 – 3.3
Vmax (volt)	16.8 – 17.5
Imax (Ampere)	2.8 – 3
Seri	36
Material	Poly Chrystalline Silicon

Pada pemodelan modul surya ini data yang diberikan seperti konstanta boltzman(k) yaitu 1.3805×10^{-23} J/K, muatan elektron(q) 1.6×10^{-19} C, factor ideal(A) sesuai dengan material pembentuk dari modul sel surya yaitu poly silikon sebesar 1.3 dan NOTCnya sebesar 48°C , Arus hubung singkat (Isc) dan tegangan rangkaian terbuka (Voc) sesuai spesifikasi dari modul surya yang disimulasikan. Jumlah sel surya yang dihubung seri sebanyak 36.

4.2.1. Simulasi karakteristik modul surya

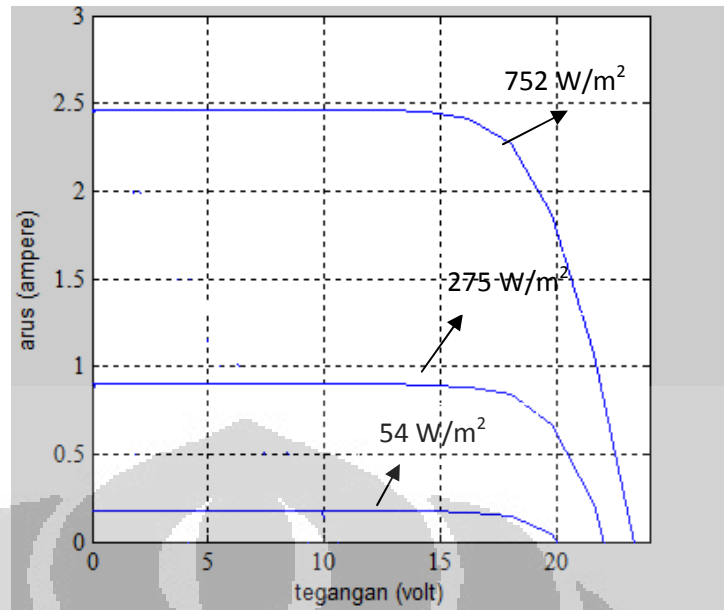
Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari model yang telah dibuat. Dengan karakteristik I – V dan P – V maka dapat diketahui model yang telah dibuat sesuai dengan teori atau tidak. Untuk mengetahui karakteristik tersebut rangkaian modul surya dihubungkan seperti gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4.2 Blok simulasi untuk mengetahui karakteristik modul surya

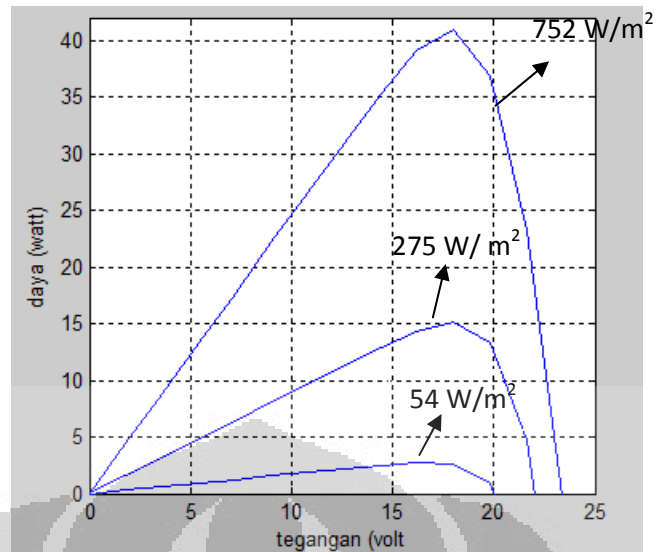
1. Perubahan intensitas radiasi matahari

Dalam simulasi ini data yang dipakai merupakan data intensitas radiasi di saat cuaca mendung yaitu 54 W/m^2 , 275 W/m^2 dan 752 W/m^2 dengan temperatur dijaga konstan 25°C . Perubahan intensitas radiasi matahari yang mengenai permukaan modul surya berpengaruh terhadap daya listrik yang dibangkitkan oleh modul surya. Besaran yang paling terpengaruh adalah arus keluaran. Hal ini seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.3 Karakteristik I – V dari model yang telah dibuat.



Gambar 4.3 karakteristik I – V hasil simulasi modul surya dengan perubahan intensitas radiasi

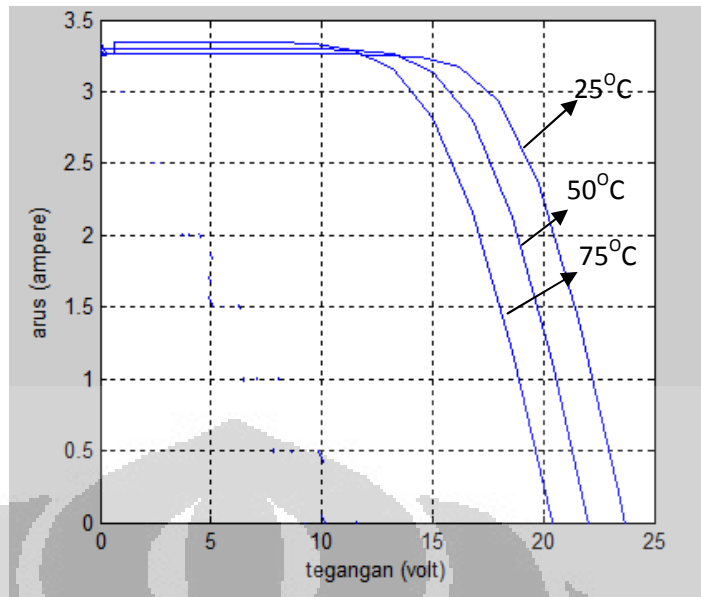
Grafik diatas merupakan karakteristik arus(I)-tegangan(V) model yang telah dibuat. Sumbu x merupakan variasi tegangan dan sumbu y merupakan arus keluaran dari modul surya. Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa grafik arus pada intensitas radiasi 54 W/m² merupakan arus yang paling kecil dibandingkan arus yang dibangkitkan modul surya pada intensitas radiasi 275 W/m² dan 752 W/m². Jadi, model yang dibuat telah sesuai dengan teori dimana untuk setiap kenaikan intensitas radiasi matahari, arus yang dihasilkan modul surya mengalami peningkatan. Hal ini pasti berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan dimana setiap kenaikan intensitas radiasi matahari daya yang dihasilkan juga mengalami peningkatan. Hal ini seperti yang ditunjukkan oleh grafik 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.4 karakteristik P – V hasil simulasi modul surya dengan perubahan intensitas radiasi

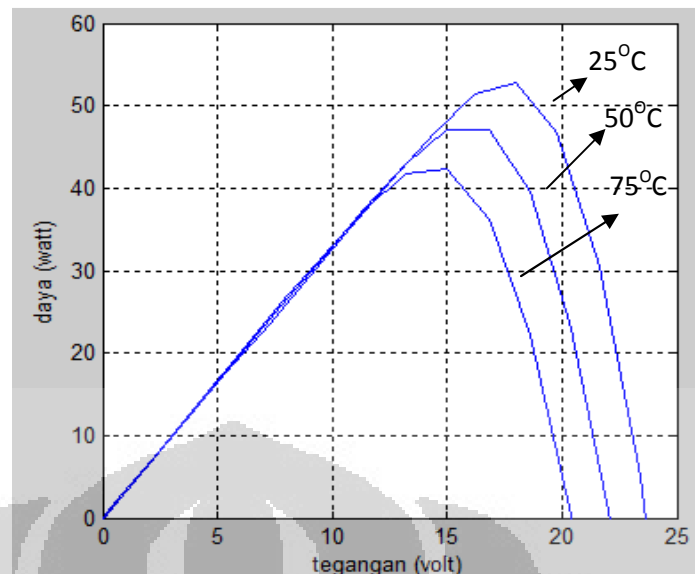
2. Perubahan temperatur kerja

Untuk mengetahui pengaruh dari perubahan temperatur kerja dari modul surya maka masukan intensitas radiasi matahari dijaga konstan. Dalam hal ini nilai intensitas radiasi matahari yang dipakai adalah 1000 W/m^2 . Nilai ini merupakan yang digunakan dalam pengujian sel surya, sedangkan temperatur yang dipakai adalah 25°C , 50°C dan 75°C hal ini dimaksudkan agar pengaruh dari temperatur kerja akan terlihat. Dengan menggunakan nilai – nilai tersebut untuk masukan dari modul surya di dapat grafik karakteristik I – V dan P – V seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.5 Karakteristik I – V dari simulasi modul surya dengan perubahan temperatur kerja

Kurva di atas menunjukkan kurva karakteristik I – V dari model yang telah dibuat. Di grafik ini arus yang dihasilkan oleh modul surya memiliki nilai yang hampir sama. Yang membedakan yaitu saat terjadi penurunan kurva arus menuju titik nol. Untuk intensitas radiasi yang sama, pada temperatur kerja 25°C penurunan kurva arus terjadi pada tegangan 14 - 24 volt. Saat temperatur naik menjadi 50°C kurva arus mengalami penurunan dalam kisaran tegangan 12 - 23 volt dan pada temperatur kerja dinaikkan menjadi 75°C penurunan kurva arus terjadi pada tegangan 12 – 20.5 volt. Hal ini akan mempengaruhi besarnya nilai tegangan saat daya yang dibangkitkan modul surya dalam keadaan maksimal.



Gambar 4.6 Karakteristik P – V dari simulasi modul surya dengan perubahan temperatur kerja

Pada simulasi dengan intensitas radiasi konstan dan variasi temperatur kerja pengaruh yang sangat terlihat adalah daya dan tegangan keluaran dari modul surya. Seperti yang ditunjukkan gambar 4.6 bahwa setiap kenaikan temperatur kerja, daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh modul surya mengalami penurunan. Hal ini berpengaruh besar pada tegangan dan berpengaruh kecil terhadap arus yang dihasilkan.

4.2.2. Verifikasi Modul Surya

4.2.2.1. Data Perbandingan hasil simulasi pemodelan dengan pengukuran

1. Cuaca Mendung

Tabel 4.4 Perbandingan Voc model dengan pengukuran

Intesitas Radiasi Matahari (W/m ²)	Temperatur kerja (°C)	Voc (Volt)	
		Model	Ukur
54	28.8	22.2	18.4
64	29.1	22.2	18.4

73	30.2	22.2	18.5
105	30.3	22.2	19
144	32.5	22.2	19.2
130	33.6	22.2	19
176	34.2	22.2	19.3
133	33.9	22.2	18.9
202	34.4	22.2	19.6
273	36.2	22.2	19.7

Tabel 4.5 Perbandingan tegangan dan arus pada model dengan pengukuran

Intesitas Radiasi Matahari (W/m^2)	Temperatur kerja ($^{\circ}C$)	Tegangan (Volt)		Arus (Volt)	
		Model	Ukur	Model	Ukur
54	28.8	16.3	13.8	0.1	0.19
64	29.1	16.5	13.8	0.2	0.21
73	30.2	16.5	14.5	0.22	0.25
105	30.3	16.7	15.1	0.32	0.36
144	32.5	16.7	15.8	0.47	0.53
130	33.6	16.6	14.4	0.4	0.48
176	34.2	16.65	14.3	0.53	0.62
133	33.9	16.6	14.8	0.4	0.42
202	34.4	16.65	15.2	0.62	0.72
273	36.2	16.5	15.5	0.82	0.92

2. Pada Cuaca Cerah

Tabel 4.6 Perbandingan Voc model dengan pengukuran

Intensitas Radiasi Matahari (W/m ²)	Temperatur kerja (°C)	Voc (Volt)	
		Model	Ukur
476	52.1	22.2	19.4
523	50.8	22.2	19.4
589	52.9	22.2	19.4
623	53	22.2	19.5
658	56.9	22.2	18.9
752	55.1	22.2	19.2

Tabel 4.7 Perbandingan tegangan dan arus pada model dengan pengukuran

Intensitas Radiasi Matahari (W/m ²)	Temperatur kerja (°C)	Tegangan (Volt)		Arus (Volt)	
		Model	Ukur	Model	Ukur
476	52.1	15.1	13.9	1.42	2.35
523	50.8	14.9	14	1.52	2.46
589	52.9	14.7	14.3	1.74	2.55
623	53	14.6	14.9	1.83	2.42
658	56.9	14.4	14.3	1.93	2.48
752	55.1	14.2	14.4	2.18	2.65

4.2.2.2. Data dan analisis

Setiap percobaan pasti ada kesalahan – kesalahan yang dilakukan. Keakuratan data percobaan yang dilakukan dapat diketahui dengan melihat kesalahannya (persentase kesalahan). Untuk menghitung persentase kesalahan digunakan persamaan di bawah ini.

$$\% \text{ kesalahan} = \left| \frac{\text{hasil pemodelan} - \text{hasil Pengukuran}}{\text{hasil Pengukuran}} \right| \times 100 \% \quad (4.1)$$

Menghitung persen kesalahan Voc berbeda dengan persamaan 4.1 karena Voc yang untuk pemodelan merupakan spesifikasi dari modul surya yang sebenarnya maka untuk menghitung persen kesalahannya digunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ kesalahan} = \left| \frac{\text{hasil pengukuran} - \text{Voc spesifikasi}}{\text{Voc spesifikasi}} \right| \times 100 \% \quad (4.2)$$

1. Cuaca mendung

Tabel 4.8 persentase kesalahan Voc pengukuran pada cuaca mendung

Intesitas Radiasi Matahari (W/m^2)	Temperatur kerja ($^{\circ}\text{C}$)	Voc (Volt)		selisih Voc (Volt)	persen kesalahan
		Model	Ukur		
54	28.8	22.2	18.4	3.8	17.12
64	29.1	22.2	18.4	3.8	17.12
73	30.2	22.2	18.5	3.7	16.67
105	30.3	22.2	19	3.2	14.41
144	32.5	22.2	19.2	3	13.51
130	33.6	22.2	19	3.2	14.41
176	34.2	22.2	19.3	2.9	13.06
133	33.9	22.2	18.9	3.3	14.86
202	34.4	22.2	19.6	2.6	11.71
273	36.2	22.2	19.7	2.5	11.26
Rata – rata					14.41

Tabel 4.9 persentase kesalahan tegangan dan arus hasil simulasi pada cuaca mendung

Intesitas Radiasi Matahari (W/m ²)	Temperatur kerja (°C)	Tegangan (Volt)		Arus (Ampere)		persen kesalahan	
		Model	Ukur	Model	Ukur	Tegangan	Arus
54	28.8	16.3	13.8	0.1	0.19	15.34	47.37
64	29.1	16.5	13.8	0.2	0.21	16.36	4.76
73	30.2	16.5	14.5	0.22	0.25	12.12	12.00
105	30.3	16.7	15.1	0.32	0.36	9.58	11.11
144	32.5	16.7	15.8	0.47	0.53	5.39	11.32
130	33.6	16.6	14.4	0.4	0.48	13.25	16.67
176	34.2	16.65	14.3	0.53	0.62	14.11	14.52
133	33.9	16.6	14.8	0.4	0.42	10.84	4.76
202	34.4	16.65	15.2	0.62	0.72	8.71	13.89
273	36.2	16.5	15.5	0.82	0.92	6.06	10.87
Rata – rata						11.18	14.73

Daya merupakan hasil perkalian dari tegangan dengan arus. Dengan adanya nilai tegangan dan arus maka daya akan dapat diketahui. Karena itu persentase kesalahan daya hasil simulasi dapat diketahui seperti yang ditunjukkan tabel 4.10 dibawah ini.

Tabel 4.10 persentase kesalahan Daya hasil simulasi pada cuaca mendung

Intesitas Radiasi Matahari (W/m ²)	Temperatur kerja (°C)	Daya (Watt)		persentase kesalahan daya
		Model	Ukur	
54	28.8	1.63	2.62	60.86
64	29.1	3.30	2.90	12.18
73	30.2	3.63	3.63	0
105	30.3	5.34	5.44	1.72
144	32.5	7.85	8.37	6.69

130	33.6	6.64	6.91	4.10
176	34.2	8.82	8.87	0.47
133	33.9	6.64	6.22	6.39
202	34.4	10.32	10.94	6.02
273	36.2	13.53	14.26	5.40
Rata – rata				6.65

2. Cuaca cerah

Tabel 4.11 persentase kesalahan Voc pengukuran pada cuaca cerah

Intensitas Radiasi Matahari (W/m^2)	Temperatur kerja ($^{\circ}C$)	Voc (Volt)		Selisih Voc (Volt)	persentase kesalahan
		Model	Ukur		
476	52.1	22.2	19.4	2.8	14.43
523	50.8	22.2	19.4	2.8	14.43
589	52.9	22.2	19.4	2.8	14.43
623	53	22.2	19.5	2.7	13.85
658	56.9	22.2	18.9	3.3	17.46
752	55.1	22.2	19.2	3	15.62
Rata – rata					15.04

Tabel 4.12 persentase kesalahan tegangan dan arus hasil simulasi pada cuaca cerah

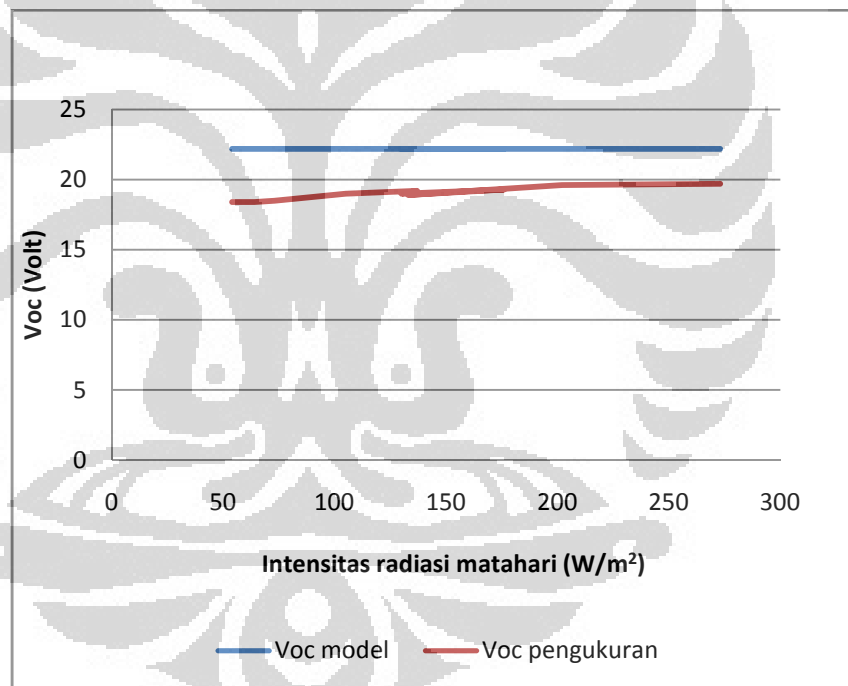
Intensitas Radiasi matahari (W/m^2)	Temperatur kerja ($^{\circ}C$)	Tegangan (Volt)		Arus (Volt)		persen kesalahan	
		Model	Ukur	Model	Ukur	Tegangan	Arus
476	52.1	15.1	13.9	1.42	2.35	8.63	39.57
523	50.8	14.9	14	1.52	2.46	6.43	38.21
589	52.9	14.7	14.3	1.74	2.55	2.8	31.76
623	53	14.6	14.9	1.83	2.42	2.01	24.38
658	56.9	14.4	14.3	1.93	2.48	0.7	22.18
752	55.1	14.2	14.4	2.18	2.65	1.39	17.74
Rata – rata						2.53	28.97

Tabel 4.13 persentase kesalahan Daya hasil simulasi pada cuaca cerah

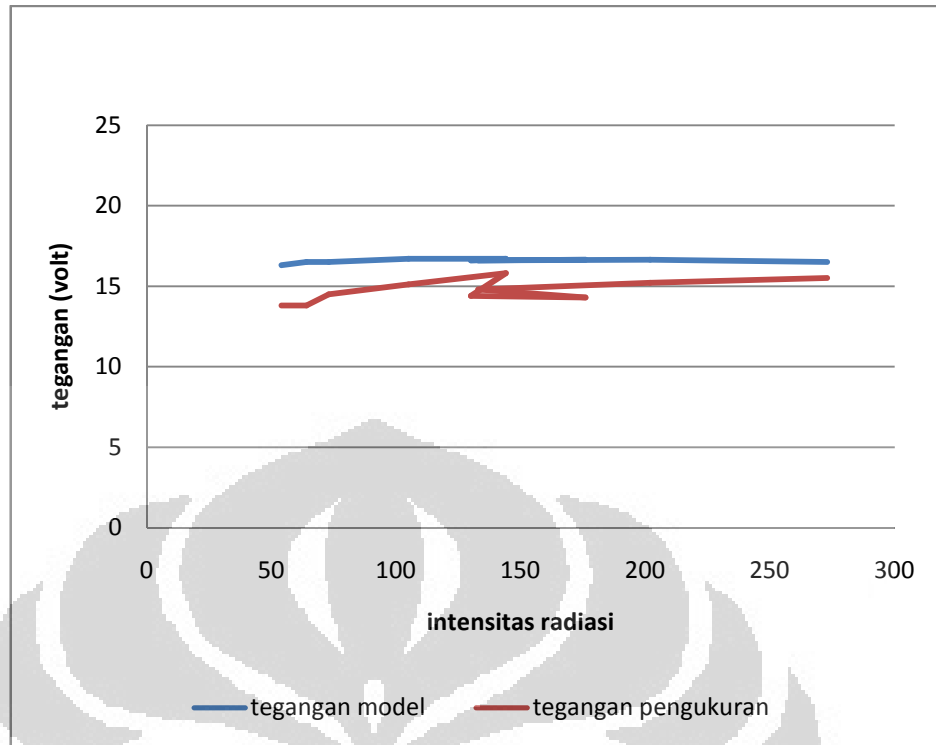
Intensitas Radiasi Matahari (W/m^2)	Temperatur kerja ($^{\circ}\text{C}$)	daya (watt)		persentase kesalahan daya
		model	Ukur	
476	52.1	21.44	32.67	34.36
523	50.8	22.65	34.44	34.24
589	52.9	25.58	36.47	29.86
623	53	26.72	36.06	25.9
658	56.9	27.79	35.46	21.63
752	55.1	30.96	38.16	18.88
Rata – rata				27.48

4.2.2.3. Grafik perbandingan hasil simulasi pemodelan dengan pengukuran

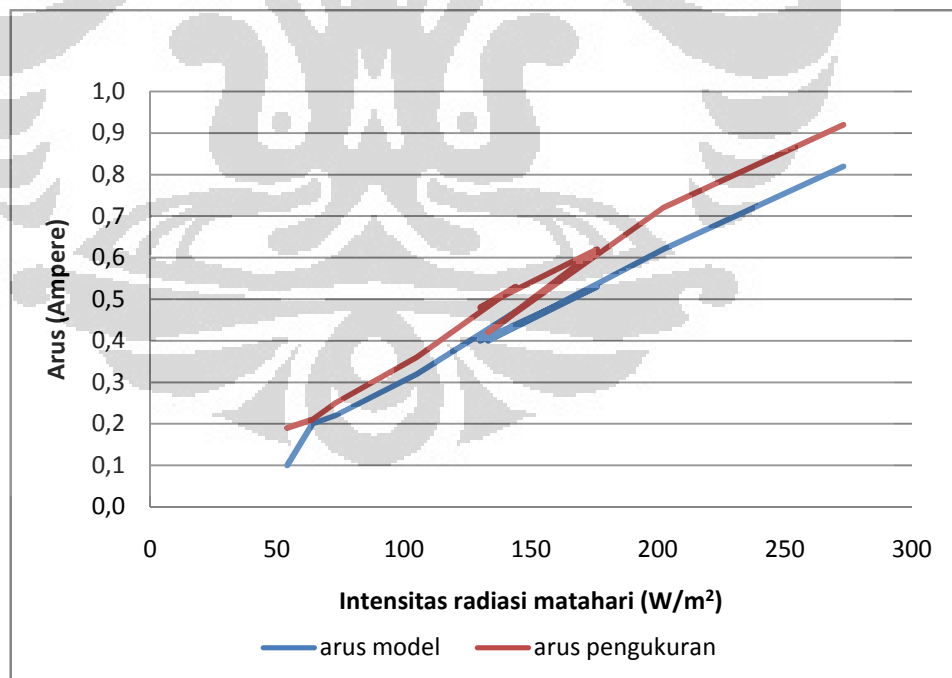
1. Cuaca mendung



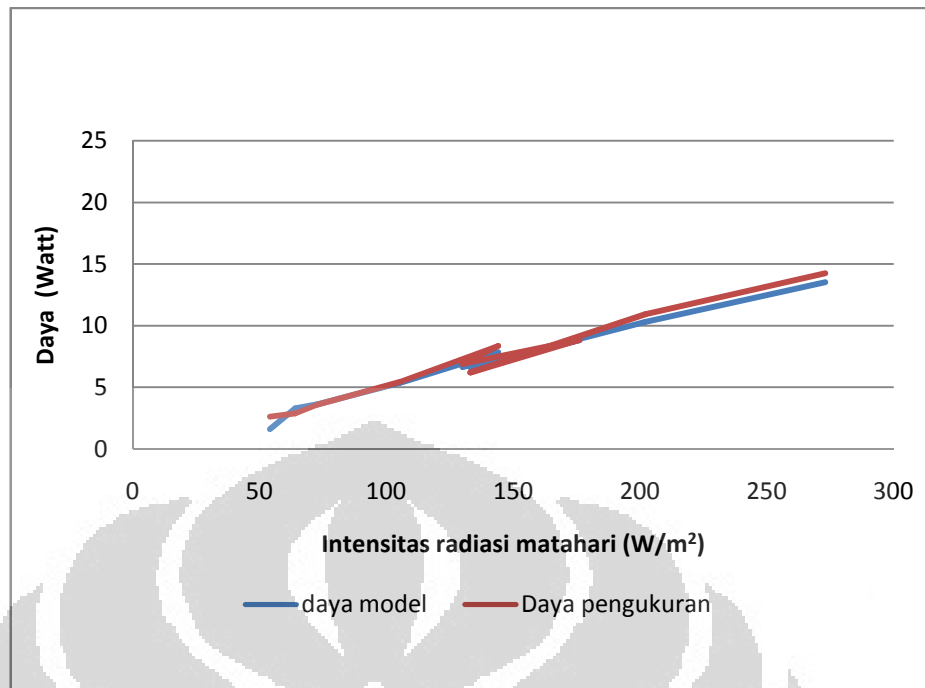
Gambar 4.7 Grafik Voc terhadap Intensitas Radiasi Matahari saat cuaca mendung



Gambar 4.8 Grafik Tegangan terhadap Intensitas Radiasi Matahari saat cuaca mendung

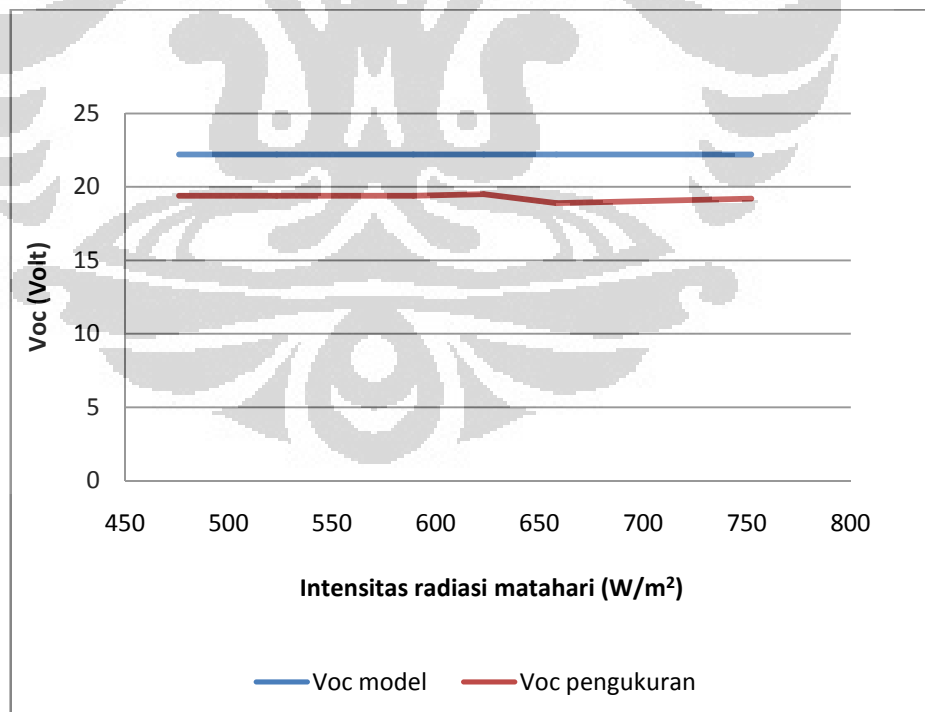


Gambar 4.9 Grafik Arus terhadap Intensitas Matahari saat cuaca mendung

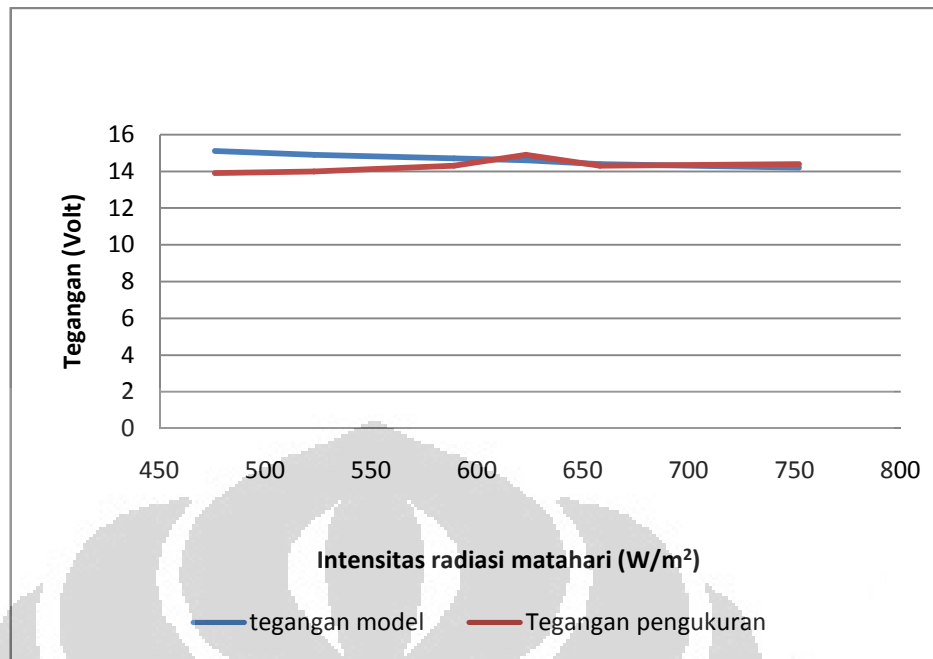


Gambar 4.10 Grafik Daya terhadap Intensitas Matahari saat cuaca mendung

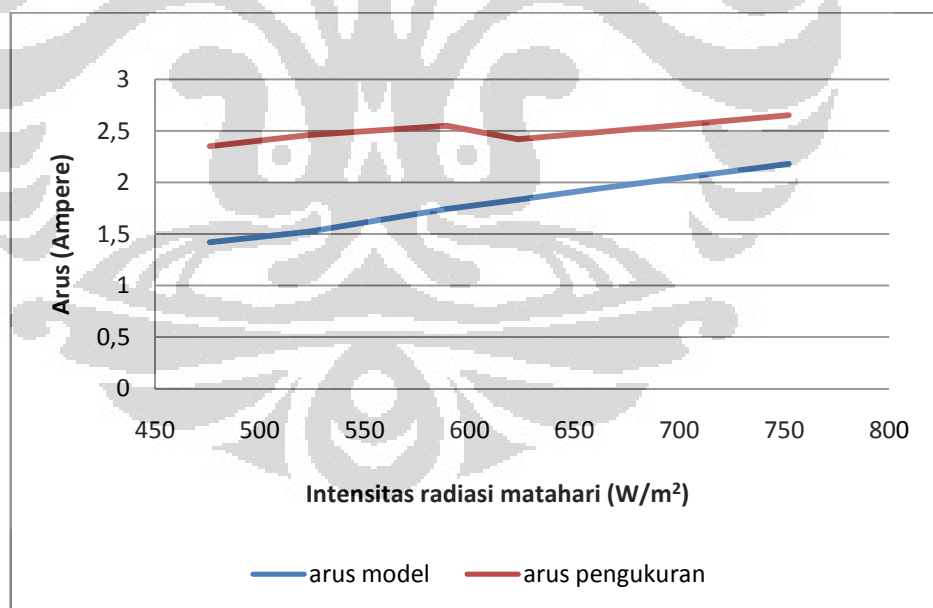
2. Cuaca terang



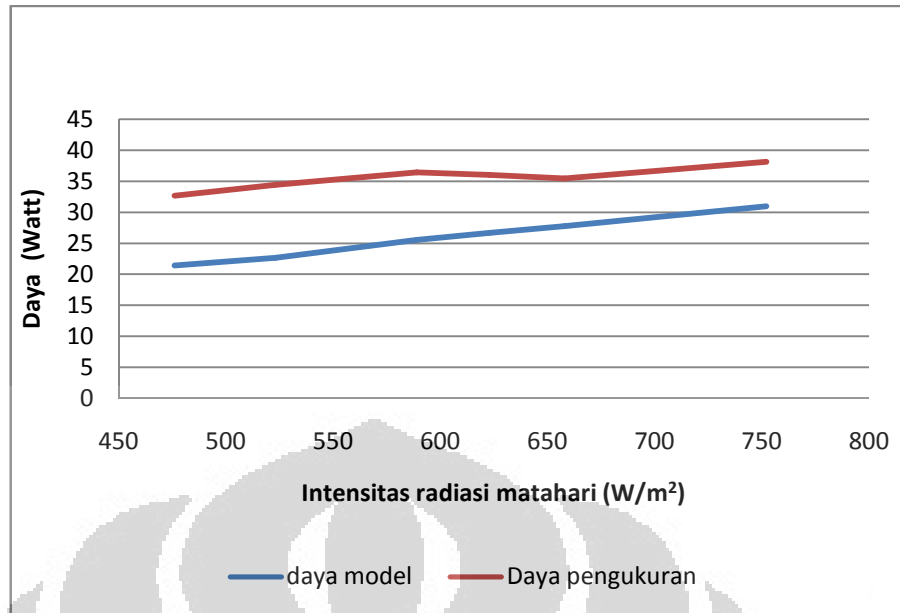
Gambar 4.11 Grafik Voc terhadap Intensitas Matahari saat cuaca cerah



Gambar 4.12 Grafik tegangan terhadap Intensitas Matahari saat cuaca cerah



Gambar 4.13 Grafik arus terhadap Intensitas Matahari saat cuaca cerah



Gambar 4.14 Grafik Daya terhadap Intensitas Matahari saat cuaca cerah

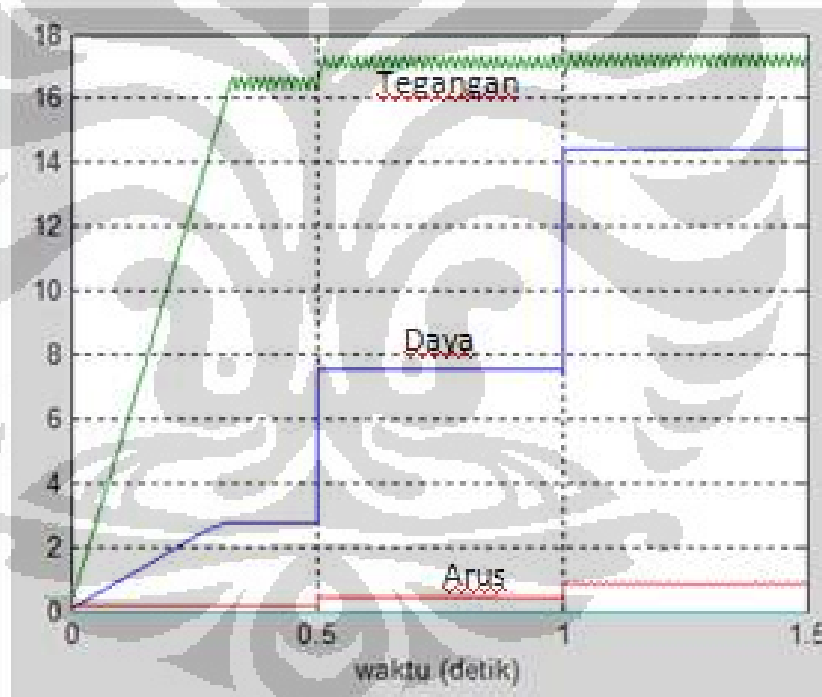
4.2.2.4. Analisis Perbandingan hasil simulasi pemodelan dengan pengukuran

Data – data yang dipakai dalam pemodelan modul surya di ambil dari jurnal – jurnal dan spesifikasi dari modul surya yang telah ada. Salah satunya dengan memakai nilai Voc sebesar 22.2 Volt. Namun dalam pengukuran terjadi perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Hasil pengukuran Voc dari modul surya dapat dilihat di tabel 4.3 dan 4.5. Dengan melihat grafik Voc, baik pada saat cuaca mendung atau cuaca cerah Voc hasil pengukuran memiliki nilai yang lebih kecil daripada Voc yang dipakai dalam pemodelan yang merupakan spesifikasi dari modul surya yang dimodelkan. Hal ini berpengaruh terhadap hasil simulasi baik itu pengaruh terhadap tegangan maupun arus.

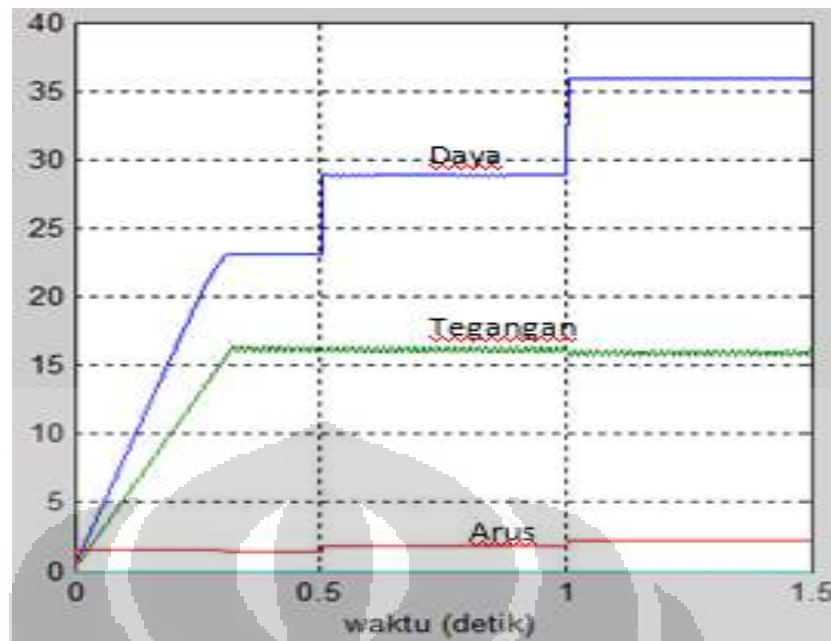
Hasil simulasi dari modul surya dengan masukan data dapat di lihat pada tabel 4.4 untuk cuaca mendung dan tabel 4.6 untuk cuaca cerah. Pada tabel ini terlihat bahwa tegangan dan arus hasil simulasi berbeda dengan hasil pengukuran. Pada grafik tegangan terhadap intensitas radiasi matahari, tegangan hasil simulasi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan hasil pengukuran. Namun, sebaliknya terjadi pada arus hasil simulasi yang memiliki nilai lebih kecil dibanding arus hasil

pengukuran. Hal ini dikarenakan pada data intensitas radiasi terjadi peningkatan sedangkan temperatur kerja mengalami peningkatan tapi tidak signifikan.

Berdasarkan teori yang ada bahwa peningkatan intensitas radiasi berpengaruh terhadap arus yang dihasilkan. Peningkatan intensitas radiasi ini menyebabkan arus yang dibangkitkan mengalami peningkatan. Sedangkan temperatur berpengaruh terhadap tegangan keluaran yang dihasilkan. Karena temperatur kerja dari modul surya tidak mengalami peningkatan yang signifikan menyebabkan tegangan keluarannya tinggi. Hasil simulasi yang ada ditunjukkan oleh gambar 4.15 dan 4.16 dibawah ini.



Gambar 4.15 Grafik keluaran modul surya dengan data radiasi 54 W/m^2 , 144 W/m^2 dan 273 W/m^2

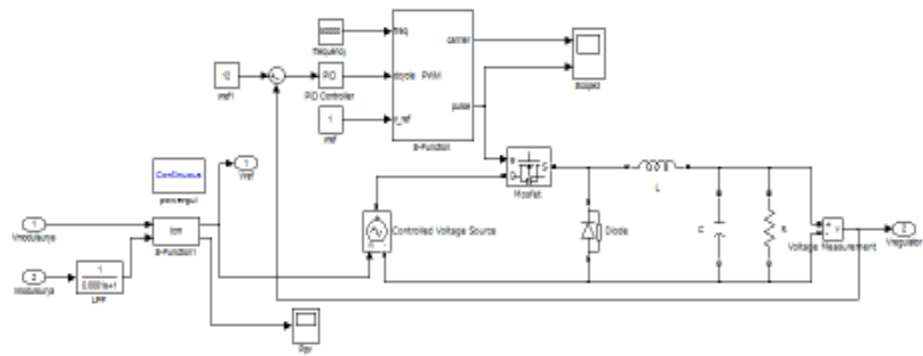


Gambar 4.16 Grafik keluaran modul surya dengan data radiasi 476 W/m^2 , 623 W/m^2 dan 752 W/m^2

4.3. Simulasi Modul Surya dengan Boost converter

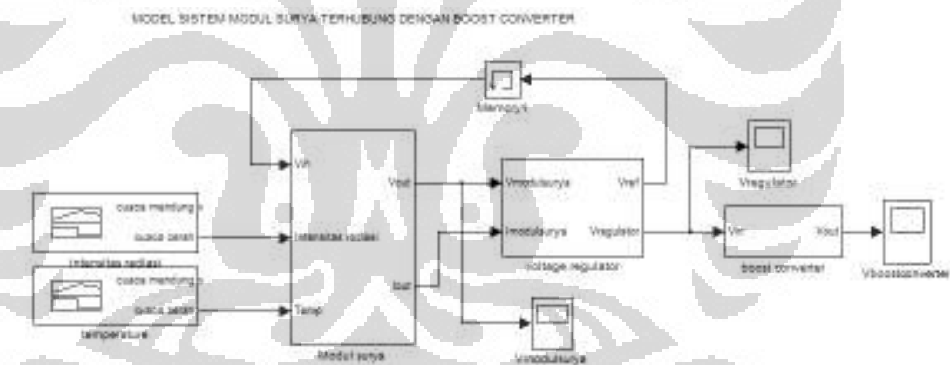
4.3.1. Hasil Simulasi

Simulasi modul surya dengan boost converter dibagi menjadi 2 yaitu simulasi pada saat cuaca mendung dan cuaca cerah. Namun, dalam simulasi ini ada tambahan blok yaitu voltage regulator. Voltage regulator ini berfungsi untuk mengubah tegangan dari modul surya menjadi 12 volt. Hal ini dilakukan karena boost converter yang dirancang adalah boost converter 12 volt ke 254 volt. Oleh karena itu masukan dari boost converter ini harus 12 volt agar boost converter dapat bekerja untuk menaikkan tegangan dari 12 volt ke 254 volt. Rangkaian voltage regulator ditunjukkan oleh gambar 4.17 dibawah ini.



Gambar 4.17 rangkaian voltage regulator

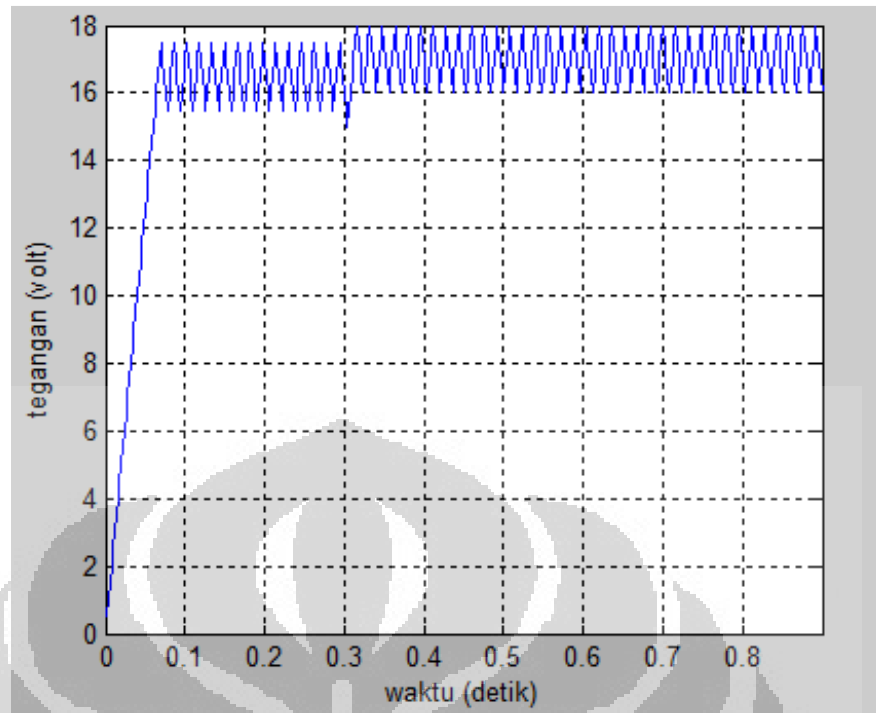
Grafik yang diperoleh dari simulasi ini adalah tegangan keluaran modul surya, tegangan dari voltage regulator dan tegangan dari keluaran boost converter serta perbandingan tegangan keluaran modul surya (masukan untuk boost converter) dengan tegangan keluaran boost converter. Blok untuk simulasi ini ditunjukkan oleh gambar 4.18.



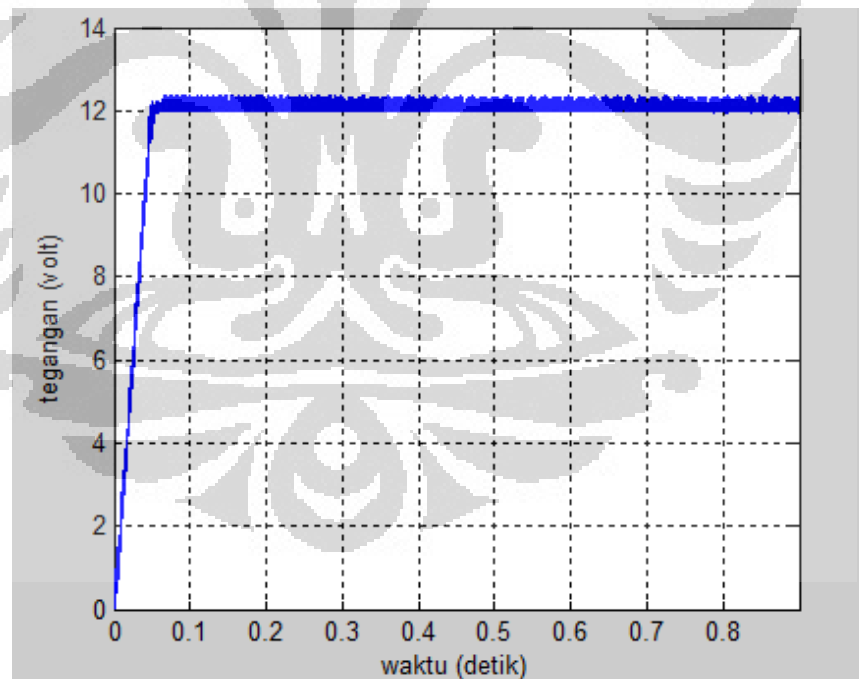
Gambar 4.18 Blok simulasi modul surya yang terhubung dengan boost converter melalui voltage regulator

1. Cuaca mendung

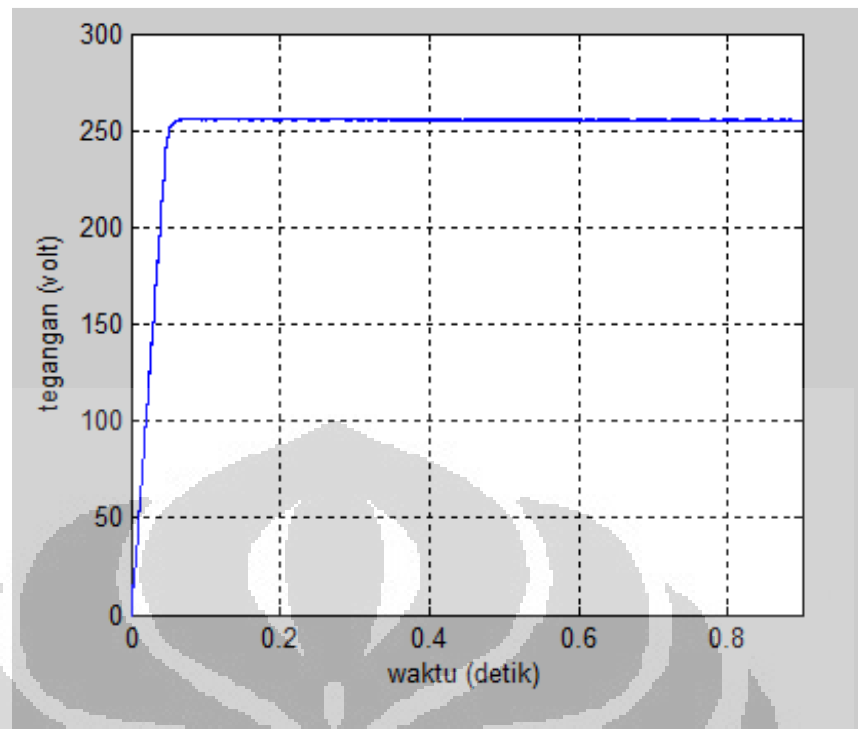
Data – data yang digunakan untuk simulasi adalah data pada intensitas radiasi matahari 54 W/m^2 , 144 W/m^2 dan 273 W/m^2 .



Gambar 4.19 grafik tegangan modul surya pada cuaca mendung



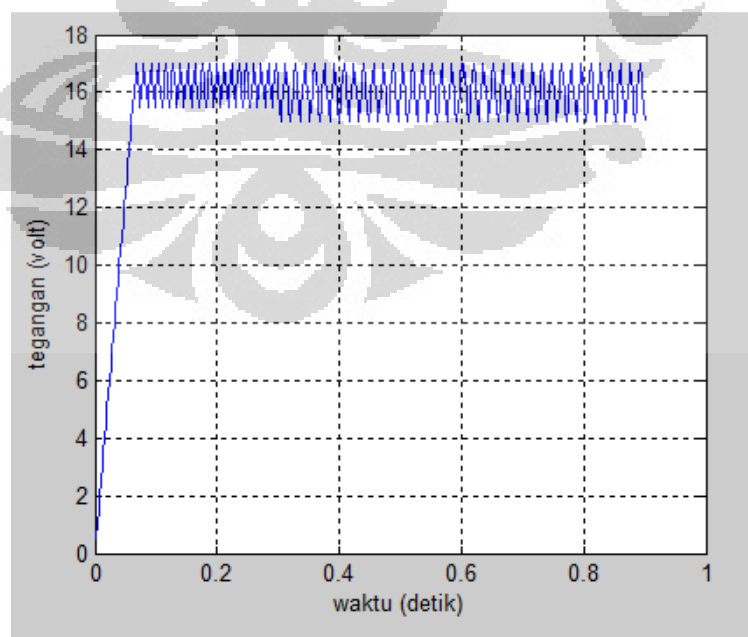
Gambar 4.20 grafik tegangan voltage regulator pada cuaca mendung



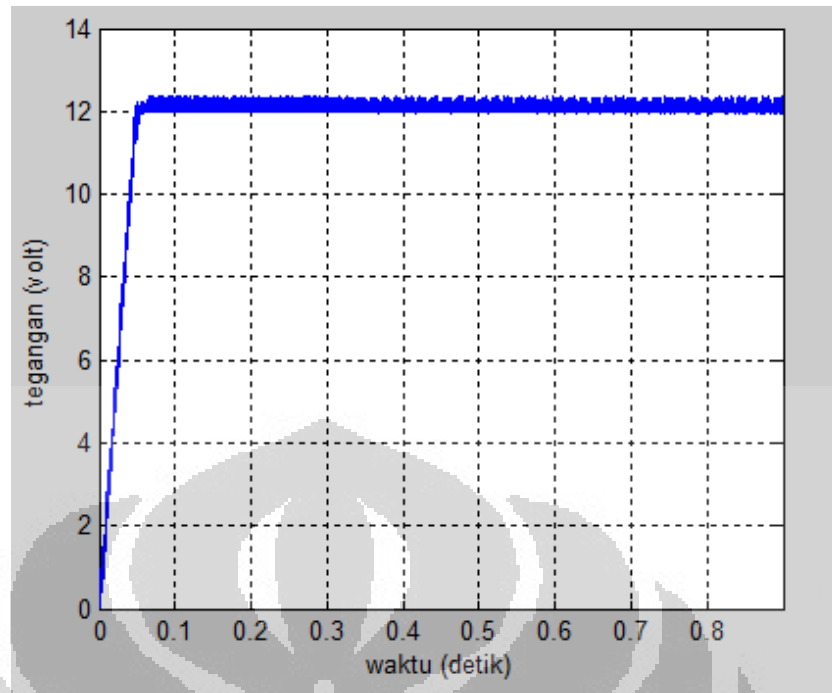
Gambar 4.21 grafik tegangan keluaran boost converter pada cuaca mendung

2. Cuaca cerah

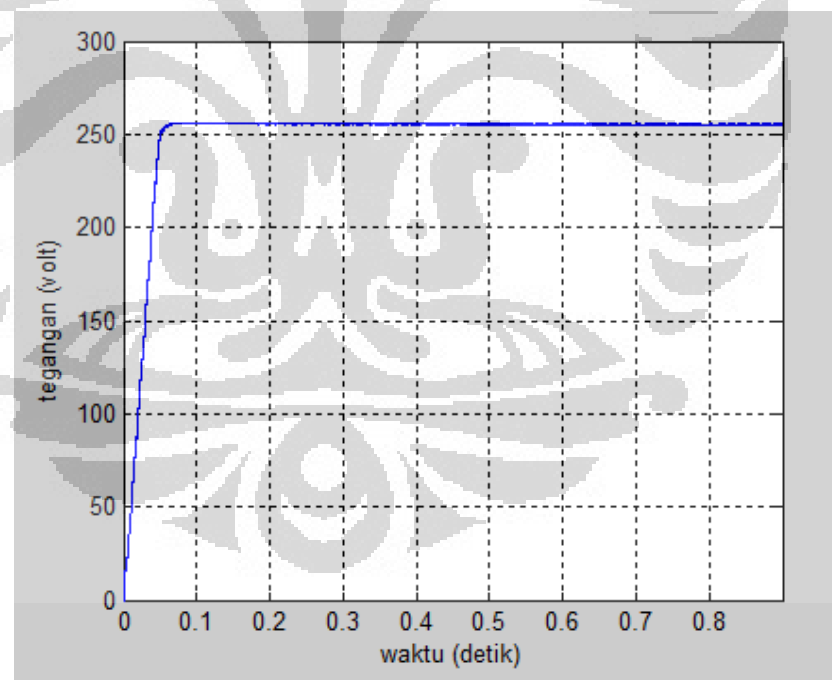
Data yang digunakan untuk simulasi ini adalah data saat intensitas radiasi matahari 476 W/m^2 , 623 W/m^2 dan 752 W/m^2 .



Gambar 4.22 grafik tegangan modul surya pada cuaca cerah



Gambar 4.23 grafik tegangan voltage regulator pada cuaca cerah



Gambar 4.24 grafik tegangan keluaran boost converter pada cuaca cerah

4.3.2. Analisis hasil simulasi

Dengan melihat grafik tegangan terhadap waktu di atas untuk cuaca mendung maupun cuaca cerah tegangan yang dihasilkan oleh modul surya lebih besar dari 12 volt. Sedangkan boost converter yang dimodelkan berfungsi dengan baik ketika tegangan masukan boost converter adalah 12 volt, sehingga perlu adanya voltage regulator yang mengubah nilai tegangan dari modul surya menjadi 12 volt.

Nilai intensitas radiasi matahari dan temperatur kerja dari modul tidak selalu tetap karena bergantung pada energi matahari yang diradiasikan. Perubahan intensitas radiasi matahari dan temperatur kerja akan mempengaruhi tegangan keluaran modul surya menjadi tidak kontinu. Selain itu karena tegangan yang dihasilkan modul surya masih terbilang kecil dibandingkan dengan yang dibutuhkan beban maka perlu adanya boost converter.

Dalam simulasi ini boost converter yang dimodelkan yaitu menaikkan tegangan dari 12 volt ke 254 volt. Dengan melihat grafik di atas, boost converter yang dimodelkan telah berjalan sebagaimana mestinya yaitu menaikkan tegangan 12 volt menjadi 254 volt.

BAB 5

KESIMPULAN

Dari simulasi dan pengukuran yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Tegangan yang dihasilkan dari simulasi modul surya memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan tegangan modul yang sebenarnya.
2. Arus yang dihasilkan dari simulasi modul surya memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan arus keluaran modul yang sebenarnya. Hal ini karena untuk daya yang sama, jika tegangan yang dihasilkan besar maka arusnya akan bernilai kecil,
3. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa model yang telah dibuat memiliki rata-rata persen kesalahan yang kecil sehingga model yang telah dibuat hampir sesuai dengan aslinya,
4. Kelebihan model dari modul surya yang dibuat adalah dengan menggunakan MPPT daya yang dihasilkan modul surya maksimal,
5. Kelemahan dari model dari modul surya yang telah dibuat terletak pada nilai Voc yang digunakan bernilai konstan yaitu 22.2 volt hal ini berdasarkan spesifikasi yang ada. Namun, pada pengukuran nilai Voc berubah – ubah dari 18.4 – 19.7 volt. Hal ini berpengaruh terhadap nilai tegangan dan arus keluaran modul surya yang menyebabkan persentase kesalahan tegangan dan arus modul surya besar, dan
6. Dengan adanya voltage regulator, boost converter memiliki tegangan keluaran yang konstan yaitu 254 volt meskipun tegangan keluaran dari modul surya yang merupakan masukan untuk boost converter berubah-ubah sebagai akibat pengaruh perubahan intensitas radiasi.

DAFTAR ACUAN

- [1] Gaffar, A.F.O. (2011, Agustus). *Design Parallel Feedforward Compensator (PFC) For Non Minimum Phase Plant Case Study: Artificial Neural Network (ANN) Based Output Voltage Control of Boost Converter*. Dielektrika, ISSN 2086-9487 vol. 2, No. 2: 133 - 141, July 4, 2011.
isjd.pdii.lipi.go.id/admin/jurnal/2211133141_2086-9487.pdf
- [2] Rahardjo, A. Herlina & Safruddin, H. (2008, November 18). *Optimalisasi Pemanfaatan Sel Surya Pada Bangunan Komersial Secara Terintegrasi Sebagai Bangunan Hemat Energi*. Paper presented at Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008 Universitas Lampung. 17-18 November 2008. 417-426. July 4, 2012.
<http://lemlit.unila.ac.id/file/arsip%202009/SATEK%202008/VERSI%20PDF/bidang%203/43.pdf>
- [3] Indrawati, D.A.H. (2010, June 22). *Optimalisasi Daya Pada Interkoneksi Photovoltaic (PV) Dan Jaringan Distribusi Menggunakan Maximum Power Point Tracker (Mppt) Metode Pengukuran Arus Hubung Singkat*. Paper presented at Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS. June 2010. 1-6. July 4, 2012.
<http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-12653-Paper.pdf>
- [4] Bhuvanewari, G. (2012, January 26). *Development of a Solar Cell Model in Matlab for PV Based Generation System*. Paper presented at Annual IEEE. India Conference, (INDICON), 2011. Hyderabad. 1-5. July 4, 2012.
<http://ieeexplore.ieee.org/ielx5/6132476/6139311/06139509.pdf?tp=&arnumber=6139509&isnumber=6139311>
- [5] Kakigano, H. (2010, November 01). *Distribution Voltage Control for DC Microgrid by Converters of Energy Storages Considering the Stored Energy*. Paper presented at IEEE. Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010. Atlanta, GA. 2851 – 2856. July 4, 2012.
<http://ieeexplore.ieee.org/ielx5/5606065/5617696/05618178.pdf?tp=&arnumber=5618178&isnumber=5617696>
- [6] Wijaya, I W.A. (2005). *Unjuk Kerja Pengubah Tegangan DC-DC Topologi Boost Dengan Nilai Induktansi Dan Kapasitansi Yang Dioptimasi Pada Keadaan Transien*. July 4, 2012. Universitas Udayana. Program Studi Teknik Elektro.
http://ejournal.unud.ac.id/abstrak/artawijaya%201_1.pdf

- [7] Ito, Y., Zhongqing, Y., & Akagi, H. (2005, May 02). *DC Micro-grid Based Distribution Power Generation System*. Paper presented at the 4th International. Power Electronics and Motion Control Conference, 2004. IPEMC 2004. Xi'an. 1740 - 1745 Vol.3. July 4, 2012.
- <http://ieeexplore.ieee.org/ielx5/9465/30041/01377011.pdf?tp=&arnumber=1377011&isnumber=30041>
- [8] Pandiarajan, N. & Muthu, R. (2011, March 07). *Mathematical Modeling of Photovoltaic Module with Simulink*. Paper presented at 1st International Conference on, Electrical Energy Systems (ICEES), 2011. Newport Beach, CA. 258 – 263. July 4, 2012.
- <http://ieeexplore.ieee.org/ielx5/5722104/5725293/05725339.pdf?tp=&arnumber=5725339&isnumber=5725293>
- [9] Ned mohan, et al. (2003). *Power Electronics: converter, application, and design*. John Wiley & Sons,
- [10] Biczel, P. (2007, September 04). *Power Electronic Converters in DC Microgrid*. Paper presented at CPE '07, Compatibility in Power Electronics, 2007. Gdansk. 1 – 6. July 4, 2012.
- <http://ieeexplore.ieee.org/ielx5/4296484/4296485/04296505.pdf?tp=&arnumber=4296505&isnumber=4296485>
- [11] Surojo, Ashari, M., & Purnomo, M.H. (2010, February 20). *Desain Dan Simulasi Maximum Power Point Tracking (Mppt) Sel Surya Menggunakan Fuzzy Logic Control Untuk Kontrol Boost converter*. Paper presented at 7th basic science. Malang. 63 – 69. July 4, 2012.
- <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Master-13140-Paper.pdf>
- [12] Sutedjo, Efendi, Z., & Mursyda, D. (2011, January 06). *Rancang Bangun Modul DC – DC Converter Dengan Pengendali PI*. July 4, 2012. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-ITS. Teknik Elektro Industri.
- <http://www.eepis-its.edu/uploadta/downloadmk.php?id=1165>
- [13] Wayan Wicak Ananduta. (2011). *Simulasi Dan Analisis Sistem Maximum Power Point Tracker Berbasis Rangkaian Boost Converter*. Tugas akhir
- [14] Xiaofeng Sun, Zhizhen Lian, Baocheng Wang & Xin Li. (2009, July 07). *A Hybrid Renewable DC Microgrid Voltage Control*. Paper presented at IEEE 6th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2009. IPEMC'09. Wuhan. 725 – 729. July 4, 2012.
- <http://ieeexplore.ieee.org/ielx5/5089256/5157395/05157480.pdf?tp=&arnumber=5157480&isnumber=5157395>

- [15] Xu She, Lukic, S., & Huang, A.Q. (2010, December 23). *DC zonal micro-grid architecture and control*. Paper presented at 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society IECON 2010. Glendale, AZ. 2988 – 2993. July 4, 2012.

<http://ieeexplore.ieee.org/ielx5/5661635/5674827/05674935.pdf?tp=&arnumber=5674935&isnumber=5674827>

