

ANALISIS RIAK ARUS KELUARAN INVERTER 3 FASA



OLEH:

MUHAMMAD SUKRI

105 82 1141 13

ABD MUKHLIS ZAIFUL

105 82 1144 13

**PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK
JURUSAN ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

2017



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISIS RIAK ARUS KELUARAN INVERTER 3 FASA.**

Nama : 1. Muhammad Sukri
2. Abd Mukhlis Zaiful

Stambuk : 1. 10582 1141 13
2. 10582 1144 13

Makassar, 18 November 2017

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

Pembimbing II

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T

Mengetahui,

Ketua Jurusan Elektro



Dr. Umar Katu, S.T., M.T.

NBM : 990 410



FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ PENGESAHAN

Skripsi atas nama Muhammad Sukri dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1141 13 dan Abd Mukhlis Zaiful dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1144 13, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 005/SK-Y/20201/091004/2017, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Kamis tanggal 04 November 2017

Panitia Ujian :

Makassar, 29 Shafar 1439 H
18 November 2017 M

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. -Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME.

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

b. Sekertaris : Anugrah, S.T., M.M

3. Anggota : 1. Ir. Abd Hafid, M.T

2. Dr. Umar Katu, S.T., M.T

3. Adriani, S.T., M.T

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

Rizal Ahdiyat Duyo, S.T., M.T

Dekan



Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T.

NBM / 855 500

ANALISIS RIAK ARUS KELUARAN INVERTER 3 FASA

Muhammad Sukri¹, Abd Mukhlis Zaiful²

¹Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Email : Muhsukri04@gmail.com

²Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Email : abd.mukhlis21@yahoo.com

ABSTRAK

Tugas akhir ini berisi tentang perancangan sistem pengisian baterai dari modul fotovoltaik dengan konverter arus searah-ke-searah yang bekerja pada daerah daya maksimum. Modul fotovoltaik mampu mengonversi energi sinar matahari menjadi energi listrik arus searah. Diperlukan maximum power point tracker (MPPT) agar modul fotovoltaik beroperasi pada daerah daya maksimum (maximum power point/MPP). Terdapat beberapa algoritma MPPT yang telah dikembangkan. Dalam tugas akhir ini, algoritma yang dipakai adalah perturb and observe (P&O). Diperlukan baterai agar energi listrik yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik dapat disimpan dan digunakan oleh beban. Konverter arus searah-ke-searah berguna untuk mengisi baterai dan mengoperasikan modul fotovoltaik di sekitar MPP. Rangkaian kendali yang mengimplementasikan algoritma MPPT menggunakan mikrokontroler ATmega 8535. Fitur mikrokontroler yang digunakan adalah pulse width modulation (PWM) dan analog-to-digital converter (ADC). PWM berguna untuk menghasilkan sinyal penyaklaran bagi MOSFET sedangkan ADC berguna untuk membaca nilai tegangan dan arus modul fotovoltaik. Untuk mempermudah pengujian dan mengetahui keakuratan MPPT, modul fotovoltaik digantikan oleh simulator fotovoltaik. Hasil perancangan menunjukkan pada saat MPPT bekerja, simulator fotovoltaik beroperasi di sekitar MPP dengan keakuratan 90 sampai 100 %.

Kata kunci: modul fotovoltaik, maximum power point tracker, mikrokontroler

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena Rahmat dan HidayahNya sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka penyelesaian program studi pada Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir adalah :
“Riak Arus Keluaran Inverter Tiga Fasa untuk hasil Analitik”

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulis maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segalan ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Hamzah Al Imran, ST, MT. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Bapak Umar Katu, ST, MT., sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

3. Bapak. DR. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng, selaku Pembimbing I dan Bapak Rizal A Duyo, ST, MT, selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membimbing kami.
4. Bapak dan ibu dosen serta staf pegawai pada fakultas teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan terutam dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
6. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa fakultas teknik terkhusus angkatan 2013 yang dengan keakraban dan persaudaraan banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan skripsi yang sederhana ini dapat bernabfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.

Makassar, 10 Oktober 2017

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL.....	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan	3
D. Batasan Masalah	4
E. Metode Penelitian.....	4
F. Sistematika Penulisan	4
BAB II Tinjauan Pustaka	6
A. Modul Fotovoltaik	6
1. Sel Fotovoltaik	6
2. Karakteristik Modul Fotovoltaik	6
B. Metode Maximum Power Point Tracker (MPPT)	10
C. Konverter Arus Searah-Arus Searah Penurun Tegangan	16
D. Batere	14
1. Ampere-Hour	14
2. Batere Untuk Aplikasi Modul Fotovoltaik	15
3. Reaksi Kimia Batere	15

4. Tahap Pengisian Batere	15
5. Tingkat Pengisian Batere (State of Charge).....	17
BAB III METODOLIGI PENELITIAN	19
A. Waktu Dan Tempat	19
1. Waktu	19
2. Tempat.....	19
B. Metode Penelitian.....	19
C. Gambar dan Sistem	21
D. Simulator Fotovoltaik	22
E. Converter Arus Searah-Arus Searah Penurun Tegangan	25
1. Induktor	26
2. Kapasitor Keluaran.....	26
3. Kapasitor Masukan.....	27
4. Dioda	28
5. Saklar.....	28
6. Rangkaian Pemicu Saklar	29
F. Mikrokontroler	30
1. Pulse Width Modulation (PWM)	32
2. Analog Digital Converter (ADC).....	33
G. Bahasa Pemrograman untuk Mengimplementasikan MPPT	34
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	37
A. Pengujian Simulator Fotovoltaik	37
B. Pengujian Konverter Arus Searah Penurun Tegangan	41

1. Pengujian Sinyal Penyaklaran Konverter	41
2. Pengujian Arus dan Tegangan Masukan dan Keluaran	43
3. Pengujian Duty Cycle Terhadap Efisiensi Konverter	45
C. Pengujian Sistem Keseluruhan.....	46
1. Pengujian dengan Multimeter	46
2. Pengujian dengan Osiloskop	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	50
A. Kesimpulan	50
B. Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	xi
LAMPIRAN.....	xii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik biaya energi minyak, gas, dan batubara	2
Gambar 1 .2 Kapasitas produksi dan biaya energi sinar matahari melalui modul 2 Fotovoltaik.....	2
Gambar 2.1 Rangkaian ekivalen modul fotovoltaik	7
Gambar 2.2 Karakteristik I-V modul fotovoltaik pada (a) temperatur yang berubah dan (b) intensitas matahari yang berubah	9
Gambar 2.3 Karakteristik P-V modul fotovoltaik pada (a) temperatur yang berubah dan (b) intensitas matahari yang berubah.....	9
Gambar 2.4 Skema rangkaian konverter arus searah-arus searah penurun tegangan	11
Gambar 2. 5 Tegangan dan arus induktor pada mode konduksi kontmyu, dan skema konverter arus searah-anis searah penurun tegangan pada saat saklar on.....	13
Gambar 2.6 Riak tegangan keluaran konverter arus searah-arus searah penurun tegangan	14
Gambar 2.7 Tahap pengisian batere.....	16
Gambar 3.1 Skema sistem.....	21
Gambar 3.2 Simulator fotovoltaik	23
Gambar 3.3 Konverter arus searah-arus searah penurun tegangan	25
Gambar 3.4 Rangkaian pemicu saklar	29
Gambar 3.5 Diagram blok arsitektur ATmega 8535.....	31
Gambar 3.6 Skema mikrokontroler.....	31

Gambar 3.7 Diagram waktu models/ PWM.....	33
Gambar 4.1 Pengujian simulator fotovoltaik	37
Gambar 4.2 Kurva I-V simulator fotovoltaik.....	39
Gambar 4.3 Kurva P-V simualtor fotovoltaik.....	40
Gambar 4.4 Pengujian konverter arus searah-arus searah penurun tegangan ..	41
Gambar 4.5 Sinyal penyaklaran VGS pada duty cycle 0,25	41
Gambar 4.6 Sinyal penyaklaran VGS pada duty cycle 0,5	42
Gambar 4.7 Sinyal penyaklaran Vcs pada duty cycle 0,75.....	42
Gambar 4.8 Tegangan masukan converter.....	43
Gambar 4.9 Arus masukan converter.....	43
Gambar 4.10 Tegangan keluaran converter	44
Gambar 4.11 Arus keluaran converter	44
Gambar 4.12 Perubahan tegangan simulator fotovoltaik yang dimulai dari daerah sumber arus	48
Gambar 4.13 Perubahan arus simulator fotovoltaik yang dimulai dari daerah sumber arus	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tingkat pengisian batere	17
Tabel 3.1 Penjelasan dan implementasi bahasa C dari diagram alir MPPT	34
Tabel 3.2 Implementasi bahasa C dan diagram alir MPPT pada bagian percabangan secara lengkap.....	36
Tabel 4.1 Karakteristik simulator fotovoltaiik untuk 0,2 Ω	37
Tabel 4.2 Karakteristik simulator fotovoltaiik untuk 0,3 Ω	38
Tabel 4.3 Karakteristik simulator fotovoltaiik untuk 0,47 Ω	38
Tabel 4.4 Karakteristik simulator fotovoltaiik untuk 0,56 Ω	39
Tabel 4.5 Duty Cycle terhadap efisiensi converter	45
Tabel 4.6 Hasil pengujian MPPT yang dimulai dari daerah sumber tegangan	46
Tabel 4.7 Hasil pengujian MPPT yang dimulai dari daerah sumber arus	47

DAFTAR PUSTAKA

- Bose B. K., Szezesny P. M., and Steigerwald R. L. Microcontroller Control of Residential Photovoltaic Power Conditioning System. IEEE Trans. Ind. Applicat, vol. IA-21, pp. 1182-1191. 1985
- Hussein K.K., Muta I., Hoshino T., and Osakada M. Maximum Photovoltaic Power Tracking: An Algorithm For Rapidly Changing Atmospheric Conditions. IEE Proc,-Gener. Transm. Distrib., Vol. 142, No. 1, January 1995, pp 59-64
- Koutroulis £., Kalaitzakis K., and Voulgaris N. G Development of a Microcontroller-Based, Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System. IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 16No. 1, January 2001, pp46-54
- Messenger Roger A., Ventre Jerry. Photovoltaic Systems Engineering, 2; edition. CRC Press. 2005
- Mohan, N., etal.(1995). "Power Electronics — Converter, Applications, and Design ", 2n Edition. John Wiley&Sons Inc. Canada
- Rashid, Muhammad H. Power Electronics Circuits, Devices, And Applications
Second Edition, Prentice Hall International, Inc., U.S.A., 1995

LAMPIRAN

1. Modul Fotovoltaik



2. Inverter 3 fasa



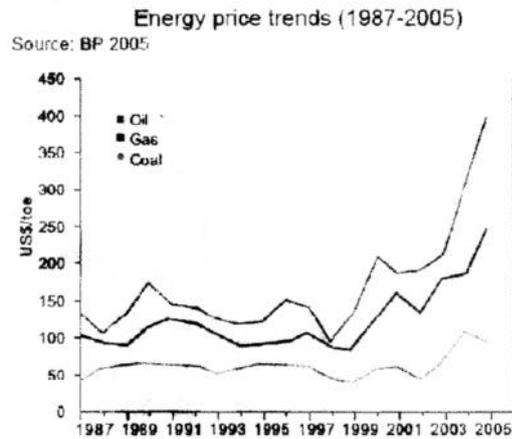
BAB I

PENDAHULUAN

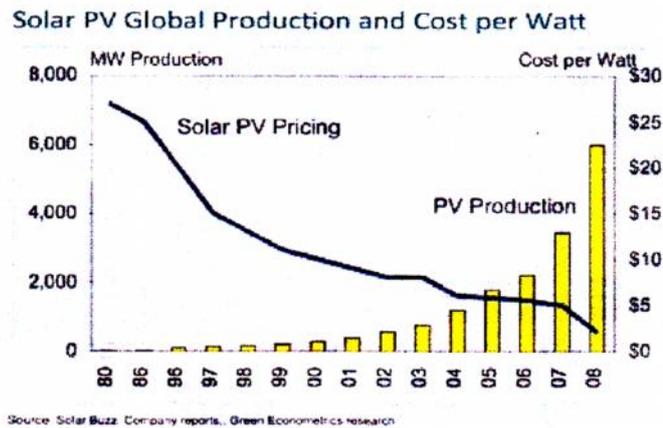
A. Latar Belakang

Krisis energi dan isu lingkungan yang marak akhir-akhir ini mendorong pemanfaatan energi terbarukan dan ramah lingkungan. Salah satu jenis energi yang termasuk energi terbarukan dan ramah lingkungan adalah energi sinar matahari. Indonesia sebagai negara yang terletak di sepanjang garis katulistiwa mempunyai potensi yang sangat besar dalam pemanfaatan energi sinar matahari. Potensi tersebut adalah sinar matahari yang besar dan merata sepanjang tahun. Energi sinar matahari yang ada di udara bebas adalah sekitar $4.8 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$.

Pemanfaatan energi sinar matahari yang ada saat ini adalah dengan mengubahnya menjadi energi listrik melalui modul fotovoltaik. Saat ini biaya konversi energi sinar matahari menjadi energi listrik masih cukup tinggi. Namun bila dibandingkan dengan kecenderungan biaya energi minyak, gas, dan batubara yang semakin meningkat, biaya pemanfaatan energi sinar matahari justru semakin menurun. Perbandingan ini bisa dilihat dengan jelas dari gambar 1.1 dan gambar 1.2. Dengan mempertimbangkan penurunan biaya energi sinar matahari dan kondisi geografis Indonesia, maka dapat disimpulkan peluang pemanfaatan dan pengembangan modul fotovoltaik sangat besar.



Gambar 1.1 Grafik biaya energi minyak, gas, dan batubara



Gambar 1.2 Kapasitas produksi dan biaya energi sinar matahari melalui modul fotovoltaik

Modul fotovoltaik hanya bisa menghasilkan energi listrik pada saat ada sinar matahari dan menghasilkan listrik arus searah. Oleh karena itu diperlukan adanya batere sebagai media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan modul fotovoltaik. Bila modul fotovoltaik langsung dihubungkan dengan batere, maka energi yang bisa disimpan oleh batere tidak maksimal. Hal ini disebabkan tegangan operasi modul diatur tetap sebesar tegangan batere, bukan pada tegangan MPP. MPP (maximum power point), adalah sebuah tempat kedudukan operasi

dari modul fotovoltaik yang menghasilkan daya maksimum. Sebagai fungsi tingkat intensitas matahari, MPP dipengaruhi juga oleh temperatur.

Agar modul fotovoltaik mampu beroperasi di sekitar MPP, diperlukan konverter arus searah dan pengendali penyaklaran konverter, yang disebut maximum power point tracker (MPPT). Konverter arus searah digunakan untuk mengubah tegangan modal fotovoltaik menjadi tegangan baterai. Sementara pengendalinya digunakan untuk mengatur penyaklaran konverter arus searah agar tegangan modul fotovoltaik sama dengan tegangan MPP yang berubah-ubah tergantung intensitas sinar matahari dan temperatur. Dalam implementasinya, pengendali berupa mikrokontroler.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah adalah :

1. Bagaimana hasil analisis riak arus dan tegangan masukan dan keluaran ?
2. Bagaimana karakteristik modul fotovoltaik ?
3. Bagaimana hasil perancangan modul fotovoltaik ?
4. Bagaimana efisiensi converter arus searah ?

C. Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan tugas akhir ini adalah :

1. Mengamati arus dan tegangan masukan konverter arus searah
2. Mengamati arus dan tegangan keluaran konverter arus searah
3. Mengetahui hasil pengujian simulator fotovoltaik
4. Menganalisa riak arus dan tegangan masukan

5. Menganalisa riak arus dan tegangan keluaran

D. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini yaitu membahas mengenai cara kerja dan analisis hasil pengujian modul fotovoltaik.

E. Metode Penelitian

1. Studi literatur
2. Pengujian
3. Analisis

F. Sistematika Penulisan

Bab 1 Pendahuluan

Menjabarkan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, metodologi, dan sistematika penulisan secara singkat.

Bab 2 Dasar Teori

Menjelaskan tentang dasar teori yang berkaitan dengan tugas akhir ini, yaitu modul fotovoltaik, konverter arus searah penurun tegangan, algoritma MPPT, dan batere.

Bab 3 Desain Sistem

Menjelaskan tahap desain simulator fotovoltaik, mikrokontroler, konverter arus searah penurun tegangan, rangkaian deteksi, dan simulator batere.

Bab 4 Pengujian dan Analisis

Melakukan pengujian simulator fotovoltaik, konverter arus searah penurun tegangan, dan sistem keseluruhan. Selanjutnya menganalisa kemampuan sistem untuk beroperasi di sekitar MPP.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dan saran yang diajukan oleh penulis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Modul Fotovoltaik

Modul fotovoltaik mampu mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Modul fotovoltaik terdiri dari banyak sel fotovoltaik yang terhubung seri dan paralel agar menghasilkan tegangan dan arus yang diinginkan.

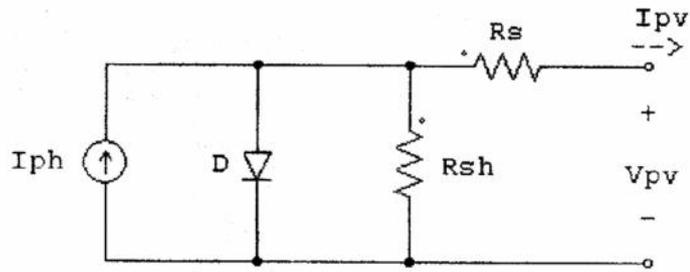
1. Sel Fotovoltaik

Kebanyakan sel fotovoltaik terbuat dari silikon. Silikon adalah material semikonduktor. Semikonduktor berperilaku sebagai isolator pada suhu 0 K dan sebagai konduktor saat suhu meningkat. Silikon memiliki 14 elektron dalam tiga kulit. Dua kulit penama yang paling dekat dengan pusat atom sudah terisi penuh dengan sepuluh elektron. Kulit terluar hanya terisi setengah, yaitu empat buah elektron. Atom silikon selalu mencari cara agar kulit terluarnya terisi penuh dengan delapan elektron. Caranya adalah membagikan elektronnya dengan empat atom silikon di dekatnya. Dengan demikian setiap atom berikatan dengan atom di dekatnya, Hal ini membentuk struktur kristal.

2. Karakteristik Modul Fotovoltaik

Modul fotovoltaik terdiri dari banyak sel fotovoltaik. Sel-sel disusun secara seri untuk meningkatkan tegangan keluaran dan secara paralel untuk meningkatkan arus keluaran. Tujuan dari penyusunan banyak sel menjadi

modul adalah agar arus dan tegangan keluaran cukup besar sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 2.1 Rangkaian ekivalen modul fotovoltaik

Modul fotovoltaik memiliki rangkaian ekivalen yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Sumber arus I_{ph} merupakan arus yang dibangkitkan oleh modul fotovoltaik. Besarnya sumber arus I_{ph} sebanding dengan intensitas sinar matahari. Dioda merepresentasikan p-n junction. Modul fotovoltaik memiliki resistansi seri R_s dan resistansi paralel R_{sh} . Persamaan karakteristik untuk modul fotovoltaik secara lengkap diberikan oleh persamaan berikut ini :

$$I = I_{ph} - I_{os} \left\{ \exp \left[\frac{q}{nkT} (+IR_s) \right] - 1 \right\} \frac{V + IR_s}{R_{SH}} \quad (2.1)$$

Sedangkan

$$I_{os} = I_{or} \left[\frac{T}{T_r} \right]^3 \exp \left[\frac{qE_{G0}}{Bk} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2.2)$$

$$I_{ph} = [I_{SCR} + K_1(T-25)] \frac{\lambda}{100} \quad (2.3)$$

Keterangan :

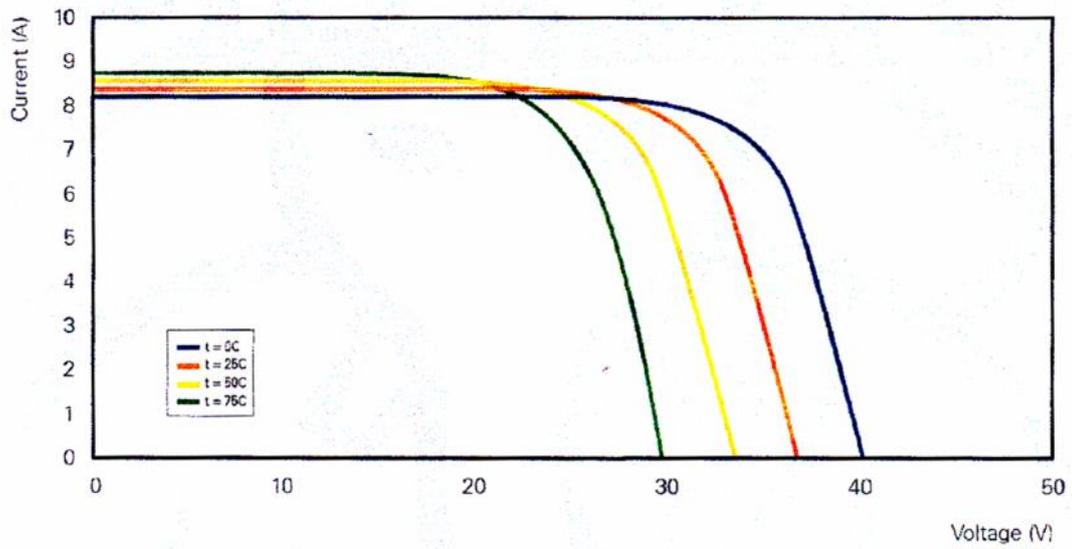
V : Tegangan keluaran modul fotovoitaik

I : Arus keluaran modul fotovoltaik

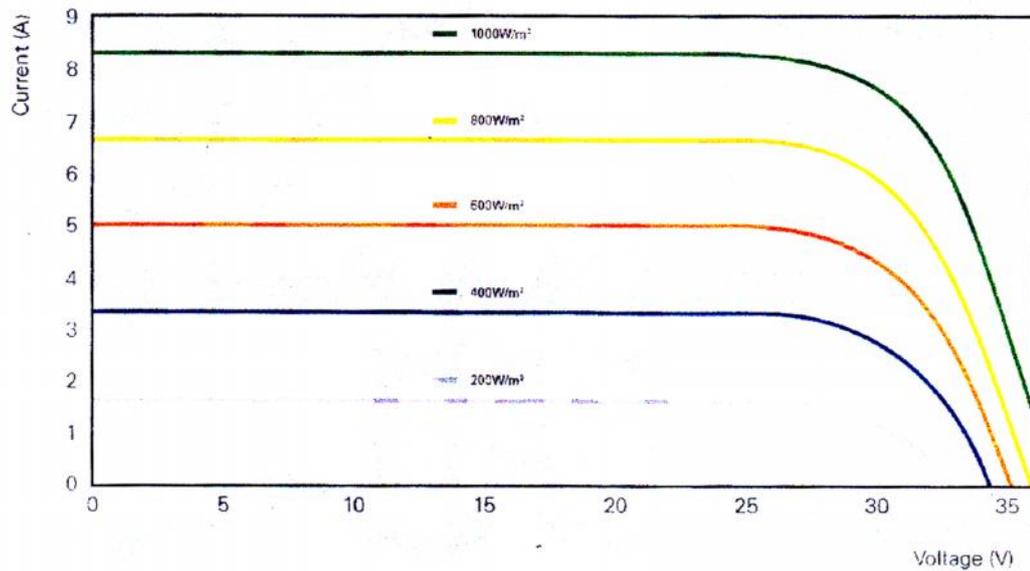
I_{OS} : Arus saturasi reverse modul fotovoltaik

- I_{ph} : Arus yang dibangkitkan
- I_{SCR} : Arus hubung singkat pada $25^{\circ}C$ dan $1000W/m^2$
- T : Temperatur fotovoltaik dalam $^{\circ}C$
- T_r : Temperatur referensi C ($T_r = 301,18K$, konversikan ke $^{\circ}C$)
- k : Konstanta Boltzman = $1,38 \times 10^{-23}$
- q : Muatan elektron
- k_I : Koefisien temperatur arus hubung singkat pada I_{SCR} .
- λ : Intensitas sinar matahari (W/m^2)
- E_{GO} : Band gap untuk silikon
- $B=A=L92$: Faktor yang bergantung pada bahan fotovoltaik
- R_{sh} : Resistansi shunt
- R_s : Resistansi seri

Modul fotovoltaik bekerja pada dua daerah kerja yaitu pada daerah sumber tegangan dan sumber arus. Daerah sumber arus berada pada kurva I-V dan memiliki impedansi yang tinggi. Sedangkan daerah sumber tegangan berada pada kanan kurva I-V dan memiliki impedansi yang rendah, Karakteristik I-V modul fotovoltaik pada perubahan temperatur ditunjukkan pada gambar 2.2. Sedangkan pengaruh perubahan intensitas matahari terhadap karakteristik I-V dari modul fotovoltaik ditunjukkan pada gambar 2.3. Sebagai contoh karakteristik modul fotovoltaik ditunjukkan pada gambar 2.2 dan 2.3 yaitu modul BP 3230T yang diproduksi oleh BP Solar.



Gambar 2.2 Karakteristik I-V modul fotovoltaik BP 3230T pada temperatur yang berubah.



Gambar 2.3 Karakteristik I-V modul fotovoltaik BP 3230T pada intensitas matahari yang berubah.

B. Metode Maximum Power Point Tracker (MPPT)

Modul fotovoltaik mempunyai sebuah tempat kedudukan operasi yang menghasilkan daya maksimum yang disebut maximum power point (MPP). Bila modul fotovoltaik langsung dihubungkan dengan beban maka daerah operasi modul fotovoltaik mengikuti resistansi beban atau apabila dihubungkan dengan baterai maka mengikuti tegangan baterai. Kondisi ini menyebabkan modul fotovoltaik tidak menghasilkan daya maksimal. Maximum power point tracker (MPPT) adalah suatu cara agar modul fotovoltaik dapat beroperasi di sekitar MPP.

Pada tugas akhir ini, algoritma MPPT yang dipilih adalah perturb and observation (P&O). Pemilihan algoritma ini didasarkan pada kemampuan untuk mencapai MPP yang cukup baik dan mampu mempertahankan operasi pada MPP dalam kondisi cuaca yang berubah-ubah. Algoritma ini lebih sederhana dibandingkan dengan algoritma incremental conductance. Algoritma incremental conductance membutuhkan deteksi arus yang sangat baik. Sedangkan untuk algoritma P&O, deteksi arus yang kurang baik masih mampu mendukung kinerja sistem. Untuk algoritma tegangan konstan, daerah operasi yang diatur pada tegangan tertentu menyebabkan modul fotovoltaik tidak selalu bekerja di sekitar MPP. Metode tegangan titik daya maksimum membutuhkan pengukuran tegangan pada kondisi hubung terbuka secara periodik yang menyebabkan modul tidak bisa beroperasi di sekitar MPP pada saat pengukuran tegangan hubung terbuka.

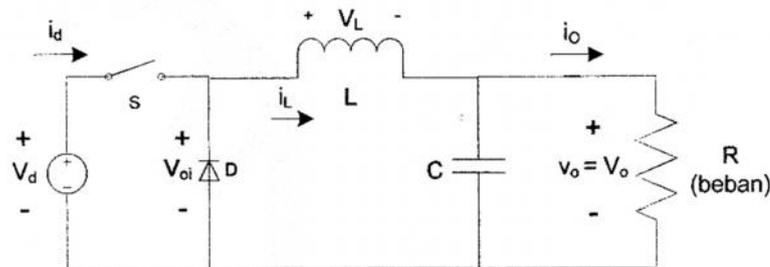
C. Konverter Arus Searah Penurun Tegangan

Konverter ini berfungsi menurunkan tegangan arus searah. Terdapat dua mode dari konverter yaitu mode kontinu dan diskontinu. Mode kontinu ditandai dengan arus induktor yang selalu lebih besar daripada nol. Sedangkan mode diskontinu ditandai dengan arus induktor yang sempat mencapai nol dalam satu periode. Tugas akhir ini memakai mode kontinu karena perhitungannya yang lebih sederhana. Selanjutnya penjelasan tentang teori konverter arus searah penurun tegangan hanya pada mode kontinu.

Dasar rangkaiannya adalah sumber tegangan yang terhubung dengan beban resistif melalui saklar. Bila saklar dinyalakan dan dimatikan dengan perbandingan waktu yang tetap secara terus-menerus, maka didapat perbandingan waktu t_{on} dan periode, yang disebut dengan duty cycle (D), sebagai berikut:

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \quad (2.6)$$

Bentuk tegangan keluaran berfluktuasi dari maksimal ke nol. Untuk mendapatkan tegangan arus searah yang rata bernilai, maka diperlukan low-pass filter, yang terdiri dari induktor dan kapasitor. Skema rangkaian konverter arus searah penurun tegangan ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.4 Skema rangkaian konverter arus searah penurun tegangan

Saat saklar pada posisi on untuk selang waktu ton, saklar mengonduksi arus inductor dan dioda menjadi reverse biased. Hal ini mengakibatkan tegangan inductor menjadi:

$$V_L = V_d - V_o \quad (2.7)$$

Tegangan ini menyebabkan arus inductor meningkat secara linear yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Saat saklar pada posisi -off, karena adanya penyimpanan energi induktif, arus inductor berkurang. Arus ini melewati dioda. Sehingga

$$V_L = V_o \quad (2.8)$$

Karena operasi pada keadaan lunak, maka integrasi dari tegangan inductor V_L untuk satu periode bernilai nol. Sehingga:

$$\int_0^{T_s} V_L dt = \int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{on}}^{T_s} V_L dt = 0 \quad (2.9)$$

$$(V_d - V_o)t_{on} = V_o(T_s - t_{on}) \quad (2.10)$$

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{t_{on}}{T_s} = D \quad (2.11)$$

Sehingga besar tegangan keluaran rata-rata adalah:

$$V_o = V_d D \quad (2.12)$$

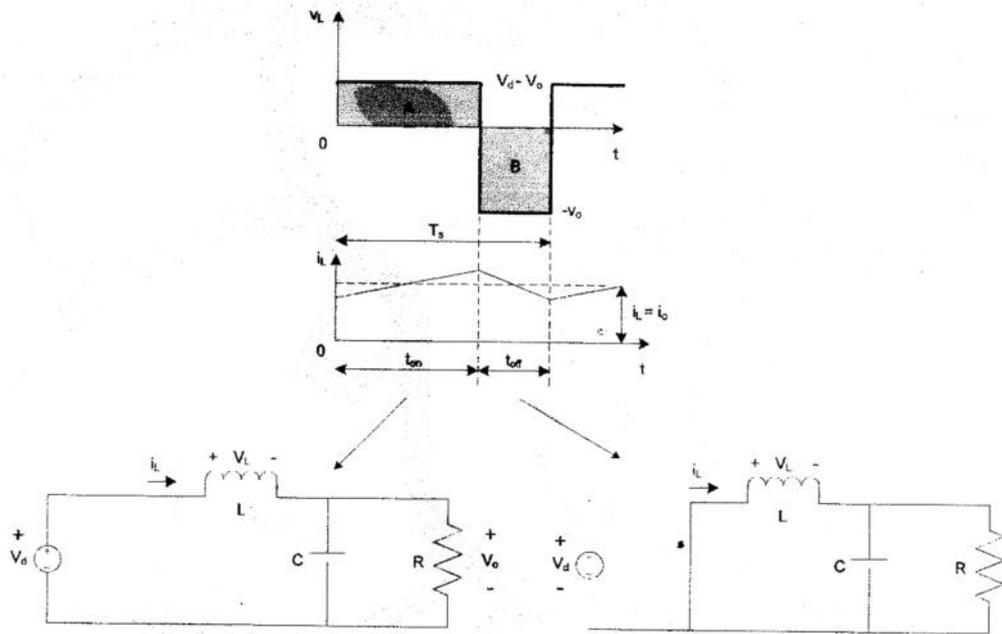
Dengan mengabaikan rugi-rugi daya di rangkaian, maka:

$$P_d = P_o \quad (2.13)$$

$$V_d I_d = V_o I_o \quad (2.14)$$

$$I_o = \frac{V_d}{V_o} I_d \quad (2.15)$$

$$I_o = \frac{I_d}{D} \quad (2.16)$$



Gambar 2.5 Tegangan dan arus induktor pada mode konduksi kontinyu, dan skema konverter arus searah penurun tegangan pada saat saklar on dan off

1. Riak Tegangan Keluaran

Besar riak tegangan keluaran diperoleh dari:

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{1}{C} \frac{1}{2} \frac{\Delta I_L T_s}{2} \quad (2.17)$$

Selama t_{off}

$$\Delta I_L = \frac{V_o}{L} (1-D) T_s \quad (2.18)$$

Substitusi ke ΔI_L , didapat:

$$\Delta V_o = \frac{T_s}{8C} \frac{V_o}{L} (1-D) T_s \quad (2.19)$$

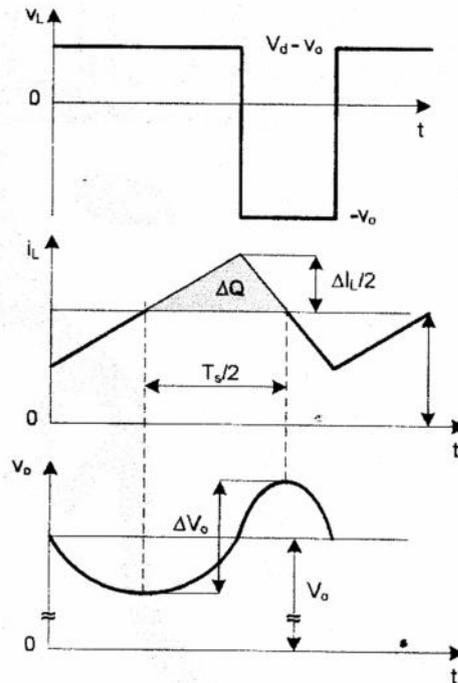
Besar riak tegangan keluaran adalah:

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1}{8} \frac{T_s^2 (1-D)}{LC} \quad (2.20)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{r^2}{2} (1-D) \left(\frac{I_c}{I_s} \right)^2$$

$$(2.21)$$

Dimana frekuensi penyaklaran adalah $f_s = 1/T_s$ dan $f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$



Gambar 2.6 Riak tegangan keluaran konverter arus searah penurun tegangan

D. Baterre

Energi matahari yang mampu dirubah menjadi energi listrik oleh modul fotovoltaik hanya tersedia pada siang hari atau selama ada sinar matahari. Sementara itu beban listrik bisa ada kapan pun. Oleh karena itu dibutuhkan baterre sebagai media penyimpanan energi listrik dari modul fotovoltaik yang kemudian dapat digunakan kapan saja tergantung kebutuhan beban.

1. Ampere-Hour

Ampere-hour adalah kapasitas penyimpanan energi dalam baterre. Satu ampere-hour sama dengan 3600 coulomb (ampere-seconds). Besarnya ampere-hour menunjukkan banyaknya arus yang mengalir dalam jangka waktu tertentu. Karena baterre memiliki nilai tegangan terminal tertentu, maka

dengan mengalikan tegangan dan besarnya ampere-hour, maka diperoleh besarnya energi yang dapat disimpan dan dilepas oleh batere.

2. Batere Untuk Aplikasi Modul Fotovoltaik

Batere asam timbal banyak dipakai pada mobil atau sepeda motor. Namun batere asam timbal pada kendaraan tersebut tidak sesuai untuk pemakaian pada modul fotovoitaik. Batere asam timbal yang dipakai pada kendaraan sering disebut dengan batere SLI (starting, lighting, ignition). Batere untuk modul fotovoltaik mengharuskan pelepasan muatan secara mendaiam (deeply discharge) secara berulang-ulang dan mampu menyuplai arus konstan untuk waktu yang lama. Batere SLI akan berumur pendek bila melakukan hal ini. Untuk modul fotovoltaik, batere asam timbal yang digunakan adalah batere deep cycle.

3. Reaksi Kimia Batere

Penjelasan reaksi kimia dalam batere hanya pada batere asam timbal karena jenis batere yang sesuai dengan pemakaian modul fotovoltaik adalah batere asam timbal. Reaksi kimia batere asam timbal pada anoda adalah reaksi oksidasi, sebagai berikut: $\text{PbSO}_4(\text{s}) + 5\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 3\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{HSO}_4^+(\text{aq}) + 2\text{e}^-$

Sedangkan pada katoda terjadi reaksi reduksi, sebagai berikut:



4. Tahap Pengisian Batere

Terdapat tiga tahap dalam pengisian batere yaitu:

- a. Tahap arus tetap

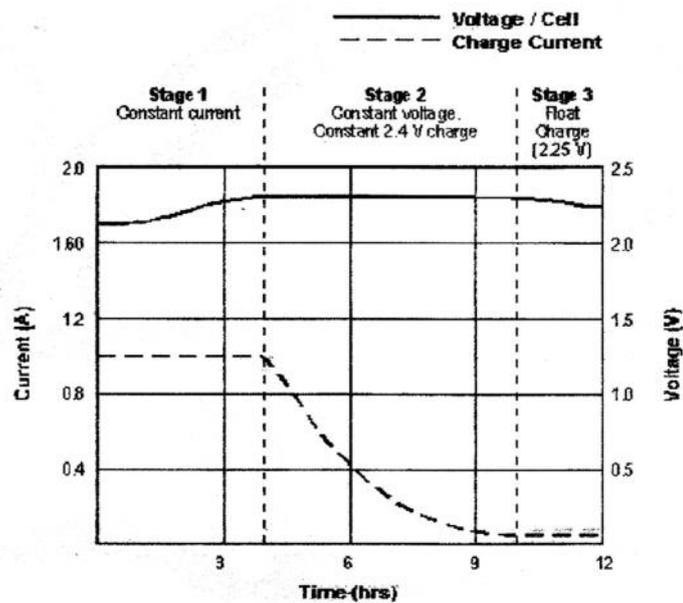
Batere dimuati dengan arus tetap sampai tegangan preset atau sampai tersisi 90 %. Sekitar lima jam.

b. Tahap tegangan tetap

Pada tahap ini arus pengisian berkurang karena sel mulai saturasi. Tahap ini berlangsung sekitar lima jam. Batere terisi penuh setelah tegangan mencapai batas dan arus telah berkurang sampai 3 % dari arus rating. Pada batere asam timbal tegangan per sel pada tahap tegangan tetap sebesar 2,4 V.

c. Float charge

Merupakan tahap untuk mengkompensasi self-discharge. Self-discharge merupakan reaksi kimia internal yang terjadi dalam batere tanpa adanya hubungan antara elektroda. Self-discharge mengurangi muatan yang disimpan dalam batere.



Gambar 2.7 Tahap pengisian batere pada batere asam timbal

Karena pengisian baterai bisa dilakukan dengan arus yang maksimal hanya pada tahap arus tetap, maka MPPT hanya bekerja pada tahap ini. Dua tahap berikutnya ditujukan untuk memperpanjang usia baterai. Beberapa pengisian baterai tidak melibatkan dua tahap terakhir ini karena membutuhkan proses yang lebih sulit daripada tahap pertama.

5. Tingkat Pengisian (State of Charge)

Tingkat pengisian (state of charge/SOC) merupakan suatu ukuran persentase muatan dalam baterai. Terdapat beberapa cara untuk mengukur SOC baterai yaitu dengan mengukur tegangan baterai, arus, dan specific gravity. Pengukuran specific gravity adalah pengukuran SOC baterai yang paling akurat. Pengukuran specific gravity larutan elektrolit dari baterai asam timbal mampu menunjukkan SOC baterai. Hal ini dikarenakan pada baterai asam timbal, larutan elektrolit ikut bereaksi kimia. Pada saat baterai discharge, maka specific gravity dan baterai akan berkurang. Hidrotneter merupakan alat yang bisa digunakan untuk mengukur specific gravity dari baterai.

Tabel 2.1 Tingkat pengisian baterai asam timbal 12V

Tegangan open circuit (V)	State-of-Charge (%)
12,60	100
12,40	75
12,10	50
11,90	25
< 11,80	0

Dalam sistem modul fotovoltaik, SOC yang ditunjukkan dengan tegangan terminal baterai menentukan posisi saklar baterai. Bila baterai telah

penuh maka saklar terbuka sehingga batere terpisah dari sistem. Sedangkan bila batere belum tensi penuh maka saklar tertutup sehingga arus bisa mengalir dari modul fotovoltaik ke batere melalui konverter arus searah. Pengoperasian saklar pada batere ini tidak akan dibahas dalam tugas akhir ini.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

a. Waktu

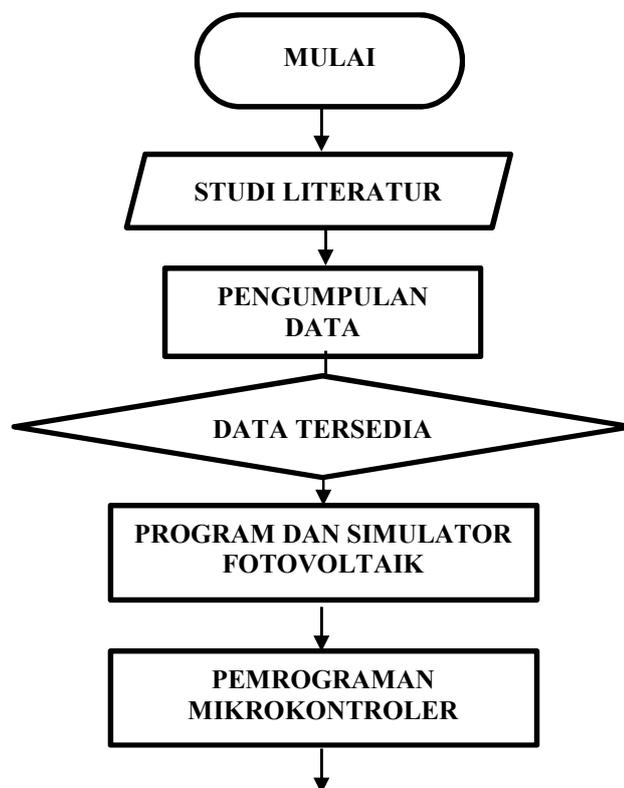
Pembuatan tugas akhir ini akan dilaksanakan selama 6 bulan, mulai dari bulan Juni 2017 sampai dengan September 2017 sesuai dengan perencanaan waktu yang terdapat pada jadwal penelitian.

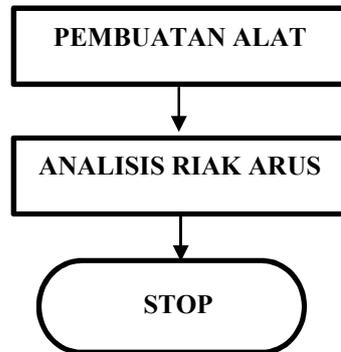
b. Tempat

Penelitian dilaksanakan di Makassar.

B. Metode Penelitian

Alur Penelitian





Metode penelitian ini berisikan langkah-langkah yang ditempuh penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Metode penelitian ini disusun untuk memberikan arah dan cara yang jelas bagi penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

Adapun langkah-langkah yang ditempuh oleh penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Metode Pustaka

Yaitu mengambil bahan-bahan penulisan tugas akhir ini dari referensi-referensi serta literatur-literatur yang berhubungan dengan masalah yang dibahas.

Metode Penelitian

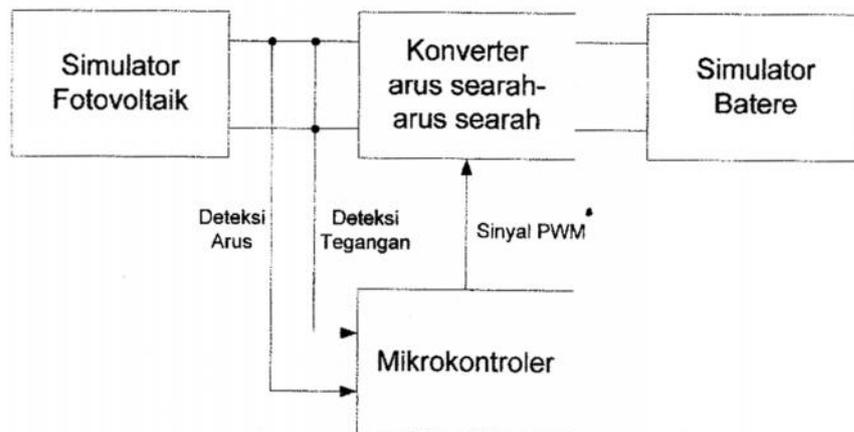
Mengadakan penelitian dan pengambilan data di Makassar, Kemudian mengadakan pembahasan/analisa hasil pengamatan dan menyimpulkan hasil analisa tersebut.

Metode Diskusi/Wawancara

Yaitu mengadakan diskusi/wawancara dengan dosen yang lebih mengetahui bahan yang akan kami bahas atau dengan pihak praktisi

C. Gambar dan Sistem

Sistem secara keseluruhan terdiri dari rangkaian daya dan rangkaian pengendali. Rangkaian daya terdiri dari simulator fotovoltaik, konverter arus searah penurun tegangan, dan baterai. Simulator fotovoltaik merupakan rangkaian pengganti yang mempunyai karakteristik P-V yang sama dengan modul fotovoltaik. Konverter arus searah penurun tegangan berfungsi menurunkan tegangan simulator fotovoltaik menjadi tegangan simulator baterai. Sedangkan simulator baterai 12 volt sebagai beban. Skema sistem dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema sistem

Rangkaian pengendali terdiri dari rangkaian deteksi, mikrokontroler, dan pemacu saklar. Rangkaian deteksi terdiri dari deteksi arus dan deteksi tegangan simulator fotovoltaik. Mikrokontroler berfungsi mengendalikan arus pengisian

batere melalui penyaklaran konverter. Pengendalian ini mengimplementasikan algoritma MPPT. Rangkaian pemacu saklar berfungsi menguatkan sinyal PWM yang dihasilkan mikrokontroler agar mampu membuat saklar on dan off.

D. Simulator Fotovoltaik

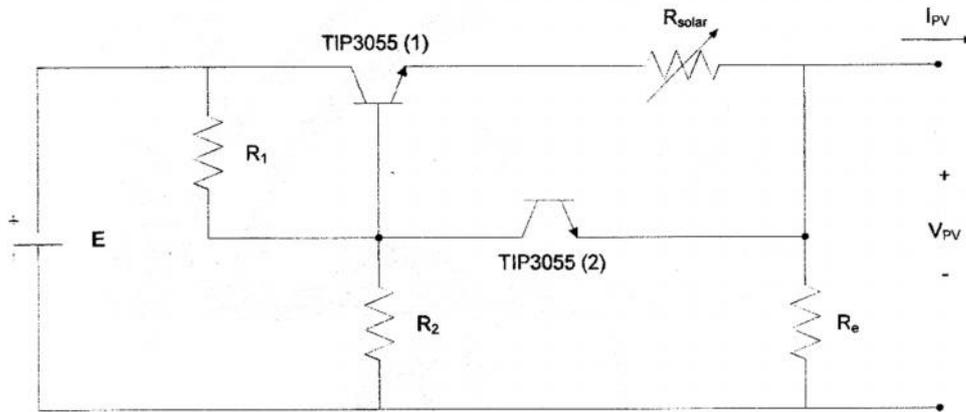
Simulator fotovoltaik merupakan rangkaian pengganti yang memiliki karakteristik yang mirip dengan modul fotovoltaik. Tujuan penggunaan simulator fotovoltaik ini adalah untuk mempermudah pengujian dan mengetahui dengan pasti kemampuan MPPT dalam beroperasi di sekitar MPP, Modul fotovoltaik digunakan sebagai acuan dalam menentukan simulator fotovoltaik. Modul fotovoltaik tersebut adalah Solarex MSX-53. Berikut adalah spesifikasi modul:

Spesifikasi fisik:

Lebar	: 19,75 inchi (\pm 48 cm)
Panjang	: 36,97 inchi (\pm 94 cm)
Tebal	: \pm 0,1 inchi (\pm 2,56 cm)
Berat	: 12,5 pound (\pm 5,7 kg)

Karakteristik elektrik:

Daya maksimum (P_{max})	: 53W
Tegangan pada P_{max}	: 17,6V
Tegangan hubung terbuka (V_{OC})	: 20,6 V
Arus pada P_{max}	: 3,06 A
Arus hubungn singkat	: 3,4 A



Gambar 3.2 Simulator fotovoltaiik

Ide dasar simulator fotovoltaiik adalah rangkaian bias yang diberi pembatas arus. Sumber tegangan arus searah, resistor R_1 , resistor R_2 , transistor NPN TIP3055 (1), dan resistor R_c merepresentasikan rangkaian bias. Transistor NPN TIP30S5 (2) dan resistor R_{solar} sebagai pembatas arus. Pada rangkaian bias tanpa pembatas arus., simulator fotovoltaiik bekerja di daerali sumber tegangan. Sedangkan dengan penambahan rangkaian pembatas arus, simulator fotovoltaiik bekerja di daerah sumber arus. Skema rangkaian simulator fotovoltaiik dapat dilihat pada gambar 3.3. Berikut adalah penentuan parameter simulator fotovoltaiik:

Parameter keluaran yang diinginkan:

$$I_{SC} = 3.4A$$

$$V_{oc} = 20,6 \text{ volt}$$

Parameter yang ditentukan dari awal:

$$I_{B1} = 1 \text{ mA}$$

$$I_{Re} = 100 \text{ mA}$$

$$\beta = 100$$

$$I_{R2} = 10I_{B1} = 10\text{mA} \quad (3.1)$$

Dari parameter di atas, nilai resistansi R_1 , R_2 , dan R_c ditentukan sebagai berikut:

$$V_{R2} = V_{\text{maksbeban}} + V_{BE1} = 20,6 + 0,7 = 21,3 \text{ volt} \quad (3.2)$$

Dimana V_{BE1} adalah tegangan base-emiter transistor npn, sedangkan

$$R_e = \frac{V_{\text{maksbeban}}}{I_{Re}} = \frac{20,6}{100} \times 10^3 \Omega = 206 \Omega \quad (3.3)$$

$$R_2 = \frac{V_{R2}}{I_{R2}} = \frac{21,3}{10} \text{ k}\Omega = 2,13 \text{ k}\Omega \quad (3.4)$$

Bila sumber tegangan arus searah pada rangkaian sebesar $E = 24$ volt, maka:

$$R_1 = \frac{E - V_{R2}}{I_{R2} + I_{B1}} = \frac{24 - 21,3}{10 + 1} \times 10^3 \Omega = 245,45 \Omega$$

Resistansi yang ditentukan adalah sebesar $R_1 = 245,54 \text{ H}$, $R_2 = 2,13 \text{ kH}$, dan $R_e = 206 \Omega$. Dengan keterbatasan nilai resistansi yang diproduksi maka nilai resistansi yang dipakai dalam rangkaian simulator fotovoltaik adalah $R_1 = 150 \Omega$, $R_2 = 1,8 \text{ k}\Omega$, dan $R_e = 150 \Omega$. Perbedaan nilai ini akan mempengaruhi kurva karakteristik simulator fotovoltaik.

Selanjutnya akan ditentukan nilai resistansi pembatas arus R_{solar} . Pada rangkaian pembatas arus, besarnya resistansi R_{solar} menentukan besarnya arus keluaran yang akan dibatasi. Dengan V_{BE2} adalah tegangan base-emiter transistor NPN dan I_{sc} adalah arus hubung singkat dari modul fotovoltaik, maka resistansi R_{solar} adalah:

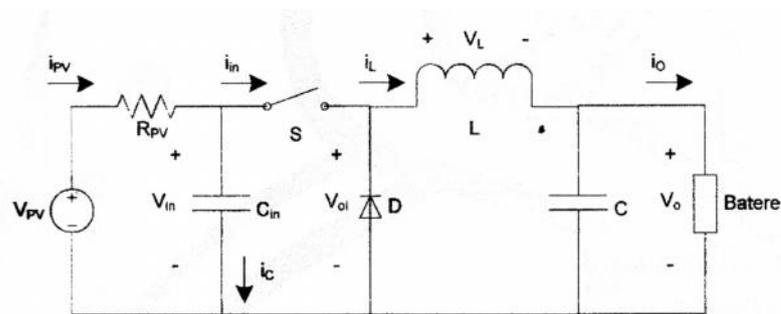
$$R_{\text{solar}} = \frac{V_{BE2}}{I_{sc}} = \frac{0,7}{3,4} \Omega \approx 0,2 \Omega \quad (3.6)$$

Dalam melakukan simulasi pada intensitas matahari yang berubah-ubah, maka nilai R_{solar} , bisa dirubah. Selain $0,2 \Omega$, dalam percobaan juga akan dipakai $0,3 \Omega$, $0,47 \Omega$, dan $0,56 \Omega$.

E. Konverter Arus Searah Penurun Tegangan

Tegangan modul fotovoltaik pada MPP berkisar 17 volt. Sedangkan batere yang banyak digunakan adalah batere 12 volt. Sehingga konverter arus searah yang dipakai adalah tipe penurun tegangan. Agar konverter arus searah penurun tegangan dapat bekerja dengan baik., maka setiap komponennya harus ditentukan dengan tepat. Kriteria desain bagi konverter adalah:

- Tegangan masukan minimal sebesar tegangan batere, yaitu 12 volt.
- Tegangan masukan maksimal sebesar tegangan maksimal modul fotovoltaik, yaitu 21 volt
- Tegangan keluaran sebesar tegangan batere, yaitu 12 volt.
- Arus masukan maksimal sebesar arus maksimal modul fotovoltaik yaitu 3,4 A.
- Arus keluaran maksimal sebesar, terjadi pada MPP yaitu sebesar $3,06 \text{ A} \times 17,6 \text{ V} / 12 \text{ V} = 4,49 \text{ A}$.
- Riak arus keluaran sebesar 2 %.
- Frekuensi penyaklaran ditentukan sebesar 5,4 kHz.



Gambar 3.3 Konverter arus searah penurun tegangan

1. Induktor

Nilai induktansi ditentukan berdasarkan rumus berikut:

$$L \geq \frac{V_{om} (1-D_{cm})}{f_s |\Delta I_{Lm}|} \quad (3-7)$$

Dimana:

$f_s = 1/T_s$ adalah frekuensi penyaklaran, ditentukan sebesar 5,4 kHz

D_{cm} = adalah duty cycle pada daya keluaran maksimum dari konverter, yaitu sebesar 0,719

ΔI_{Lm} = adalah riak arus induktor yang adalah prosentase riak dikali arus beban, sebesar 0,01

V_{om} = adalah komponen arus searah maksimum dari tegangan keluaran, yaitu sebesar 12 volt

I_{om} = adalah komponen arus searah dari arus keluaran pada daya keluaran maksimum, yaitu sebesar 4,453 A

Maka nilai induktansinya sebesar:

$$L \geq \frac{12 \times (1-0,719)}{5,4 \text{ kHz} \times 0,01} \quad (3.8)$$

$$L \geq 6,25 \text{ mH} \quad (3.9)$$

Pada percobaan, induktor yang dipakai sebesar 5 mH 15 A. Pemakaian induktor tersebut karena ketersediaan induktor di LPKKEE.

2. Kapasitor Keluaran

Nilai kapasitansi dari kapasitor keluaran adalah:

$$C_o \geq \frac{D_{cm} I_{om}}{r f_s V_{om}} \quad (3.10)$$

Dimana r adalah faktor riak tegangan keluaran, yang didefinisikan sebagai:

$r = (\Delta V_{om}/V_{om})$, biasanya $r < 2\%$, dan ΔV_{om} adalah riak tegangan puncak-ke-puncak pada daya maksimum.

Sehingga nilai kapasitansi keluaran adalah:

$$C_o \geq \frac{0,719 \times 4,453}{002 \times 5,4 \text{kHz} \times 12} \quad (3.11)$$

$$C_o \geq 2470,4 \mu\text{F} \quad (3.12)$$

Kapasitor dengan nilai kapasitansi terkecil yang sesuai dengan nilai di atas adalah kapasitor

4700 μF

3. Kapasitor Masukan

Bila riak arus keluaran PV hams kurang dari 2% dari nilai rata-ratanya, maka kapasitansi dari kapasitor inputnya adalah:

$$C_{in} \geq \frac{(1-D_{cm})I_{om}D_{cm}}{0021p_{vpm}R_{pvm}f_s}$$

$$(3.13)$$

Dimana I_{pvm} adalah arus input konverter pada daya input maksimum yaitu sebesar 3,2 A, sementara R_{pvm} adalah resistansi internal PV pada MPP dan didefinisikan sebagai:

$$R_{ppm} = \frac{V_{inm}}{I_{pvm}} = \frac{16,7}{3,2} \approx 5,219 \Omega$$

$$(3.14)$$

Dimana V_{inm} adalah tegangan keluaran PV pada MPP yaitu sebesar 16,7 volt

Sehingga nilai kapasitansi masukan adalah:

$$C_{in} \geq \frac{(1-D_{cm})I_{om}D_{cm}}{0021p_{vpm}R_{pvm}f_s} \quad (3.15)$$

$$C_{in} \geq 498,9\mu\text{F} \quad (3.16)$$

Kapasitor dengan nilai kapasitansi terkecil yang sesuai dengan nilai di atas adalah kapasitor 1000 μF .

4. Dioda

Arus maksimal yang melewati dioda sama dengan arus keluaran yaitu 2,6 A. Karena penyaklaran pada konverter mencapai 5,4 kHz, maka dioda yang digunakan harus berjenis dioda ultra-fast-recovery. Pada percobaan, dioda yang digunakan adalah dioda uhra-fast-recovery FMX-G22S. Dioda ini memiliki kemampuan tegangan maksimum sebesar 200 volt dan arus maksimum 10 A. Nilai ini di atas nilai tegangan dan arus yang akan beroperasi pada konverter.

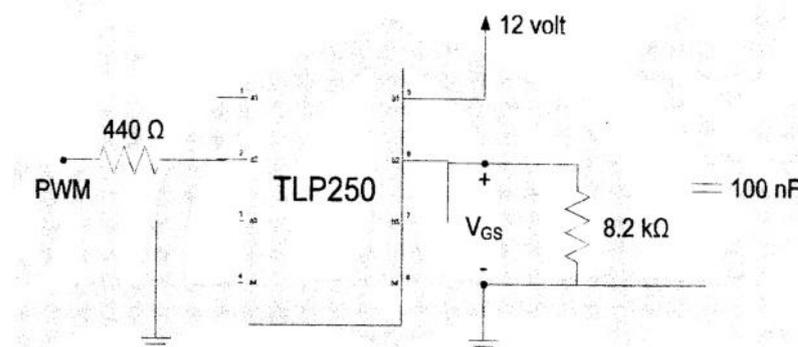
5. Saklar

Saklar yang diperlukan adalah saklar dengan kapasitas arus mencapai 2,6 A, tegangan 23 volt, resistansi yang kecil agar rugi-rugi daya pada saklar kecil, dan frekuensi penyaklaran sebesar 5,4 kHz. Saklar dengan kriteria tersebut dikategorikan dalam mosfet daya. Saklar yang digunakan adalah Mosfet IRFP250. Saklar tersebut memiliki kapasitas arus yang cukup besar yaitu 30 A, tegangan terminal gate-source sebesar 200 V, resistansi terminal drain-source yang kecil yaitu 0,052 Ω . T_{on} sebesar 69 ns dan T_{off} sebesar 177 ns sangat kecil dibandingkan dengan periode penyaklaran dari frekuensi 5,4 kHz. Bisa disimpulkan bahwa frekuensi penyaklaran 5,4 kHz dapat bekerja dengan baik untuk saklar ini.

6. Rangkaian Pemicu Saklar

Tegangan yang diperlukan untuk menyalakan mosfet sebesar 9 volt. Sementara itu tegangan keluaran dari sinyal PWM dari mikrokontroler adalah 5 volt. Oleh karena itu diperlukan rangkaian pemicu saklar agar mosfet dapat bekerja sesuai dengan sinyal PWM. Salah satu jenis pemicu saklar adalah photocoupler. Pada percobaan digunakan photocoupler TLP250 sebagai pemicu saklar. Rangkaian pemicu saklar ditunjukkan pada gambar 3.5.

Sisi masukan dari TLP250 adalah LED bertegangan 3 volt, sedangkan sisi keluaran terdiri dari fototransistor npn dan pnp yang tersusun secara komplemen simetri. TLP250 membutuhkan waktu maksimal 0,5 μ s untuk perubahan dari sinyal high ke low atau sebaliknya. Sedangkan frekuensi maksimal yang diperbolehkan adalah 25 kHz. Dengan spesifikasi tersebut, TLP250 masih bisa bekerja dengan baik pada frekuensi penyaklaran sebesar 5,4 kHz.



Gambar 3.4 Rangkaian pemicu saklar

F. Mikrokontroler

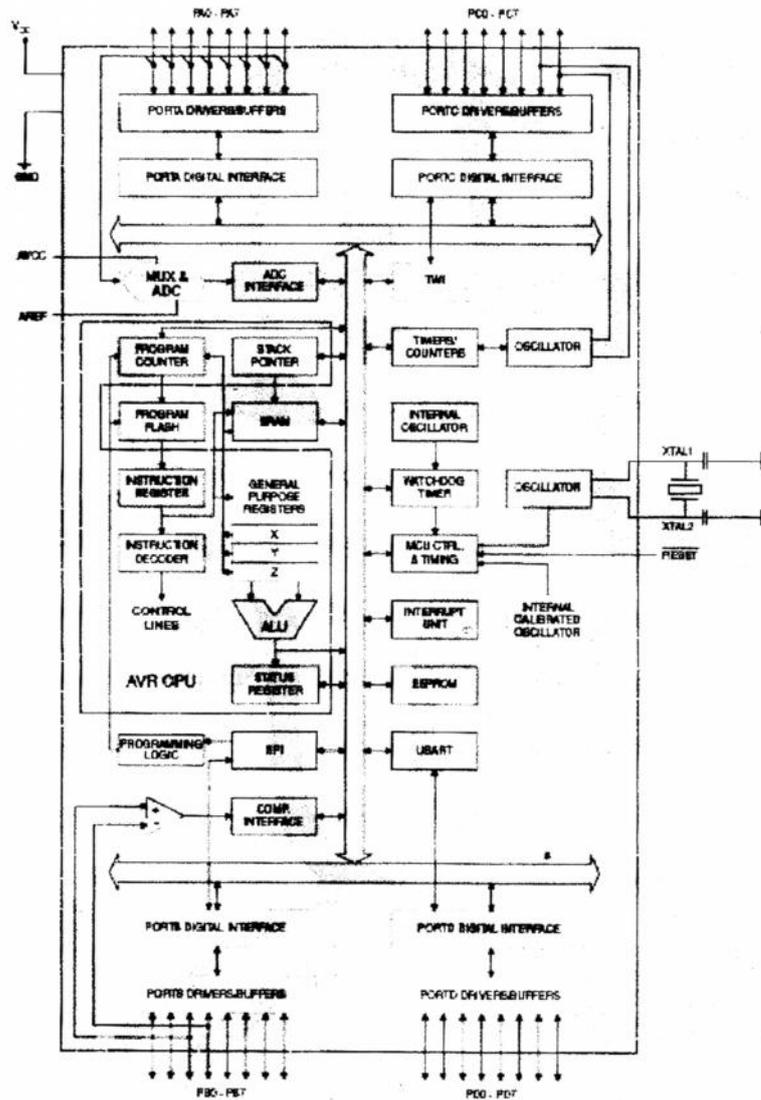
Mikrokontroler yang dipakai dalam percobaan adalah mikrokontroler AVR ATmega 8535. Pemilihan ini dikarenakan ketersediaan sistem minimum dan pengalaman penulis dalam menggunakan mikrokontroler ini.

Mikrokontroler ATmega 8535 termasuk sen AVR (Alf and Vegard's RISC processor). Mikrokontroler AVR menggunakan arsitektur RISC (Reduced Instruction Set Computing) 8 bit. Dengan arsitektur ini, semua instruksi dikemas dalam kode 16 bit dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam satu siklus clock. Hal ini berbeda dengan mikrokontroler MCS51 yang menggunakan arsitektur CISC (Complex Instruction Set Computing). Dengan arsitektur CISC, satu instruksi pada MCS51 dieksekusi dalam 12 siklus clock.

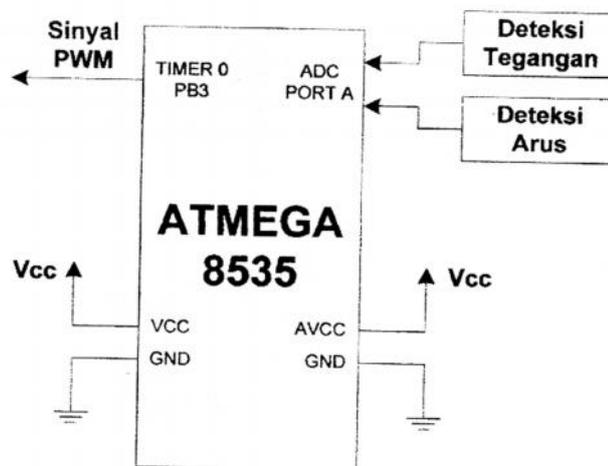
Berdasarkan fitur-fitur yang tersedia seperti ukuran memori, peripheral, dan fungsinya, AVR dapat dikategorikan ke dalam 4 jenis yaitu ATtiny, AT90Sxx, ATmega, dan AT86RFxx.

Bahasa pemrograman yang dipakai pada AVR adalah bahasa C. Bahasa ini dipakai karena lebih mudah dimengerti oleh manusia ketimbang bahasa assembly. Dalam tugas akhir ini, penulis menggunakan perangkat lunak Code Vision AVR untuk membuat dan mengunduh program ke mikrokontroler.

Fitur yang terdapat dalam ATmega 8535 yang mendukung kendali dari sistem adalah modulasi lebar pulsa (pulse width modulation/PWM) dan konverter analog-digital (analog digital converter/ADC),



Gambar 3.5 Diagram Blok Arsitektur ATmega 8535



Gambar 3.6 Skema mikrokontroler

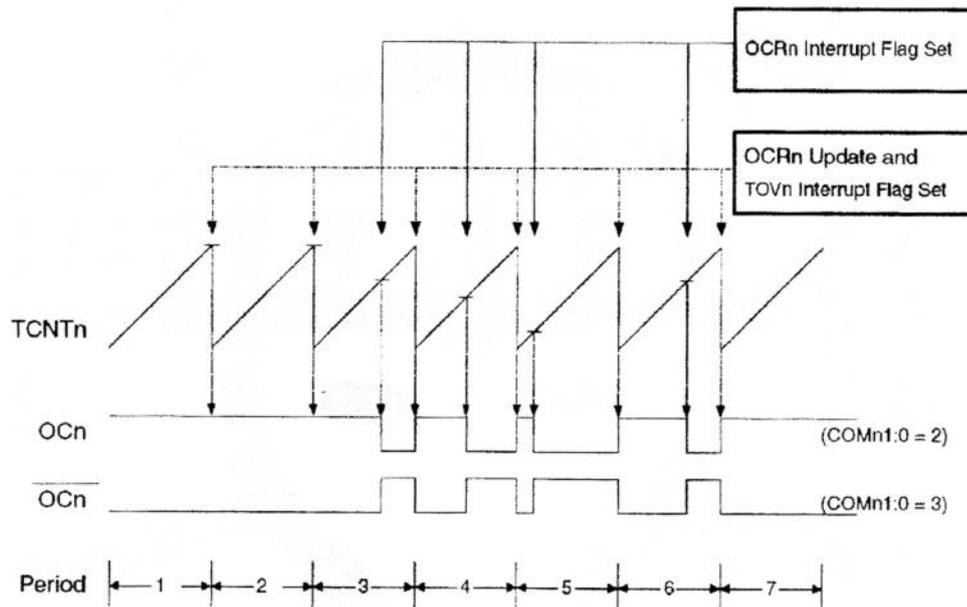
1. Pulse Width Modulation (PWM)

PWM berfungsi menghasilkan sinyal modulasi lebar pulsa untuk penyaklaran mosfet konverter arus searah penurun tegangan. PWM dapat dihasilkan dari fitur timer/counter pada ATmega 8535. Timer adalah unit untuk menghitung dan melakukan pewaktuan dengan menggunakan frekuensi kristal sebagai sumber clock counter internalnya atau sumber eksternal melalui pin TO. Frekuensi timer dapat diatur dengan prescaler bit (bit pembagi). Terdapat tiga jenis timer/counter yaitu timer/counter 0 (8 bit), timer counter \ (16 bit), dan timer/counter 2 (8 bit).

Dalam pengujian, penulis menggunakan fitur timer 0 dan mode fast PWM. Pemilihan timer 0 sebagai penghasil PWM dikarenakan timer 0 cukup sederhana dibandingkan dengan timer 1 yang bekerja pada 10 bit. Timer 0 menghasilkan PWM berbasis 8 bit. Dengan 8 bit, duty cycle diatur dari 0 sampai 256. Sinyal PWM pada timer 0 dihasilkan oleh port B3. Sedangkan pemilihan mode fast PWM didasarkan pada kemampuannya membangkitkan PWM berfrekuensi tinggi. Frekuensi PWM yang dihasilkan pada mode ini adalah sebagai berikut:

$$f_{OcnPWM} = \frac{f_{clk-I/O}}{N \times 256}$$

Di mana $f_{clk-I/O}$ adalah frekuensi clock. Pada percobaan penulis menggunakan kristal berfrekuensi 11,0592 MHz. Sedangkan variabel N merepresentasikan nilai faktor pre scaler yaitu 1, 8, 64, 256, dan 1024.



Gambar 3.7 Diagram waktu mode fast PWM

2. Analog Digital Converter (ADC)

Analog Digital Converter (ADC) berfungsi mengonversi nilai dari tegangan yang terdapat pada pin ADC menjadi data digital. Terdapat delapan pin ADC pada ATmega 8535 yang semuanya terletak di port A. Untuk tegangan referensi pada ADC ATmega 8535 terdapat tiga macam yaitu tegangan internal capacitance sebesar 2,56 volt, AVCC sebesar VCC, dan AREF sebesar tegangan referensi dan hiar mikrokontroler. Konversi ADC ATmega 8535 bisa dilakukan pada 8 atau 10 bit.

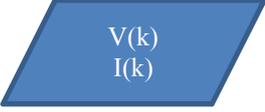
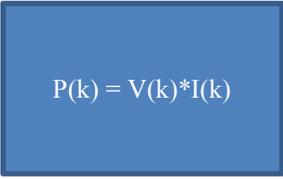
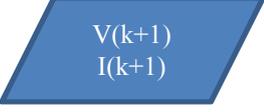
Apabila tegangan referensi yang dipilih adalah tegangan internal capacitance, maka resolusinya pada 10 bit sebesar 2,5 mV. Bila tegangan referensi AVCC yang digunakan, maka untuk 10 bit resolusi yang diperoleh sebesar 4,88 mV. Resolusi yang lebih besar dapat mentolerir sinyal noise lebih baik daripada resolusi yang kecil. Karena resolusi referensi AVCC lebih besar

daripada referensi internal capacitance, maka penulis memilih menggunakan referensi AVCC.

G. Bahasa Pemrograman untuk Mengimplementasikan MPPT

Pada tugas akhir ini, algoritma MPPT yang dipakai adalah perturb and observation (P&O). Algoritma tersebut selanjutnya diimplementasikan ke dalam bahasa pemrograman C. Bahasa pemrograman C tersebut kemudian di-compile ke dalam bahasa assembly oleh perangkat lunak Code Vision AVR. Bahasa assembly tersebut selanjutnya diunduh ke dalam mikrokontroler. Bahasa C yang telah dibuat dalam tugas akhir ini secara lengkap dicantumkan dalam lampiran A. Berikut adalah penjelasan bahasa pemrograman C dari setiap tahap pada diagram alir MPPT P&O

Tabel 3.1 Penjelasan dan implementasi bahasa C dari diagram alir MPPT

Tahap dalam diagram	Penjelasan dan implementasi bahasa C
	Tahap ini untuk mengambil nilai tegangan dan arus dari siklus sebelumnya.
	Pada tahap ini, dilakukan penghitungan daya dari tegangan dan arus siklus sebelumnya. Bahasa pemrograman C dari tahap ini adalah sebagai berikut: $Plalu = Vlalu * Ilalu;$
	Tahap ini bertujuan untuk mengukur tegangan dan arus siklus saat ini. Pengulangan sebanyak 8 kali bertujuan untuk mengukur tegangan dan arus sebanyak 8 kali dan kemudian diambil nilai rata-ratanya. Bahasa

	<p>pemrograman C dan tahap ini adalah sebagai berikut:</p> <pre>//Sensing tegangan dan arus for (i=0; i<8; i++) { ADCSR_datal = read_adc(2); // baca data Vin PA.2 Vsek+=ADCSR_datal; ADCSRjdataZ = read_adc(3); // baca data Tin PA.3 Isek += ADCSR data2; }; V_{sek} =V_{sek}/8 I_{sek} =I_{sek}/8</pre>
<p>$P(k+1) = V(k+1)*I(k+1)$</p>	<p>Untuk menghitung daya siklus saat ini: Psek - Vsek * Isek:</p>
<p>$P(k+1) > P(k)$</p>	<p>Untuk melihat apakah daya siklus saat ini lebih besar daripada daya siklus sebelumnya: if(Psek>Plalu)</p>
<p>$V(k+1) > V(k)$</p>	<p>Untuk melihat apakah tegangan siklus saat ini lebih besar daripada tegangan siklus sebelumnya: if(Vsek>Vlalu)</p>
<p>$D=D-dx$</p>	<p>Untuk menurunkan duty cycle, dengan tingkat penurunan sebesar 2/256; D = D - 2, //naikkan tegangan</p>

$D = D + dx$	Untuk menaikkan duty cycle, dengan tingkat kenaikan sebesar 2/256: $D = D + 2$; //turunkan tegangan
$V(k) = V(k+1)$ $I(k) = I(k+1)$	Untuk menjadikan tegangan dan arus siklus saat ini menjadi tegangan dan arus siklus sebelumnya pada siklus selanjutnya: $V_{lalu} = V_{sek}$; $I_{lalu} = I_{sek}$;

Tabel 3.2 Implementasi bahasa C dari diagram alir MPPT pada bagian percabangan secara lengkap

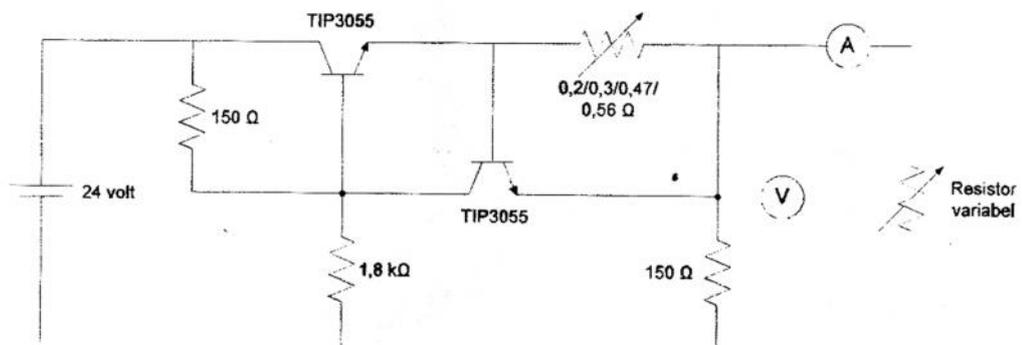
Tahap dalam diagram alir	Implementasi Bahasa C
	<pre> If(Psek>Plalu) {if(Vsek>Vlalu) {D = D - 2; //naikkan tegangan} { D = D + 2; //turunkan tegangan};} else {if (Vsek > Vlalu) {D = D + 2; //turunkan tegangan} else {D = D - 2; //naikkan tegangan}};}; </pre>

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Simulator Fotovoltaik

Pengujian berikut adalah pengujian simulator fotovoltaik. Pengujian dilakukan dengan resistansi sebesar $0,2 \Omega$, $0,3 \Omega$, $0,47 \Omega$, dan $0,56 \Omega$.



Gambar 4.1 Pengujian simulator fotovoltaik

Tabel 4.1 Karakteristik simulator fotovoltaik untuk $0,2 \Omega$,

Tegangan (V)	Arus(A)	Daya (watt)
21	0	0
19,9	0,50	9,95
19	0,75	14,25
18	1,00	18,00
17	1,26	21,42
16	1,51	24,16
15	1,73	25,95
14	1,90	26,60
13	2,01	26,13
12	2,09	25,08
11	2,15	23,65
10	2,20	22,00
9	2,28	20,52
6	2,36	14,16
0	2,51	0

Tabel 4.2 Karakteristik simulator fotovoltaik untuk $0,3 \Omega$.

Tegangan (V)	Arus(A)	Daya (watt)
21	0	0
19,84	0,49	9,72
19	0,71	13,49
18	0,97	17,46
17	1,16	19,72
16	1,26	20,16
15	1,32	19,80
14	1,37	19,18
13	1,41	18,33
12	1,45	17,74
11	1,48	16,28
10	1,51	15,10
8	1,55	12,40
6	1,60	9,60
0	1,70	0

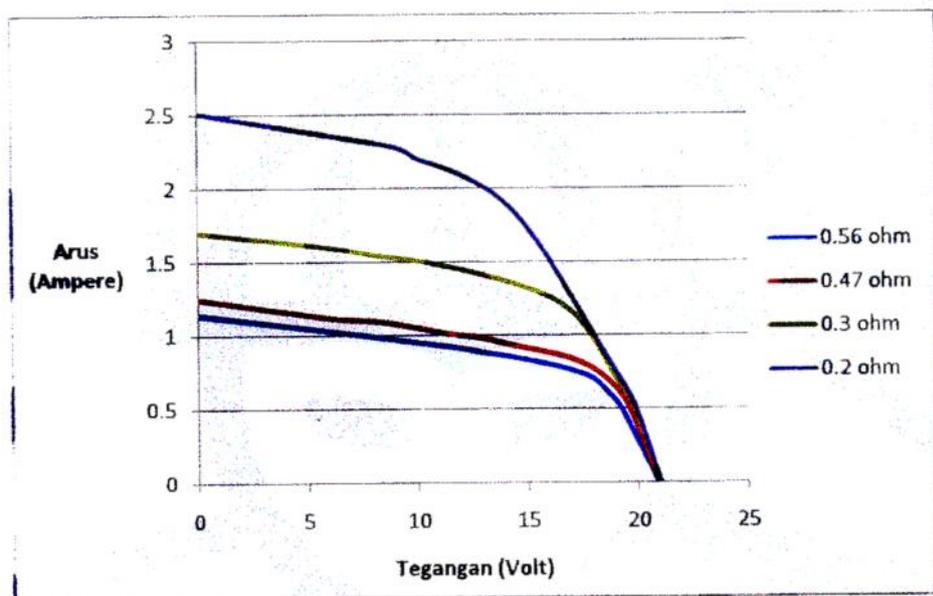
Tabel 4.3 Karakteristik simulator fotovoltaik untuk $0,47 \Omega$

Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (watt)
20,9	0	0
19,64	0,49	9,62
19	0,64	12,16
18	0,77	13,86
17	0,77	14,28
16	0,88	14,08
15	0,91	13,65
14	0,94	13,16
13	0,98	12,74
12	1,00	12,00
11	1,02	11,22
10	1,05	10,50
8	1,10	8,80
6	1,12	6,72
0	1,25	0

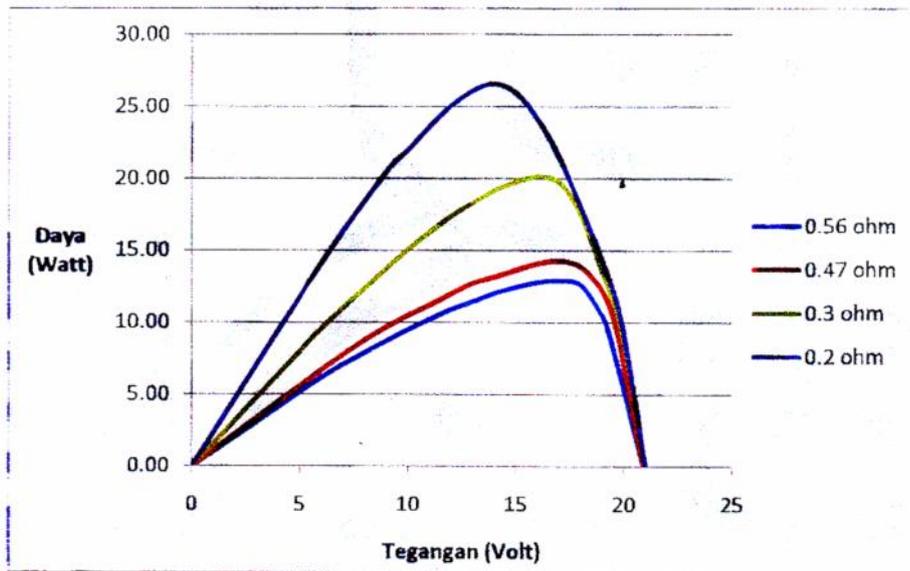
Tabel 4.4 Karakteristik simulator fotovoltaik untuk 0,56 Ω

Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (watt)
20,9	0	0
19,3	0,48	9,26
19	0,55	10,45
18	0,70	12,60
17	0,76	12,92
16	0,80	12,80
15	0,83	12,45
14	0,86	12,04
13	0,88	11,44
12	0,91	10,92
11	0,93	10,23
10	0,95	9,50
8	0,99	7,92
6	1,03	6,18
0	1,14	0

Dari keempat label di atas, dapat dibuat kurva hubungan arus terhadap tegangan dan daya terhadap tegangan yang ditunjukkan pada gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.2 Kurva I-V simulator fotovoltaik



Gambar 4.3 Kurva P-V simulator fotovoltaik

Kurva pada gambar 4.2 dan 4.3 menunjukkan bahwa rangkaian simulator fotovoltaik memiliki karakteristik I-V dan P-V yang mirip dengan karakteristik modul fotovoltaik. Dengan pengujian tersebut dapat dikatakan bahwa simulator fotovoltaik yang digunakan cukup mewakili modul fotovoltaik. Kedua kurva tersebut sedikit tidak halus yang disebabkan ketidaktepatan pengambilan data.

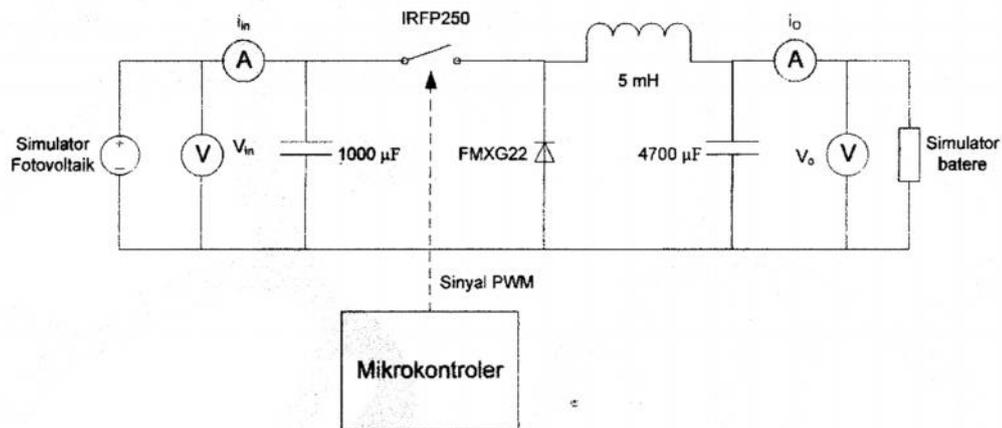
Dengan membandingkan Hasil pengujian $0,3 \Omega$ dengan Persamaan Resistansi sebesar $0,2 \Omega$ dimana Resistansi $0,2 \Omega$ menunjukkan karakteristik fotovoltaik pada kondisi maksimum yaitu pada 1000 W/m^2 Begitu pula dengan nilai tegangan, arus dan daya lebih tinggi, Sedangkan nilai resistansi $0,3 \Omega$ merepresentasikan intensitas matahari di bawah 1000 W/m^2 dan nilai tegangan, arus dan daya lebih rendah / kecil.

Dikarenakan Faktor perubahan temperatur terhadap karakteristik fotovoltaik direpresentasikan dengan nilai sumber tegangan arus searah yang berubah-ubah

Serta nilai resistansi yang berbeda. Faktor perubahan temperatur ini tidak dilakukan karena keterbatasan alat.

B. Pengujian Konverter Arus Searah-Arus Searah Penurun Tegangan

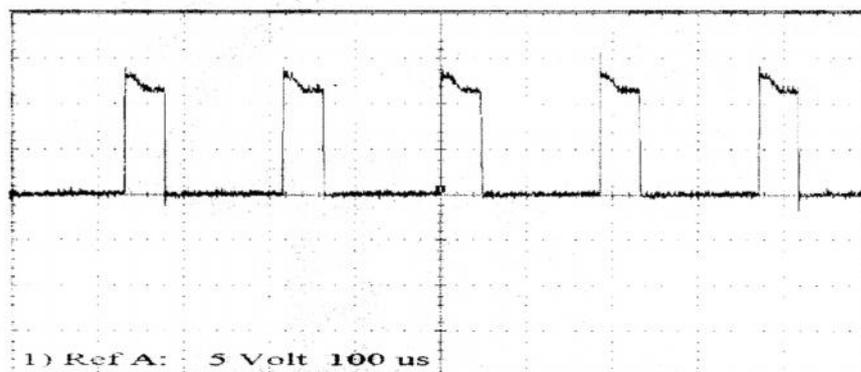
Pengujian konverter arus searah-arus searah penurun tegangan dilakukan dengan sumber berupa simulator fotovoltaiik dan beban berupa simulator batere, Skema pengujian ini ditunjukkan pada gambar 4.4.



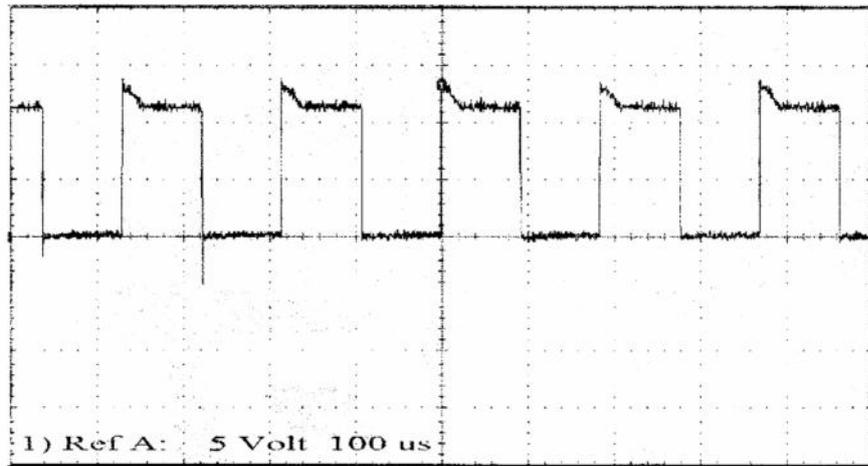
Gambar 4.4 Pengujian konverter arus searah-arus searah penurun tegangan

1. Pengujian Sinyal Penyaklaran Konverter

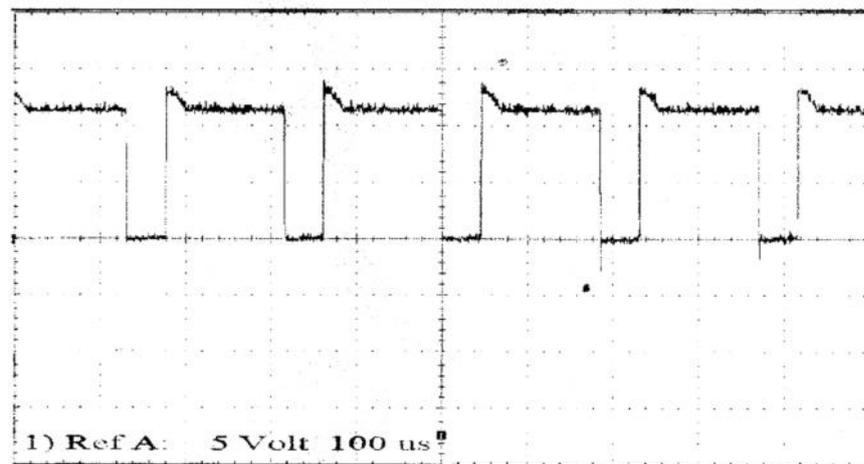
Pengujian pertama untuk konverter adalah sinyal penyaklaran pada mosfet yaitu tegangan pada terminal gate-source VGS. Pengambilan data dilakukan pada duty cycle 0,25, 0,5, dan 0,75.



Gambar 4.5 Sinyal penyaklaran V_{Gs} pada *duty cycle* 0.25



Gambar 4.6 Sinyal penyaklaran V_{GS} pada duty cycle 0,5

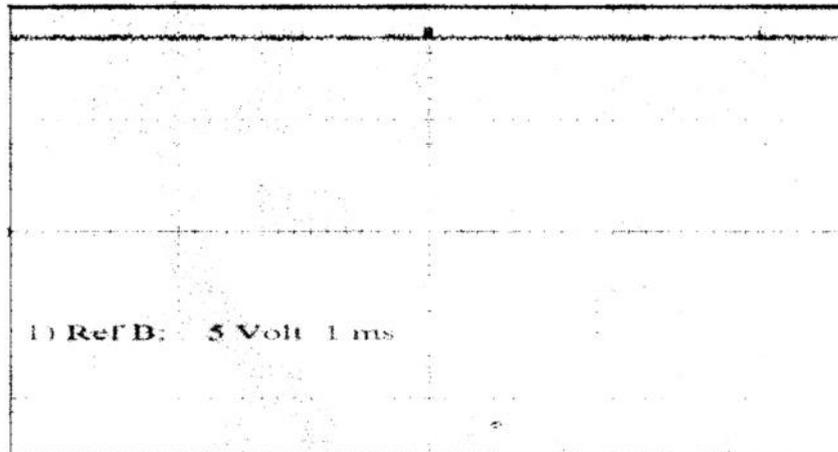


Gambar 4.7 Sinyal penyaklaran V_{GS} pada duty cycle 0,75

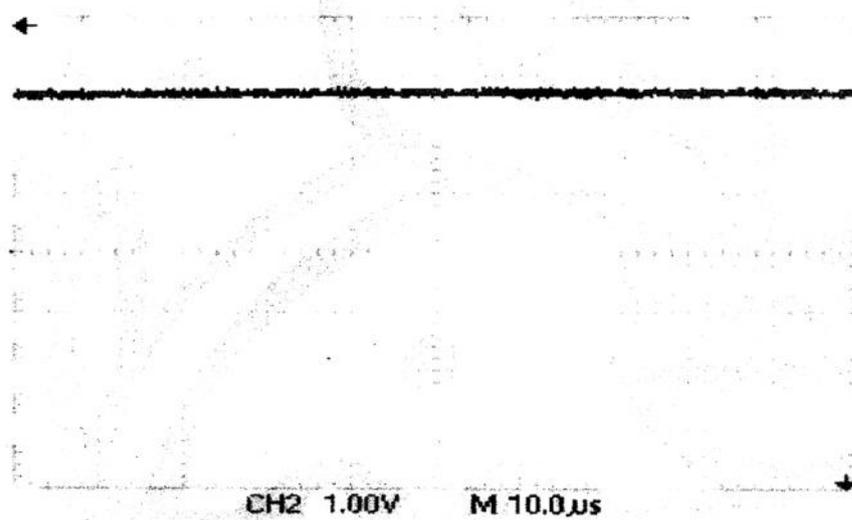
Gambar 4.5 sampai 4.7 menunjukkan penyaklaran pada terminal gate-source mosfet sangat baik. Tidak terdapat spike yang berlebihan. Sekalipun VGS sangat bagus, namun hubungan tegangan masukan dan keluaran pada konverter tidak sesuai dengan duty cycle yang dihasilkan dari PWM mikrokontroler. Hal ini terutama dikarenakan adanya tegangan jatuh pada induktor. Induktor mempunyai komponen resistif sehingga ada rugi-rugi di induktor.

2. Pengujian Arus dan Tegangan Masukan dan Keluaran

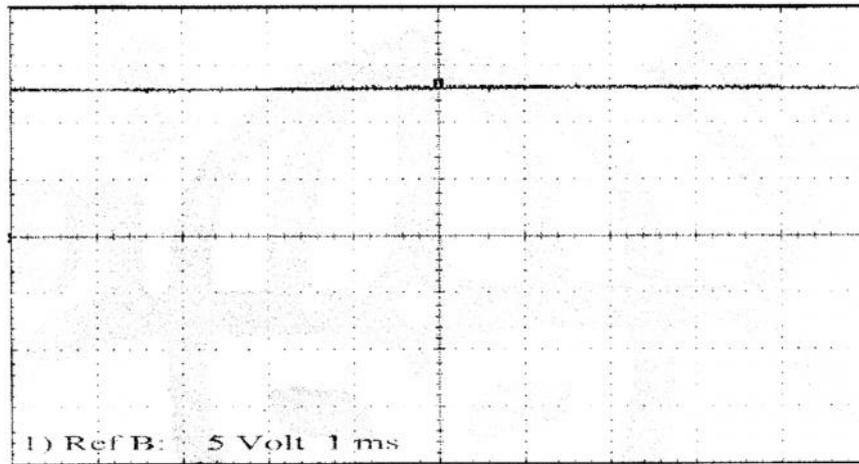
Dengan skema pengujian seperti gambar 4.4, maka dilakukan pengamatan terhadap arus dan tegangan masukan dan keluaran konverter arus searah-arus searah penurun tegangan.



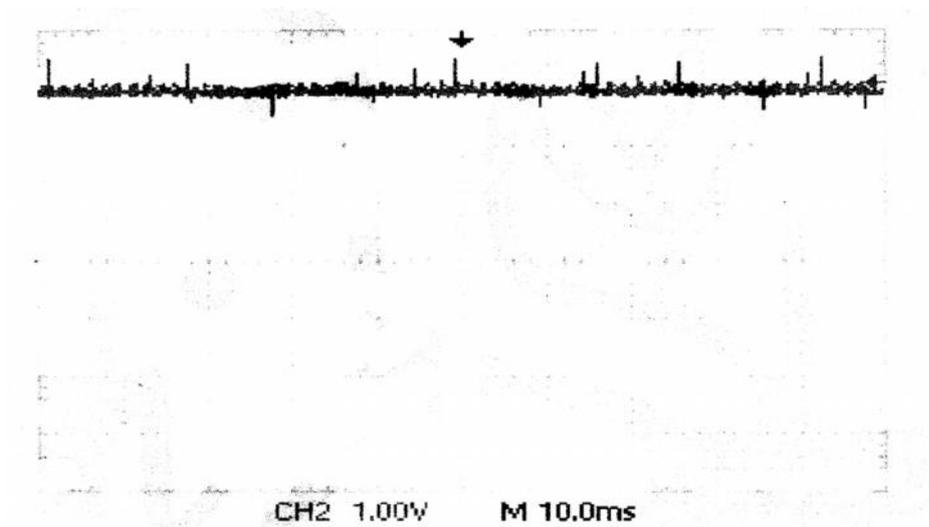
Gambar 4.8 Tegangan masukan konverter



Gambar 4.9 Arus masukan konverter (keterangan: 1 V = 0,5 A)



Gambar 4.10 Tegangan keluaran konverter



Gambar 4.11 Arus keluaran konverter (keterangan: 1 V = 0,5 A)

Gambar 4.8 dan 4,9 menunjukkan riak tegangan dan arus masukan hampir tidak terlihat. Gambar 4.10 dan 4.11 menunjukkan riak tegangan dan arus keluaran juga sangat kecil. Hasil ini menunjukkan penggunaan komponen pada konverter arus searah-arusa sudah tepat. Dengan algoritma MPPT P&O, maka deteksi yang sesuai adalah pada sisi masukan yaitu deteksi tegangan masukan dan arus masukan konverter.

3. Pengujian Duty Dycle Terhadap Efisiensi Konverter

Setelah frekuensi penyaklaran ditentukan sebesar 5,4 kHz, maka selanjutnya dilakukan pengambilan data duty cycle terhadap efisiensi pada frekuensi ini. Pengujian dilakukan mulai dari duty cycle 0,66. Pengujian tidak dilakukan di bawah ditty cycle sebesar 0,66 karena tegangan keluaran maksimum dari simulator fotovoltaik sebesar 21 volt berada pada duty cycle ini. Pada pengujian ini, skema pengujian ditunjukkan pada gambar 4.4.

Tabel 4.5 Duty Cycle terhadap efisiensi konverter

D	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	efisiensi (%)
0,66	19,64	0,42	12,67	0,60	92,16
0,70	18,63	0,64	12,69	0,86	91,53
0,74	17,66	0,81	12,70	1,06	94,11
0,78	16,76	0,89	12,70	1,10	93,66
0,82	15,94	0,95	12,71	1,12	94,01
0,86	15,19	0,98	12,72	1,11	94,85
0,90	14,50	1,00	12,71	1,09	95,54
0,94	13,88	1,02	12,71	1,07	96,06
0,98	13,30	1,05	12,70	1,05	95,49

Semakin besar duty cycle, maka semakin besar efisiensi konverter. Dengan melihat nilai tegangan pada MPP, diperkirakan duty cycle pada MPP sebesar 0,7. Sehingga pada saat MPPT bekerja, efisiensi konverter cukup tinggi yaitu sebesar 91 % Efisiensi ini bisa ditingkatkan apabila induktor yang dipakai tidak mengandung komponen resistif yang banyak. Dengan adanya tegangan jatuh pada induktor, maka terdapat rugi-rugi daya yang cukup besar di induktor sehingga mengurangi efisiensi.

C. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian ini bertujuan untuk melihat kemampuan MPPT dalam beroperasi di sekitar MPP. Terdapat dua pengujian yaitu dengan menggunakan multimeter dan osiloskop. Berikut adalah penjelasannya.

1. Pengujian dengan Multimeter

Pengujian dilakukan dengan mengamati tegangan simulator fotovoltaik. Nilai daya untuk tegangan tersebut didapatkan dari tabel 4.1 sampai 4.4. Pengujian dilakukan dimulai dari dua daerah pada kurva I-V yaitu daerah sumber tegangan dan sumber arus.

Pengujian MPPT yang dimulai dari daerah sumber tegangan dilakukan dengan mengatur duty cycle pada mikrokontroler sebesar 0.66. Dengan duty cycle sebesar ini maka MPPT beroperasi mulai dari tegangan simulator fotovoltaik sebesar 19 volt Hasil pengujian MPPT yang dimulai dari daerah sumber tegangan ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.6 Hasil pengujian MPPT yang dimulai dari daerah sumber tegangan

Resistansi pembatas arus (Ω)	Tegangan MPP (Volt)	Daya MPP (Watt)	Tegangan operasi (Volt)	Daya (Watt)	Keakuratan (%)
0,2	14	26,60	15-16	24,16	90,83
0,3	16	20,16	16	20,16	100,00
0,47	16	14,28	16	14,08	98,60
0,56	17	12,92	16,5-17,5	12,80	99,07

Pengujian MPPT yang dimulai dari daerah sumber arus dilakukan dengan mengatur duty cycle pada mikrokontroler sebesar 0,90. Dengan duty cycle sebesar ini maka MPPT beroperasi mulai dari tegangan simulator

fotovoltaik sebesar 13 volt. Tabel 4.8 menunjukkan hasil pengujian MPPT yang dimulai dari daerah sumber arus.

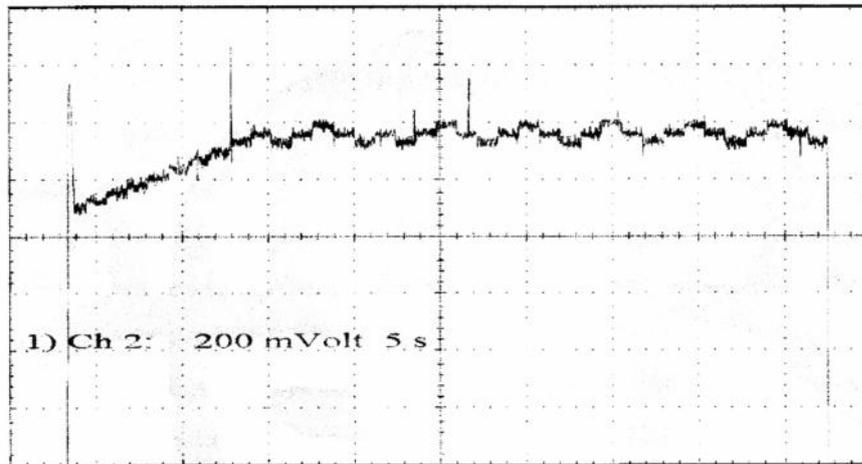
Tabel 4.7 Hasil pengujian MPPT yang dimulai dari daerah sumber arus

Resistansi pembatas arus (Ω)	Tegangan MPP (Volt)	Daya MPP (Watt)	Tegangan operasi (Volt)	Daya (Watt)	Keakuratan (%)
0,2	14	26,60	14	26,60	100,00
0,3	16	20,16	16	20,16	100,00
0,47	16	14,28	16,5-17,5	14,28	98,60
0,56	17	12,92	16-17	12,92	99,07

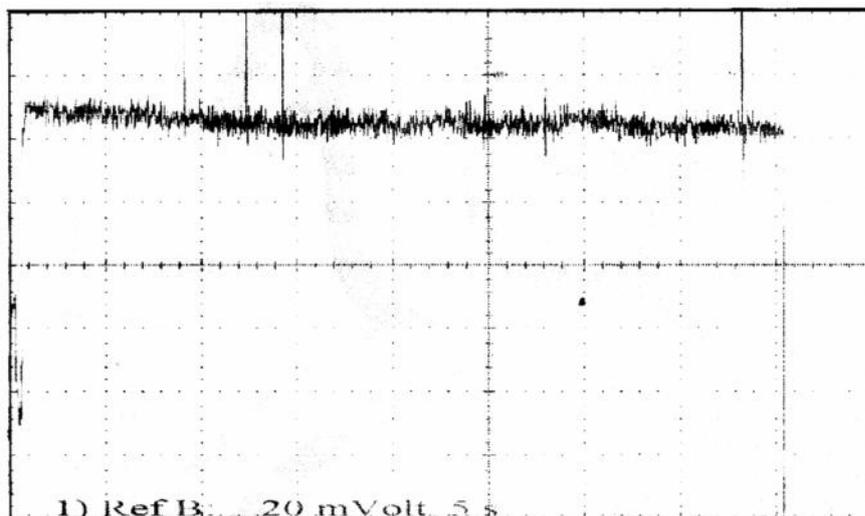
Hasil yang ditunjukkan pada kolom tegangan menunjukkan nilai tegangan pada rentang tertentu dimana MPPT beresilasi. Osilasi ini disebabkan tegangan dan arus yang dideteksi tidak begitu halus sehingga ada sedikit kesalahan. Sedangkan nilai daya yang dicantumkan adalah daya terendah pada rentang tegangan tersebut. Dengan pengujian ini telah ditunjukkan MPPT mampu mencapai MPP dengan keakuratan dari 90 sampai 100 % untuk berbagai kondisi.

2. Pengujian dengan Osiloskop

Dengan osiloskop, perubahan nilai tegangan dan arus simulator fotovoltaik untuk mencapai MPP menjadi lebih mudah untuk diamati. Pengujian dilakukan dari awal sampai MPPT bekerja di sekitar MPP. Pada pengujian ini MPPT mulai bekerja pada daerah sumber arus. Perubahan tegangan dalam mencapai MPPT ditunjukkan pada gambar 4.12, sedangkan perubahan arus ditunjukkan pada gambar 4.13.



Gambar 4.12 Perubahan tegangan simulator fotovoltaik yang dimulai dari daerah sumber arus



Gambar 4.13 Perubahan arus simulator fotovoltaik yang dimulai dari daerah sumber arus

Gambar 4.12 menunjukkan perubahan tegangan simulator fotovoltaik menuju MPP dan selanjutnya beresilasi di sekitarnya- Karena dimulai dari daerah sumber arus maka tegangan simulator fotovoltaik meningkat sampai tegangan MPP. Sedangkan pada gambar 4.13 ditunjukkan perubahan arus simulator fotovoltaik menuju MPP dan selanjutnya beresilasi di sekitarnya.

Perubahan arus simulator fotovoltaik memang tidak begitu jelas terlihat. Hal ini disebabkan titik awal MPPT mulai bekerja adalah pada daerah sumber arus linear. Dari pengujian ini telah ditunjukkan kemampuan MPPT untuk beroperasi di sekitar MPP

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil kajian dan pengujian, penulis mengambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Riak tegangan dan arus masukan hampir tidak terlihat dan riak tegangan dan arus keluaran juga sangat kecil. Hasil ini menunjukkan penggunaan komponen pada konverter arus searah sudah tepat
2. Resistansi $0,2 \Omega$ menunjukkan karakteristik fotovoltaiik pada kondisi maksimum yaitu pada 1000 W/m^2 Begitu pula dengan nilai tegangan, arus dan daya lebih tinggi, Sedangkan nilai resistansi $0,3 \Omega$ merepresentasikan intensitas matahari di bawah 1000 W/m^2 dan nilai tegangan, arus dan daya lebih rendah / kecil.
3. Hasil perancangan menunjukkan modul fotovoltaiik beroperasi di sekitar MPP dari 90 sampai 100 % pada saat MPPT bekerja.
4. Efisiensi konverter arus searah penurun tegangan dari hasil perancangan adalah sekitar 90%.

B. Saran

Beberapa saran terkait penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Penggunaan deteksi arus yang lebih baik akan meningkatkan keakuratan MPPT.

2. Pemilihan komponen pada konverter arus searah-arus searah penurun tegangan dapat meningkatkan efisiensi konverter arus searah-arus searah penurun tegangan.
3. Penelitian selanjutnya yang bisa dilakukan adalah perancangan MPPT untuk modul fotovoltaik yang terhubung dengan jaringan listrik PLN.

DAFTAR PUSTAKA

- Bose B. K., Szezesny P. M., and Steigerwald R. L. Microcontroller Control of Residential Photovoltaic Power Conditioning System. IEEE Trans. Ind. Applicat, vol. IA-21, pp. 1182-1191. 1985
- Hussein K.K., Muta I., Hoshino T., and Osakada M. Maximum Photovoltaic Power Tracking: An Algorithm For Rapidly Changing Atmospheric Conditions. IEE Proc,-Gener. Transm. Distrib., Vol. 142, No. 1, January 1995, pp 59-64
- Koutroulis £., Kalaitzakis K., and Voulgaris N. G Development of a Microcontroller-Based, Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System. IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 16No. 1, January 2001, pp46-54
- Messenger Roger A., Ventre Jerry. Photovoltaic Systems Engineering, 2; edition. CRC Press. 2005
- Mohan, N., etal.(1995). "Power Electronics — Converter, Applications, and Design ", 2n Edition. John Wiley&Sons Inc. Canada
- Rashid, Muhammad H. Power Electronics Circuits, Devices, And Applications Second Edition, Prentice Hall International, Inc., U.S.A., 1995