



TESIS - TE 142599

Photovoltaic Pulse Charge untuk Konfigurasi
Penyimpanan Energi melalui Konsep *Charge
Management* pada Sistem PV *Standalone*

BUDI AMRI
2214201007

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Soedibyo. M.MT

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



TESIS - TE 142599

***PHOTOVOLTAIC PULSE CHARGE FOR
ENERGY SAVING CONFIGURATION By
CHARGE MANAGEMENT CONCEPT ON PV
STANDALONE SYSTEM***

BUDI AMRI
2214201007

ADVISOR
Dr. Ir. Soedibyo. M.MT

MAGISTER PROGRAM
POWER SYSTEM ENGINEERING
ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL
TECHNOLOGY INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
BUDI AMRI
NRP. 2214201007

Tanggal Ujian : 24 Juni 2016
Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh:

1. Dr. Ir. Soedibyo, M.MT (Pembimbing)
NIP. 1955 12 07 1980 03 1004
2. Prof. Dr. Eng. Ir. Imam Robandi, MT. (Penguji)
NIP. 1963 08 17 1990 03 1001
3. Prof. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng, Ph.D (Penguji)
NIP. 1965 10 12 1990 03 1003
4. Dr. I Made Yulistya Negara, ST, M.Sc (Penguji)
NIP. 1970 07 12 1998 02 1001
5. Dedet C. Riawan, ST, M.Eng, Ph.D. (Penguji)
NIP. 1973 11 19 2000 03 1001



Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D
NIP. 1960 12 02 1987 01 1001

***PHOTOVOLTAIC PULSE CHARGE* UNTUK KONFIGURASI
PENYIMPANAN ENERGI MELALUI KONSEP *CHARGE MANAGEMENT*
PADA SISTEM PV *STANDALONE***

Nama Mahasiswa : Budi Amri
NRP : 2214201007
Pembimbing : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT

ABSTRAK

Sistem pengisian arus listrik ke baterai dari sumber PV dengan teknik pengisian pulsa dilakukan untuk mendistribusikan arus listrik tinggi ke baterai tanpa menyebabkan kerusakan fungsi dan kinerja baterai melalui proses bervariasi lebar pulsa, teknik bervariasi lebar pulsa adalah teknik mengatur durasi waktu arus yang terdiri dari T_{on} , T_{disc} dan T_{break} melalui pengendalian saklar elektronik, keuntungan teknik ini adalah terdapat waktu jeda (*break*) bagi baterai dalam proses menstabilkan elektroda selain itu tingkat kenaikan suhu baterai kecil saat proses *charging* berlangsung. Konsep manajemen pengisian baterai dalam sistem ini adalah proses pengisian tiga unit baterai yang berlangsung secara *independent*. Saat salah satu baterai berada dalam kondisi penuh, sistem akan memutuskan jalur pengisian dan dua unit baterai yang lain tetap menjaga proses pengisian tanpa terpengaruh oleh pergantian baterai. Penerapan konsep ini bertujuan untuk mempertahankan keseimbangan daya pada PV agar tetap kontinu menyuplai energi pada titik maksimum. Implementasi konverter sepic dengan daya 80W diperoleh rata-rata hasil tracking MPP PV yang terukur sebesar 36,3W dan efisiensi konverter diperoleh >74% dengan arus rata-rata pengisian pada baterai-1, 12V/5Ah sebesar 1,83A, baterai-2 sebesar 1,7A dan baterai-3 sebesar 1,07A, sedangkan saat sistem beralih ke metode *constant voltage* diperoleh arus pengisian sebesar 1.10A. Perbandingan hasil simulasi antara metode MPPT dan *constant voltage* diperoleh tingkat rata-rata kenaikan SOC baterai pada metode MPPT sebesar 0,053% dan *constant voltage* sebesar 0,024% dalam durasi pengisian 6 detik pada iradian $1000W/m^2$ dan suhu $25^{\circ}C$.

Kata kunci : Baterai, konverter sepic, MPPT, *constant voltage*, tegangan, arus, SOC

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

***PHOTOVOLTAIC PULSE CHARGE FOR ENERGY SAVING
CONFIGURATION By CHARGE MANAGEMENT CONCEPT
ON PV STANDALONE SYSTEM***

Student Name : Budi Amri
NRP : 2214201007
Advisor : Dr. Ir. Soedibyو, M.MT

ABSTRACT

Charging systems for battery electric current from the PV source with pulse charging technique was done to distribute high electric current to the battery without causing damage to the functionality and performance of the battery through a process to vary the pulse width, the technique of pulse widths vary was a technique to adjust the duration time of battery charging that consist T_{on} , T_{disc} and T_{break} through the control of electronic switches. This technical advantage was there a time break for the battery in the process of stabilizing the electrode, in addition to the rate of temperature increase was small when battery charging process takes place. The concept of charge management was the process of charging three battery units independently, when one battery was in full condition, the system will break the line charge and two other units that keep the battery charging process without being influenced by the change of battery. The application of this concept aims to maintain the balance of power in order to keep a continuous supply of PV energy at the point of maximum. Implementation of the SEPIC converter with power 80W was obtained MPP PV average of 36.3W and converter efficiency obtained >74% with an average charging current to the battery-1 12V/5Ah of 1.83A, battery-2 of 1,7A and battery-3 of 1,07A, when the system switches to constant voltage method obtained charging current of 1.10A. Comparison of simulation results between constant voltage method and MPPT is gaining an average rate of increase in the battery SOC by 0.053% at MPPT method and constant voltage was 0,024% in the duration 6s on radiant $1000W/m^2$ and temperature 25^0C .

Keyword : Battery, sepic, boost converters, MPPT, constant voltage, current, SOC.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR ISI

Halaman

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xixvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Kontribusi Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Photovoltaic</i>	6
2.2 Konverter Boost	8
2.3 Konverter Sepic.....	10
2.4 Karakteristik Baterai	15
2.4.1 <i>State Of Charge</i> Baterai.....	16
2.4.2 <i>Dept Of Discharge</i> Baterai	18
2.5 Arus Pengisian Pulsa.....	18
2.6 Fuzzyfikasi	20
2.6.1 <i>Rule Base</i>	22
2.6.2 Defuzzyfikasi	23
BAB III DESAIN SISTEM PHOTOVOLTAIC CHARGE PULSED DENGAN KONSEP MANAGEMENT PENGISIAN BATERAI	25
3.1 Perancangan Sistem	25
3.2 Spesifikasi <i>Photovoltaic</i>	26
3.3 Pemodelan Baterai	27
3.5 Konverter DC-DC Sepic	29

3.6	Konverter DC-DC Boost.....	32
3.7	Sensor Arus ACS712	33
3.8	Rancang Bangun Mikrokontroler.....	34
3.9	Perancangan kontroller <i>Fuzzy</i> dengan <i>Perturb and Observe</i>	36
BAB IV SIMULASI, PENGUJIAN DAN ANALISA DATA.....		45
4.1	Simulasi Kinerja MPPT PV	45
4.1.1	Simulasi Kinerja MPPT PV Saat Kondisi Iradian dan temperatur berbeda	45
4.1.2	Simulasi Kinerja MPPT PV Saat Kondisi Dinamis.....	49
4.2	Simulasi <i>Photovoltaic Pulse Charge</i> Dengan Konsep <i>Charge Management</i>	51
4.2.1	Simulasi Konverter Sepic	51
4.2.2	Simulasi Konverter Boost.....	52
4.2.3	Simulasi <i>Photovoltaic Pulse Charge</i> Menggunakan Baterai 12V/5A.....	53
4.2.4	Simulasi <i>Photovoltaic Pulse Charge</i> Saat Salah Satu SOC Baterai Mencapai Maksimum.....	56
4.3	Perbandingan Tingkat Kenaikan SOC Baterai Antara Meto de MPPT dan <i>Constan Voltage</i> Pada PPC	60
4.4	Implementasi Konsep Manajemen Pengisian Baterai Pada Sistem PV <i>Standalone</i>	62
4.4.1	Pengujian Karakteristik <i>Photovoltaic (PV)</i>	62
4.4.2	Pengujian Sensor Tegangan.....	65
4.4.3	Pengujian Sensor Arus.....	66
4.4.4	Pengujian Sinyal PWM dan Pensaklaran.....	68
4.4.5	Pengujian Konverter DC-DC Sepic	69
4.4.6	Arus Induktor dan Tegangan Keluaran Sepic	71
4.4.7	Rasio Konverter Sepic	72
4.4.8	Pengujian Konverter DC-DC Boost.....	73
4.4.8	Arus Induktor dan Rasio Konverter Boost.....	74
4.5	Pengujian SOC Baterai Kapasitas 12V/5Ah	75
4.6	Pengujian Sistem Integrasi <i>Photovoltaic Pulse Charge</i>	77
BAB V KESIMPULAN		83
5.1	Kesimpulan	83
5.2	Saran.....	84

DAFTAR PUSTAKA	85
ADENDUM.....	87
INDEKS	89
BIOGRAFI PENULIS	91

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Konfigurasi konsep manajemen pengisian baterai	6
Gambar 2. 2	Rangkaian ekivalen sel surya	6
Gambar 2. 3	Kurva karakteristik PV: Kurva daya terhadap tegangan	7
Gambar 2. 4	Rangkaian konverter boost	8
Gambar 2. 5	Sinyal arus induktor konverter boost.....	9
Gambar 2. 6	Rangkaian konverter DC-DC sepic	10
Gambar 2. 7	Saklar kondisi tertutup.....	11
Gambar 2. 8	Saklar kondisi terbuka	12
Gambar 2. 9	Konstruksi aki sederhana	15
Gambar 2. 10	Cara kerja akumulator baterai	16
Gambar 2. 11	Siklus pengisian tiga unit baterai	20
Gambar 2. 12	Fungsi keanggotaan gaussian	21
Gambar 2. 13	Fungsi keanggotaan trapezium	21
Gambar 2. 14	Fungsi keanggotaan segitiga	21
Gambar 2. 15	Input fuzzy dengan tiga fungsi keanggotaan	22
Gambar 3. 1	Sistem blok konsep manajemen pengisian baterai	25
Gambar 3. 2	Pemodelan baterai pada PSIM 9.0.....	28
Gambar 3. 3	Rangkaian Pembagi tegangan	29
Gambar 3. 4	Rangkaian konverter DC-DC sepic	30
Gambar 3. 5	Rangkaian konverter DC-DC boost.....	32
Gambar 3. 6	Modul sensor arus Allegro ACS712	33
Gambar 3. 7	IC CMOS OPA344.....	34
Gambar 3. 8	Blok diagram perencanaan mikrokontroler ATMEGA16.....	35
Gambar 3. 9	Diagram alir <i>perturb and observe method</i>	37
Gambar 3. 10	Kontroler Fuzzy.....	38
Gambar 3. 11	<i>Membership</i> a). <i>input error</i> , b) perubahan <i>error</i> Δe , c) <i>output duty cycle</i>	38
Gambar 3. 12	<i>Flowchart</i> mode pengisian baterai dan proses sensing persen tase SOC baterai	40

Gambar 3. 13	<i>Flowchart</i> pengisian baterai menggunakan mode-1.....	41
Gambar 3. 14	<i>Flowchart</i> pengisian baterai a) mode-2. b) mode-3	42
Gambar 3. 15	<i>Flowchart</i> pengisian baterai menggunakan mode-4 dan <i>constant voltage</i>	43
Gambar 4. 1	Sistem MPPT menggunakan konverter <i>DC-DC</i> sepic	46
Gambar 4. 2	MPPT PV: daya PV pada saat 25°C dan 1000 W/m ²	46
Gambar 4. 3	MPPT PV: daya PV pada saat 40°C dan 1000 W/m ²	46
Gambar 4. 4	Daya keluaran konverter sepic saat 25°C, dan iradiant 1000 W/m ²	48
Gambar 4. 1	Daya keluaran konverter sepic saat 25°C, dan iradiant 1000 W/m ²	48
Gambar 4. 6	Daya maksimum PV saat kondisi dinamis	49
Gambar 4. 7	MPPT PV: daya PV pada saat 40°C dan 1000 W/m ²	50
Gambar 4. 8	Daya MPPT PV dan daya output konverter DC-Dc sepic	50
Gambar 4. 9	Rangkaian terintegrasi <i>photovoltaic pulse charge</i>	51
Gambar 4. 10	Sinyal PWM, ripple arus induktor (I_Induktor) dan ripple tegangan output konverter sepic	52
Gambar 4. 11	Sinyal PWM, ripple arus induktor (I_Induktor) dan ripple tegangan output konverter boost	53
Gambar 4. 12	a) Hasil tracking MPPT PV. b),c), arus pengisian dan SOC baterai-1, d),e) arus pengisian dan SOC baterai-2. f),g) arus pengisian dan SOC baterai-3	55
Gambar 4. 13	a) Hasil tracking MPPT PV. b),c), arus pengisian dan SOC baterai-1, d),e) arus pengisian dan SOC baterai-2. f),g) arus pengisian dan SOC baterai-3	56
Gambar 4. 14	a) Hasil tracking MPPT PV. b),c), arus pengisian dan SOC baterai-1, d),e) arus pengisian dan SOC baterai-2. f),g) arus pengisian dan SOC baterai-3 saat peralihan dari metode MP...59	
Gambar 4. 15	Tingkat kenaikan tegangan dan persentase SOC. a) baterai-1, b) baterai-2, c) baterai-3 antara metode MPPT dan <i>constant voltage</i>	61
Gambar 4. 16	Rangkaian pengujian PV dengan beban resistor geser.....	62
Gambar 4. 17	Kurva karakteristik I-V dan P-V saat pengujian	64

Gambar 4. 18 Pengujian sensor tegangan	65
Gambar 4. 19 Karakteristik sensor tegangan.....	66
Gambar 4. 20 Modul Sensor Arus ACS 712.....	67
Gambar 4. 21 Pengujian sinyal PWM dan pensaklaran	68
Gambar 4. 22 Sinyal PWM dan sinyal V_{DS} MOSFET saat duty cycle 30%.....	68
Gambar 4. 23 Pengujian Effisiensi konverter <i>SEPIC</i> pada V_{in} 17V dan 20V	70
Gambar 4. 24 Pengujian konverter <i>SEPIC</i> secara fungsional.....	70
Gambar 4. 25 Pengujian sinyal PWM konverter <i>SEPIC</i> dan arus Induktor a) L_1 , b) L_2	71
Gambar 4. 26 Pengujian sinyal keluaran konverter <i>SEPIC</i> saat dutycycle 0.4.	72
Gambar 4. 27 Grafik rasio konversi tegangan konverter sepic	72
Gambar 4. 28 Pengujian konverter DC-DC boost.....	73
Gambar 4. 29 Pengujian konverter <i>Boost</i> : sinyal PWM dan arus Induktor	74
Gambar 4. 30 Grafik rasio konversi tegangan konverter boost	75
Gambar 4. 31 Grafik a) Charging, b) Discharging baterai 12V/5Ah	76
Gambar 4. 33 Hasil pengujian sistem terintegrasi <i>photovoltaic pulse charge</i> a) arus charging baterai, b) tegangan baterai.....	76
Gambar 4. 34 Gambar 4.34 Arus pengisian tiga unit baterai: a) baterai-1 dan 2 b) baterai-1 dan 3, c) baterai-2 dan 3.	77
Gambar 4. 35 a) Arus pengisian baterai-2 dan baterai-3 b) pemindahan metode MPPT ke <i>constan voltage</i>	79
Gambar 4. 28 Pengujian konverter DC-DC boost.....	81
Gambar 4. 29 Pengujian konverter <i>Boost</i> : sinyal PWM dan arus Induktor (L)	82

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	<i>State of Charge Acumulator</i> Standar Baterai	17
Tabel 2. 2	<i>Depth of Discharge</i> Baterai.....	18
Tabel 3. 1	Datasheet PV GH Solar GH80P-18	26
Tabel 3. 2	Perencanaan koneksi port mikrokontroler.....	35
Tabel 3. 3	<i>Rule Base Fuzzy</i>	39
Tabel 4. 1	Parameter PV dan Konverter Sepic.....	45
Tabel 4. 2	Perbandingan daya maksimum PV dan daya MPPT.....	47
Tabel 4. 3	Perbandingan daya MPPT PV dengan daya keluaran sepic.....	49
Tabel 4. 4	Parameter konverter DC-DC	51
Tabel 4. 5	Pengujian karakteristik modul PV Daya 80W	62
Tabel 4. 6	Pengujian Sensor Tegangan	65
Tabel 4. 7	Pengujian Sensor Arus	67
Tabel 4. 8	Pengujian konverter <i>sepic</i> secara fungsional	69
Tabel 4. 9	Hasil Pengujian konverter boost	73
Tabel 4.10	Pengujian SOC baterai kapasitas 12V/5Ah	75
Tabel 4. 11	Hasil pengujian sistem terintegrasi <i>photovoltaic pulsed charge</i> dengan menggunakan baterai 12 Volt sebanyak 3 unit	77

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

PV	= <i>Photovoltaic</i>
MPPT	= <i>Maximum power point tracking</i>
V_{mp}	= Tegangan pada daya maksimum sel surya
I_{mp}	= Arus pada daya maksimum sel surya
V_{oc}	= Tegangan <i>open circuit</i> sel surya
I_{sc}	= Arus <i>short circuit</i> sel surya
$I_{cell,p}$	= Arus keluaran sel surya
I_{ph}	= <i>Photocurrent</i>
V_{cell}	= Tegangan output sel surya
I_s	= Saturasi arus balik sel surya
T	= Temperature sel surya
k	= Konstanta Boltzman's
q	= Muatan elektron
n	= Konstanta kualitas dioda
R_s	= Resistansi seri
R_p	= Resistansi paralel
DC	= <i>Dirrect Current</i>
P	= Daya PV
V	= Tegangan PV
V_{maks}	= Tegangan maximum PV
I_{maks}	= Arus maximum PV
L	= Induktor
C	= Kapasitor
V_L	= Tegangan pada induktor
V_{DC}	= Tegangan sumber DC
D	= <i>Duty cycle</i>
V_{out}	= Tegangan keluaran konverter
I_{out}	= Arus keluaran konverter

I_{in}	= Arus masukan konverter
V_S	= Tegangan sumber
V_{C1}	= Tegangan pada kapasitor C_1 konverter
V_{C2}	= Tegangan pada kapasitor C_2 konverter
V_{L1}	= Tegangan pada induktor L_1 konverter
V_{L2}	= Tegangan pada induktor L_2 konverter
V_D	= Tegangan dioda
Δi_{L1}	= Perubahan arus induktor L_1
I_{Drms}	= Arus dioda konverter
I_{Crms}	= Arus kapasitor konverter
η	= Efisiensi
PWM	= <i>Pulse Width Modulation</i>
P&O	= <i>Perturb and Observe</i>
E_0	= Tegangan konstan
K	= Konstanta polarisasi atau hambatan polarisasi baterai
i^*	= Arus dinamik pada frekuensi rendah baterai
i	= Arus baterai
it	= Kapasitas yang keluar dari baterai
Q	= Kapasitas baterai maksimum
A	= Tegangan eksponensial baterai
B	= Kapasitas eksponensial baterai
SOC	= <i>State of Charge</i> baterai
T_a	= Lamanya pengisian arus baterai
A_h	= Besarnya kapasitas baterai
A	= Besarnya arus pengisian baterai
T_d	= Lamanya pengisian daya baterai
T_{P2}	= Periode pulsa pengisian 3 unit baterai
T_{P1}	= Periode <i>duty cycle</i> konverter
p_1	= Jumlah pulsa kecil saat pengisian baterai-1
p_2	= Jumlah pulsa kecil pengisian baterai-2
p_3	= Jumlah pulsa kecil saat pengisian baterai-3

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baterai merupakan komponen penyimpan energi listrik yang bersifat *portable*, melalui proses kimia energi listrik dapat tersimpan dan digunakan pada waktu yang lain. Saat ini penggunaan baterai sangatlah penting karena sifat baterai yang memiliki mobilitas sangat tinggi, apalagi dengan perkembangan teknologi baterai yang melahirkan baterai dapat diisi kembali sehingga memungkinkan untuk menggunakannya berulang kali [1]. Konverter mempunyai peran penting dalam regulasi baterai pada *renewable energy*. Baterai lithium ion dan lithium iron sering digunakan pada aplikasi daya yang besar, salah satunya baterai jenis *lead-acid* masih disukai dan populer digunakan karena keandalannya dan murah [2].

Penelitian tentang *photovoltaic pulse charge* dengan menggunakan konsep manajemen pengisian baterai dilakukan untuk mendistribusikan arus listrik tinggi ke baterai tanpa menyebabkan kerusakan fungsi dan kinerja baterai, pengisian arus tinggi dengan teknik pulsa ini dapat mengatasi terjadinya penumpukan timbal sulfat pada elektroda baterai (*sulfation*), terutama elektroda negatif karena baterai diisi dan dikosongkan dengan teknik pulsa, pengisian dengan arus pulsa ini juga merupakan cara yang efektif untuk menunda proses kristalisasi dan meminimalkan pengembangan lapisan PbO₂ selama siklus pengisian. Ada dua tipe konverter DC-DC yang digunakan dalam sistem ini yaitu tipe konverter step yang berfungsi untuk memaksimalkan daya keluaran PV dengan metode MPPT dan tipe yang kedua adalah konverter boost yang berfungsi menaikkan nilai tegangan sumber untuk melakukan teknik *burp charge* pada baterai.

Konsep manajemen pengisian baterai yang diterapkan dalam penelitian ini berfungsi untuk menjaga keseimbangan daya dari PV, dengan menggunakan tiga unit baterai maka daya keluaran dari PV akan tetap tersimpan melalui proses pengisian baterai dan tidak ada yang terbuang baik saat kondisi *break* ataupun baterai dalam kondisi terisi penuh, pengaturan pengisian arus listrik ke baterai dilakukan satu per satu dalam interval waktu yang berbeda, saat salah satu unit

baterai berada dalam kondisi penuh maka daya keluaran dari PV akan tersimpan pada unit baterai yang lainnya dengan mengalihkan pengisian pada baterai yang tersisa tanpa terpengaruh oleh pergantian baterai, dengan kata lain, pengisian tiga unit baterai berlangsung secara *independent*, dimana salah satu baterai bisa diganti jika sudah terisi penuh. Teknik *pulse charge* dipilih karena tingkat pengisian (rata-rata arus) dapat dikendalikan dengan memvariasikan waktu lebar pulsa, selama proses pengisian terdapat waktu jeda, jeda ini diberikan untuk memungkinkan terjadinya reaksi kimia pada baterai dalam proses menstabilkan elektroda, sehingga kinerja baterai tetap terjaga sesuai masa usia pemakaiannya (*lifetime*).

Sistem ini juga difasilitasi fungsi pemutusan jalur arus listrik yang masuk ke baterai secara otomatis di saat tegangan baterai mencapai batas maksimal. Sistem manajemen penyimpanan energi listrik dengan sumber listrik dari *photovoltaic* diharapkan dapat diterapkan pada stasiun pertukaran baterai untuk pelayanan kendaraan listrik ataupun pada pembangkit hybrid dan *renewable energy* yang murah dan ramah lingkungan, selain itu juga dapat memberikan manfaat sebagai energi alternatif bagi masyarakat daerah terpencil dan pesisir yang belum terjangkau jaringan listrik baik dari pemerintah maupun pihak swasta..

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini merupakan upaya untuk mendapatkan daya optimum dari PV untuk proses penyimpanan energi ke baterai melalui konsep manajemen pengisian, adapun rumusan masalah diantaranya:

1. Mendesain skema sistem manajemen pengisian arus listrik baterai secara *hardware*.
2. Memonitoring parameter baterai berupa nilai tegangan pada saat proses pengisian arus listrik berlangsung
3. Membuat sistem pengontrolan pemutusan jalur arus masuk ke baterai secara otomatis di saat level tegangan baterai mencapai batas maksimal.
4. Membuat perangkat lunak *soft computing* untuk mengimplementasikan konsep manajemen pengisian dalam proses penyimpanan energi.

1.3 Tujuan

Dalam penelitian ini tujuan yang ingin dicapai diantaranya

1. Mengetahui hasil dari penggunaan konverter DC-DC sepic saat diaplikasikan pada *photovoltaic*.
2. Dengan teknik bervariasi lebar pulsa maka tingkat pengisian arus listrik ke baterai dapat dikendalikan dan kondisi *over charging* dapat dihindari.
3. Mengetahui perbandingan kenaikan persentase SOC baterai antara metode MPPT dan *constant voltage* saat proses pengisian berlangsung

1.4 Batasan Masalah

Untuk memudahkan penelitian dan mendapatkan hasil yang baik maka penelitian ini ditetapkan beberapa batasan masalah diantaranya

1. Implementasi MPPT PV dengan menggunakan konverter DC-DC tipe sepic
2. Kontroler yang digunakan dalam sistem ini adalah mikrokontroler ATmega 16 dengan koding bahasa C dan kompiler Codevision.
3. Sistem pengisian arus listrik ke baterai menggunakan teknik *pulse charge* dan dilakukan dalam interval waktu yang berbeda
4. Penelitian ini tanpa memperhatikan harmonisa pada keluaran PV dan konverter.

1.5 Kontribusi

Kontribusi yang diharapkan dapat diberikan dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini mengimplementasikan konverter sepic untuk MPPT menggunakan metode P&O dan *fuzzy rule* dengan beban tiga unit baterai.
2. Penelitian ini dapat diterapkan pada stasiun pertukaran baterai untuk pelayanan kendaraan listrik ataupun pada sistem hybrid dan *renewable energy* yang ramah lingkungan.
3. Penelitian ini dapat menjadi referensi untuk pengembangan penelitian berikutnya tentang sistem manajemen pengisian arus listrik ke baterai menggunakan teknik *pulse charge*.

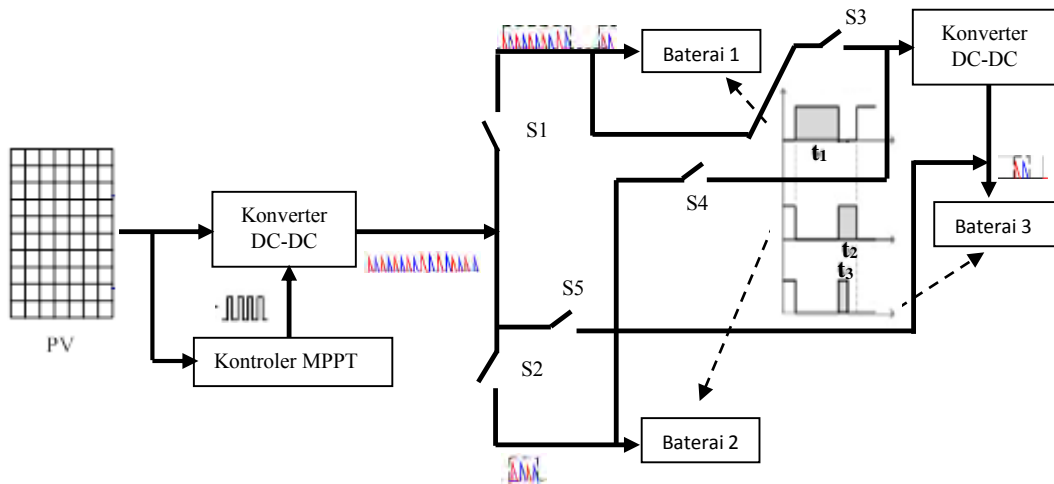
-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Konsep manajemen pengisian adalah proses pengaturan pengisian arus listrik pada baterai yang lebih dari satu dalam durasi waktu yang berbeda dimana penerapan konsep ini bertujuan untuk menjaga keseimbangan daya dari PV [2]. Proses manajemen pengisian arus listrik tersebut diilustrasikan seperti pada gambar 2.1. Konsep manajemen pengisian dilakukan oleh kontroler dengan mengaktifkan masing-masing sakelar elektronik yang terhubung dengan jalur baterai, dengan menggunakan tiga unit baterai, daya keluaran dari PV akan tetap dapat tersimpan melalui proses *charging* dan tidak ada yang terbuang saat terjadinya kondisi *break* ataupun baterai dalam kondisi terisi penuh

Prinsip kerja dari konsep ini seperti yang terlihat pada gambar 2.1 diawali dengan mengaktifkan saklar S_1 oleh kontroler dalam durasi waktu t_1 untuk proses pengisian pada baterai-1, sedangkan kondisi baterai-2 dan baterai-3 adalah sebaliknya, selanjutnya jalur baterai-1 diputuskan dan dalam waktu bersamaan jalur pengisian baterai-2 dan baterai-3 diaktifkan (saklar S_2 dan S_3 aktif). Proses pengisian baterai-2 berlangsung selama t_2 sedangkan proses pengisian baterai-3 berlangsung dari hasil *discharging* baterai-1 dan baterai-2 selama t_3 , artinya baterai-3 akan menerima energi pembuangan dari kedua unit baterai tersebut, sehingga secara skematik proses manajemen pengisian pada tiga unit baterai berlangsung seperti siklus pulsa. Proses *discharging* baterai-1 dan baterai-2 dilakukan untuk menghindari terjadinya gelembung udara didalam baterai saat proses pengisian arus listrik berlangsung. Proses pengisian tiga unit baterai tersebut berlangsung secara *independent*, artinya pada saat salah satu unit baterai berada dalam kondisi penuh maka kontroler akan memutuskan jalur pengisian dan dua unit baterai yang lain tetap menjaga proses pengisian tanpa terpengaruh oleh pergantian baterai. Pengisian arus listrik pada baterai-2 dan baterai-3 adalah berfungsi untuk mempertahankan keseimbangan daya pada PV agar tetap kontinu menyuplai energi pada titik maksimum.

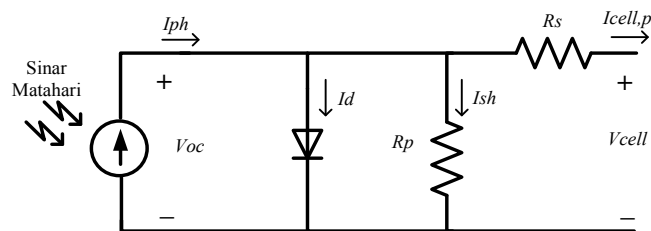


Gambar 2.1 Konfigurasi konsep manajemen pengisian baterai

2.1 Photovoltaic (PV)

Sebuah Silikon sel *photovoltaic* adalah sebuah dioda yang terbentuk dari 3 lapisan atas silikon tipe-n (*silicon doping of phosphorous*), dan lapisan bawah silikon tipe-p (*silicon doping of boron*). Elektron-elektron bebas terbentuk dari jutaan photon atau benturan atom pada lapisan penghubung (*junction = 0,2-0,5 micron*) menyebabkan terjadinya aliran listrik. Untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus yang dibutuhkan maka sel surya harus terkoneksi secara seri dan paralel. Beberapa faktor yang mempengaruhi kerja dari sel surya agar pengoperasiannya dapat mencapai nilai maksimum:

- Suhu permukaan panel surya dan radiasi matahari (iradiasi)
- Kecepatan angin bertiup
- Keadaan atmosfer bumi
- Orientasi panel atau array PV
- Posisi letak sel surya (*array*) terhadap matahari.



Gambar 2.2. Rangkaian ekivalen sel surya [3]

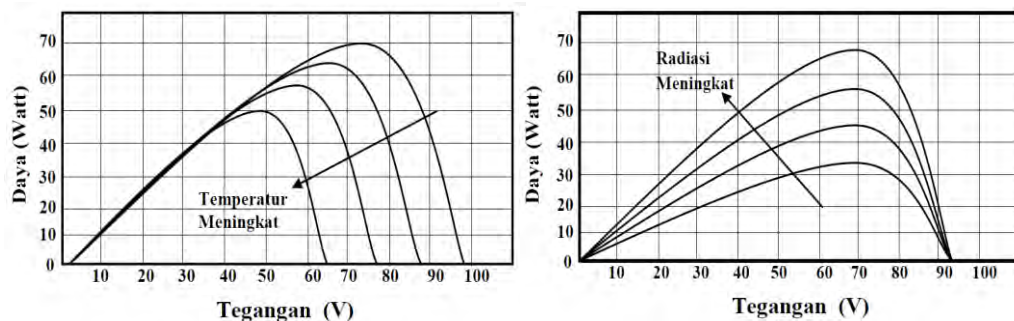
Rangkaian ekivalen sel surya seperti gambar 2.2, dari rangkaian tersebut maka dapat dibuat persamaan karakteristik untuk pemodelan sel surya sebagai berikut [4]:

$$I_{cell,p} = I_{ph} - I_s \left(e^{qV_{cell}/nkT} - 1 \right) - \frac{V_{cell} + R_s I_{cell,p}}{R_p} \quad (2.1)$$

Dengan keterangan:

- $I_{cell,p}$: Arus keluaran sel surya (A)
- I_{sc} : Arus hubung singkat sel surya (A)
- I_{ph} : Photocurrent (A)
- V_{cell} : Tegangan output sel surya (V)
- I_s : Saturasi arus balik sel surya (A)
- T : Temperatur sel surya ($^{\circ}$ K)
- k : Konstanta Boltzman's = $1,38 \times 10^{-23}$
- q : Muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C)
- n : Konstanta kualitas dioda
- R_s : Resistansi seri instrinsic (Ω)
- R_p : Resistansi paralel (Ω)

Pada persamaan 2.1 terdapat dua faktor utama yang mempengaruhi daya keluaran dari sel surya. Pertama adalah iradiasi sinar matahari dan kedua adalah suhu, ketika sinar matahari jatuh ke permukaan sel surya maka arus elektron pada sel surya akan bergerak dan stabil, arus elektron tidak stabil ketika sudut jatuhnya sinar matahari berubah dari kondisi awal, sehingga kondisi cuaca dan lingkungan akan mempengaruhi karakteristik dari PV.

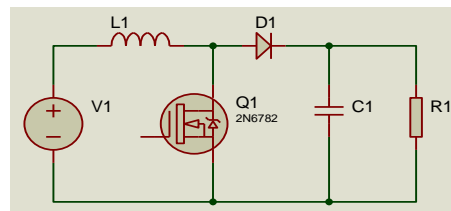


Gambar 2.3. Kurva karakteristik PV: Kurva daya (P) terhadap tegangan (V). [3]

Pada gambar 2.3 memperlihatkan karakteristik PV (P terhadap V) dimana terdapat titik pada saat daya (P) bernilai maksimum, titik ini yang disebut *maximum power point* dimana titik ini didapat dari nilai tegangan maksimum (V_{max}) dikali dengan arus maksimum (I_{max}).

2.2 Konverter Boost

Konverter boost adalah konverter DC ke DC (*DC-DC converter*) yang berfungsi untuk meningkatkan tegangan input melalui pengontrolan sinyal *duty cycle*. Adapun rangkaian ekuivalen konverter DC-DC boost ditunjukkan seperti pada gambar 2.4



Gambar 2.4. Rangkaian konverter boost [4]

Prinsip kerja konverter boost adalah apabila saklar S_1 ditutup selama waktu t_1 , maka arus induktor naik secara linear dan energinya disimpan pada induktor L sehingga berlaku persamaan :

$$V_L = V_{DC} = L \frac{di}{dt} \quad (2.2)$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} \approx \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_{DC}}{L} \quad (2.3)$$

$$(\Delta i_L)_{S_{1on}} = \frac{V_{DC}DT}{L} \quad (2.4)$$

Ketika saklar S_1 dibuka selama waktu t_2 energi yang pada induktor akan disupply ke beban melalui dioda (dioda *forward bias*). Dengan mengasumsi tegangan output bernilai konstan maka tegangan pada induktor adalah:

$$V_L = V_{DC} - V_{out} \approx L \frac{di_L}{dt} \quad (2.5)$$

sehingga

$$\frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{(V_{DC} - V_{out})}{L} \quad (2.6)$$

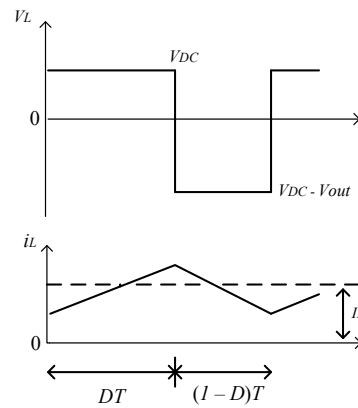
$$\frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{(V_{DC} - V_{out})}{L} \quad (2.7)$$

$$(\Delta i_L)_{sloff} = \frac{(V_{DC} - V_{out})(1-D)T}{L} \quad (2.8)$$

Gambar 2.5 menunjukkan sinyal arus induktor konverter boost, perubahan arus di induktor selama operasi *steady state* pada saat kondisi ON dan OFF sama dengan 0, sehingga tegangan keluarannya dapat dicari dengan mensubtitusikan persamaan 2.4 dan 2.8 dan diperoleh persamaannya menjadi

$$V_{DC}(D+1-D) - V_{out}(1-D) = 0 \quad (2.9)$$

$$V_{out} = \frac{V_{DC}}{1-D} \quad (2.10)$$



Gambar 2.5. Sinyal arus induktor konverter boost

Untuk menghitung nilai komponen rangkaian boost, arus masukan maksimum dan arus keluaran maksimum dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

a. Persamaan nilai arus masukan maksimum (PV) :

$$I_{maks} = \frac{P_{maks}}{V_{maks}} \quad (2.11)$$

b. Persamaan nilai arus luaran maksimum :

$$I_{out} = I_{in} \times \frac{V_{in}}{V_{out} + V_f} \quad (2.12)$$

c. Persamaan nilai arus induktor konverter boost (asumsi *ripple* arus 10%) :

$$\Delta I_L = 0,1 \times I_{maks} = 0,1 \times I_{out} \frac{V_{out} + V_f}{V_{in}} \quad (2.13)$$

d. Persamaan nilai induktor (L) konverter boost

$$L = \frac{V_{in} \times (V_{out} + V_f - V_{in})}{\Delta I_L \times f \times (V_{out} + V_f)} \quad (2.14)$$

e. Persamaan nilai arus dioda konverter *boost* :

$$I_{Drms} = I_{Dpeak} \times \sqrt{D} = \frac{I_{out}}{D} \times \sqrt{D} \quad (2.15)$$

f. Persamaan nilai arus kapasitor konverter *boost* :

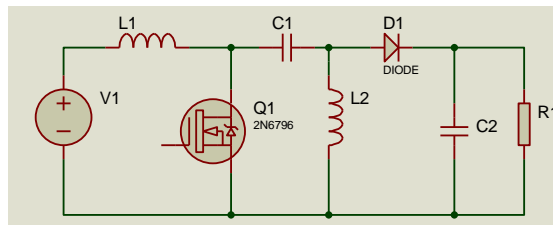
$$I_{Crms} = \sqrt{I_{Drms}^2 - I_{out}^2} \quad (2.16)$$

g. Persamaan nilai kapasitor konverter *boost*:(asumsi *ripple* $\Delta V_o = 0,1\% \times V_{out}$)

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V_o} = \frac{I_{Crms} \times D \times T}{\Delta V_o} \quad (2.17)$$

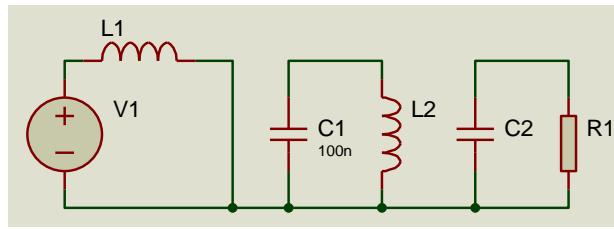
2.3 Konverter Sepic

Sepic (*Single Ended Primary Inductor Converter*) merupakan konverter DC-DC yang dapat difungsikan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan dari tegangan masukan. Polaritas antara tegangan masukan dan kelurannya adalah sama [4]. Rangkaian konverter sepic ditunjukkan pada gambar 2.6. Konverter sepic dapat beroperasi pada kondisi *continuous* dan kondisi *discontinuous*.



Gambar 2.6 Rangkaian konverter DC-DC sepic [5]

Susunan kerja untuk rangkaian konverter sepic pada kondisi *continuous* ditunjukkan pada gambar 2.7, ketika saklar ditutup selama t_1 maka tegangan yang masuk akan disimpan ke induktor L_1 sedangkan induktor yang lain L_2 menyimpan energi dari kapasitor C_1 . Selama periode saklar tertutup, kapasitor C_2 tidak mendapatkan energi karena dioda berada pada kondisi *reverse*. Pada saat saklar terbuka selama t_2 , dioda D berada pada kondisi *forward* maka energi yang tersimpan di kedua induktor ditransfer ke beban dan juga mengisi kapasitor.



Gambar 2.7 Saklar kondisi tertutup

Tegangan pada kapasitor C_1 nilainya sama dengan tegangan pada sumber $V_{C1} = V_s$

Tegangan induktor L_1 didapat dari persamaan berikut

$$V_{L1} = V_s = L_1 \frac{di_L}{dt} (V) \quad (2.18)$$

Perubahan arus induktor L_1

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S}{L_1}$$

$$\Delta i_{L1(Closed)} = \frac{V_S DT}{L_1} (A) \quad (2.19)$$

Tegangan induktor L_2 didapat dari persamaan 2.20

$$-V_{L2} = V_{C1} = L_2 \frac{di_L}{dt} (V) \quad (2.20)$$

Perubahan arus induktor L_2

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{-V_{C1}}{L_2}$$

$$\Delta i_{L2(Closed)} = \frac{-V_{C1} DT}{L_2} (A) \quad (2.21)$$

Keterangan:

V_S : Tegangan sumber (V)

V_{C1} : Tegangan pada kapasitor C_1 (V)

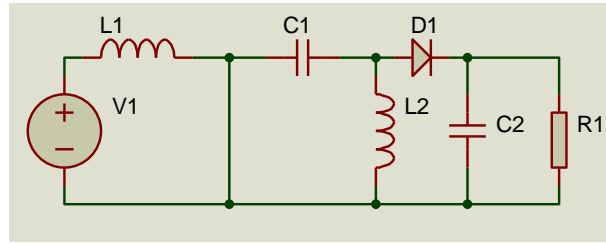
V_{L1} : Tegangan pada induktor L_1 (V)

V_{L2} : Tegangan pada induktor L_2 (V)

D : Duty cycle (%)

Δi_{L1} : Perubahan arus induktor L_1

Ketika saklar kondisi terbuka tegangan pada induktor L_2 nilainya sama dengan nilai tegangan keluaran seperti yang ditunjukkan Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Saklar kondisi terbuka

$$V_{L2} = V_O$$

Tegangan induktor L_1 didapat dari persamaan

$$V_{L1} = V_S - V_{C1} - V_O = L_1 \frac{di_L}{dt} (V) \quad (2.22)$$

Perubahan arus induktor L_1

$$\Delta i_{L1(open)} = \frac{V_S - V_{C1} - V_O}{L_1} (1 - D)T \quad (2.23)$$

Untuk mendapatkan tegangan V_O , substitusikan persamaan (2.21) dan (2.23)

$$\Delta i_{L1(closed)} + \Delta i_{L1(open)} = 0$$

$$\frac{V_S DT}{L_1} + \frac{V_S - V_{C1} - V_O}{L_1} (1 - D)T = 0$$

$$\frac{V_S DT}{L_1} = \frac{-V_S + V_{C1} + V_O}{L_1} (1 - D)T$$

$$V_S D = V_O (1 - D)$$

$$V_O = \frac{V_S D}{(1 - D)} (V) \quad (2.24)$$

Dari persamaan (2.24) didapatkan *duty cycle*

$$V_O = \frac{V_S D}{(1 - D)} (V)$$

$$D = \frac{V_O}{V_S + V_O} \quad (2.25)$$

Keterangan :

V_O : Tegangan *output* (V)

$\Delta i_{L1(open)}$: Perubahan arus induktor L_1 ketika saklar ON

$\Delta i_{L1(closed)}$: Perubahan arus induktor L_1 ketika saklar OFF

Perhitungan konverter sepic pada kondisi *continuous* :

Menentukan *duty cycle*

$$D = \frac{V_O + V_D}{V_{IN} + V_O + V_D} \quad (2.26)$$

Menentukan nilai induktor

$$L_1 = L_2 = L = \frac{V_{IN(\min)}}{\Delta I_L \times f_{sw}} \times D_{\max} \quad (2.27)$$

$$\Delta I_L = I_I \times 40\%$$

$$\Delta I_L = I_O \times \frac{V_O}{V_{IN(\min)}} \times 40\% \quad (2.28)$$

Keterangan :

ΔI_L : Perubahan arus induktor

I_O : Arus *output* (A)

V_O : Tegangan *output* (V)

V_{IN} : Tegangan *input* (V)

η : Efisiensi

Arus maksimum induktor pada L_1 dan L_2 ditunjukkan pada persamaan 2.29 dan 2.30

$$I_{L1} = I_O \times \left(\frac{V_O + V_D}{V_{IN(\min)}} \right) \times \left(1 + \frac{40\%}{2} \right)$$

$$(2.29) \quad I_{L2} = I_O \times \left(1 + \frac{40\%}{2} \right)$$

$$(2.30)$$

Nilai kapasitor output

$$C \geq \frac{I_O \times D_{\max}}{\Delta V_O \times 0,5 \times f_{sw}} (F) \quad (2.31)$$

Keterangan :

I_{L1} dan I_{L2} : Arus induktor pada L_1 dan L_2 (A)

C : Kapasitor *output* (F)

Perhitungan *sepic converter* pada kondisi *discontinuous* :

M : Perbandingan tegangan keluaran dan tegangan masukan

$$M = \frac{V_o}{V_i}$$

K_a ($K_{a,crit}$) : *Conduction parameter, critical conduction parameter*

$$K_{a,crit} = \frac{1}{2(M+n)^2}$$

$$K_a < K_{a,crit} \quad (2.32)$$

Untuk mendapatkan nilai $D = \text{duty cycle}$,

$$D = \sqrt{2M\sqrt{K_a}} \quad (2.33)$$

Untuk mendapatkan nilai dari L_1 dan L'_2 yang beroperasi pada kondisi *discontinuous* adalah sebagai berikut :

Menentukan nilai L_{eq} dari kedua induktor

$$L_{eq} = \frac{RT_s K_a}{2} (H) \quad (2.34)$$

Menentukan nilai L_1

$$L_1 = \frac{V_i D T_s}{I_{rip}} (H) \quad (2.35)$$

Menentukan nilai L'_2

$$L'_2 = \frac{L_1 L_{eq}}{L_1 - L_{eq}} (H) \quad (2.36)$$

Menentukan nilai kapasitor C_1

Frekuensi resonansi dari C_1 , L_1 , dan L'_2 harus lebih besar dari frekuensi dasar. Begitu juga nilai frekuensi resonansi antara C_1 dan L'_2 harus lebih kecil dari frekuensi *switching*. Nilai pendekatan C_1 didapatkan dari persamaan berikut :

$$C_1 = \frac{1}{\omega_r^2 (L_1 + L'_2)} (F) \quad (2.37)$$

$$\omega_L < \omega_r < \omega_S$$

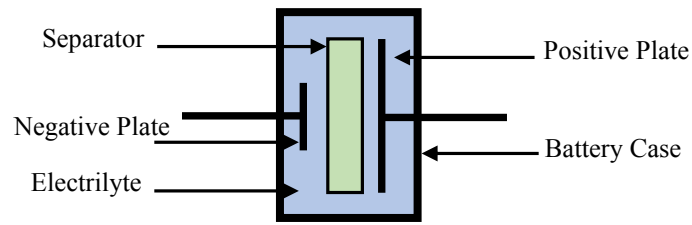
Keterangan :

L_{eq} : Nilai dari kedua induktor L_1 dan L_2

C_1 : Kapasitor *intermediet*

2.4 Karakteristik Baterai

Baterai adalah suatu proses kimia listrik dimana saat pengisian/*charging* energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pembuangan/*discharging* energi kimia diubah menjadi energi listrik [4]. Baterai terdiri dari sel-sel dimana setiap sel memiliki tegangan sebesar 2V, baterai yang memiliki tegangan 12V terdiri dari 6 sel yang dipasang secara seri ($12V = 6 \times 2V$) sedangkan baterai yang memiliki tegangan 6V memiliki 3 sel yang dipasang secara seri ($6V = 3 \times 2V$). Antara satu sel dengan sel lainnya dipisahkan oleh dinding penyekat yang terdapat dalam bak baterai, sehingga setiap ruang pada sel tidak berhubungan, oleh karena itu cairan elektrolit pada setiap sel juga tidak saling menyatu. Kontuksi aki sederhana ditunjukkan pada gambar 2.9.

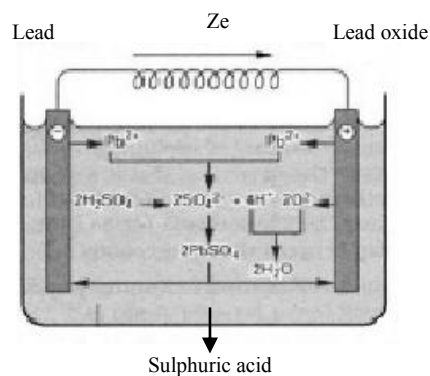


Gambar 2.9 Kontruksi aki sederhana [1].

Baterai yang menerima arus adalah baterai yang sedang diisi dengan dialirkan listrik DC, dimana kutup positif baterai dihubungkan dengan arus listrik positif dan kutub negatif dihubungkan dengan arus listrik negatif. Tegangan yang dialiri biasanya sama dengan tegangan total yang dimiliki baterai, artinya baterai 12V dialiri tegangan 12V DC dan dua baterai 12V yang dihubungkan secara seri dialiri tegangan 24V DC. Besar kuat arus yang harus dialiri tergantung dari kapasitas yang dimiliki baterai, konsekuensinya, proses penerimaan arus berlawanan dengan proses pengeluaran arus, dimana oksigen (O) dalam air (H_2O) terlepas karena bereaksi/bersenyawa dengan timah (Pb) pada pelat positif dan secara perlahan-lahan kembali menjadi oksida timah colat (PbO_2), sedangkan asam (SO_4) yang menempel pada kedua pelat (pelat positif maupun negatif) terlepas dan bergabung dengan hidrogen (H) pada air (H_2O) di dalam cairan elektrolit dan kembali terbentuk menjadi asam sulfat (H_2SO_4) sebagai cairan elektrolit. Akibatnya berat jenis cairan elektrolit bertambah menjadi sekitar 1,285 (pada baterai yang

terisi penuh). Pelat-pelat baterai harus selalu terendam dengan cairan elektrolit dan tinggi cairan elektrolit 4-10 mm diatas bagian tertinggi dari pelat. Gambar 2.10 memperlihatkan cara kerja dari akumulator baterai

Bila sebagian pelat tidak terendam cairan elektrolit maka bagian pada pelat yang tidak terendam tersebut akan langsung berhubungan dengan udara, akibatnya bagian pelat tersebut akan rusak dan tidak dapat dipergunakan dalam suatu reaksi kimia yang diharapkan. Jika cairan elektrolit terlalu tinggi dapat merusak benda-benda yang ada disekitar baterai akibat korosi saat cairan tersebut keluar melalui celah-celah lobang yang ada disekitar baterai, selain itu proses pendinginan dari panasnya cairan elektrolit baterai oleh udara yang ada dalam sel tidak efisien akibat kurangnya udara yang terdapat di dalam sel dan juga asam sulfat akan berkurang, berkurang asam sulfat dari volume yang seharusnya menyebabkan kapasitas baterai tidak akan maksimal karena proses kimia yang terjadi tidak dalam keadaan optimal, sehingga tenaga/kapasitas yang bisa diberikan akan berkurang, dimana sebelumnya bisa menyuplai arus sebesar 7A dalam satu jam menjadi kurang dari 7A, jika sebelumnya bisa memberikan pasokan tenaga sampai 1 jam kini kurang dari 1 jam isi/tenaga baterai sudah habis.



Gambar 2.10 Cara kerja akumulator baterai [1]

2.4.1 State Of Charge Baterai

Status pengisian akumulator dapat diketahui berdasarkan tegangan atau berat jenis elektrolit. Perubahan kepadatan berat jenis asam sulfat dari akumulator memberikan suatu keadaan pengisian yang berbeda [5]. Berat jenis elektrolit akumulator dapat dibaca menggunakan *hydrometer* yang memberikan informasi

tentang keadaan pengisian secara tepat. Namun *hydrometer* tidak dapat digunakan untuk akumulator berjenis *sealed*, AGM dan *gel cell accumulator*. *Voltmeter* juga dapat digunakan untuk menunjukkan kondisi pengisian akumulator. *Voltmeter* memberikan akurasi untuk membaca tegangan dan mudah untuk digunakan. Berikut ini adalah tabel status pengisian akumulator standar baterai. Tabel 2.1 menunjukkan *state of charge acumulator* standar baterai

Tabel 2.1 *State of Charge Acumulator* Standar Baterai

Percentage of Charge	6V	12V	24V	36V	48V	72V	120V
100%	6,37	12,73	25,48	38,22	50,96	76,44	127,4
90%	6,31	12,62	25,24	37,86	50,48	75,72	126,2
80%	6,25	12,5	25,0	37,5	50,0	75,0	125,0
70%	6,19	12,37	24,76	37,14	49,52	74,28	123,8
60%	6,12	12,24	24,48	36,72	48,96	73,44	122,4
50%	6,05	12,2	24,2	37,3	48,5	72,6	121,0
40%	5,98	11,86	23,92	35,88	47,84	71,76	119,6
30%	5,91	11,71	23,74	35,46	47,28	70,92	118,2
20%	5,83	11,66	23,32	34,98	46,64	69,96	116,6
10%	5,75	11,51	23	34,5	46	69	115

Untuk mengetahui waktu dalam proses pengisian dapat menggunakan perhitungan pada persamaan (2.38) dan persamaan (2.39):

$$T_a = \frac{A_h}{h} \quad (2.38)$$

$$T_d = \frac{\text{Daya } A_h}{\text{Daya } A} \quad (2.39)$$

Dalam hal ini:

T_a : Lamanya pengisian arus (jam).

A_h : Besarnya kapasitas *accumulator* (*Ampere hours*).

A : Besarnya arus pengisian ke *accumulator* (*Amper*).

T_d : Lamanya pengisian Daya (jam).

Daya A_h : Besarnya daya yang didapat dari perkalian A_h dengan besar tegangan akumulator (*Watt hours*).

Daya A : Besarnya daya yang didapat dari perkalian A dengan besar tegangan akumulator (*Watt*).

2.4.2 *Depth of Discharge* Baterai

Depth of Discharge (DOD) adalah suatu ketentuan yang membatasi tingkat kedalaman *discharge* maksimum yang dapat diberlakukan pada baterai. Pengaturan DOD berperan dalam menjaga usia pakai (*lifetime*) dari baterai tersebut, semakin dalam DOD yang diberlakukan pada suatu baterai, maka semakin pendek pula usia pakai dari baterai tersebut [5]. Tabel 2.2 memperlihatkan persentase DOD dari baterai

Tabel 2.2 *Depth of Discharge* Baterai

Depth of Discharge (DOD)	Usia Baterai dalam cycle
10%	6200
20%	5200
30%	4400
40%	3700
50%	3000
60%	2400
70%	2000

2.5 Arus Pengisian Pulsa

Skema sinyal proses pengisian arus listrik pada tiga unit baterai dengan teknik *pulse charge* dapat dilihat pada gambar 2.11. Dari skema tersebut maka dapat dilakukan estimasi besar arus pulsa yang diisi ke masing-masing baterai dengan menentukan terlebih dahulu periode waktu pengisian (T_{P2}) pada 3 unit baterai

$$T_{P2} = t_1 + t_2 \quad (2.40)$$

$$T_{P2} = t_1 + t_3 + t_b \quad (2.41)$$

$$t_1 = p_1 T_{P1}, \quad t_2 = p_2 T_{P1}, \quad t_3 = p_3 T_{P1} \text{ dan } t_b = (p_2 - p_3) T_{P1}$$

Maka diperoleh persamaan periode waktu pengisian pada 3 unit baterai

$$T_{P2} = (p_1 + p_2) T_{P1} \quad (2.42)$$

Keterangan:

T_{P2} : Periode pulsa pengisian 3 unit baterai

T_{P1} : Periode *duty cycle* konverter

p_1 : Jumlah pulsa kecil saat pengisian baterai-1

p_2 : Jumlah pulsa kecil pengisian baterai-2

p_3 : Jumlah pulsa kecil saat pengisian baterai-3

Jika diketahui besar arus yang keluar dari rangkaian konverter DC-DC (I_S) adalah sebesar

$$I_S = \frac{V_B}{R}$$

Jika efisiensi daya *input* yang bersumber dari *photovoltaic* dan daya *output* dari rangkaian konverter DC-DC diperhitungkan maka diperoleh efisiensi daya.

$$n = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{V_B I_S}{V_{PV} I_{PV}}$$

$$I_S = \frac{n(V_{PV} I_{PV})}{V_B} \quad (2.43)$$

Maka besar rata-rata arus pulsa kecil frekuensi tinggi dari keluaran rangkaian konverter Dc-DC yang menuju ke baterai-1 adalah

$$I_{B1} = \frac{p_1}{p_1 + p_2} \times I_S$$

$$I_{B1} = \frac{p_1}{p_1 + p_2} \cdot \frac{n(V_{PV} \times I_{PV})}{V_{B1}} \quad (2.44)$$

Untuk besar rata-rata arus yang mengalir pada baterai-2 disaat jalur pengisian arus pada baterai-1 diputuskan adalah

$$I_{B2} = \frac{p_2}{p_1 + p_2} \times I_S$$

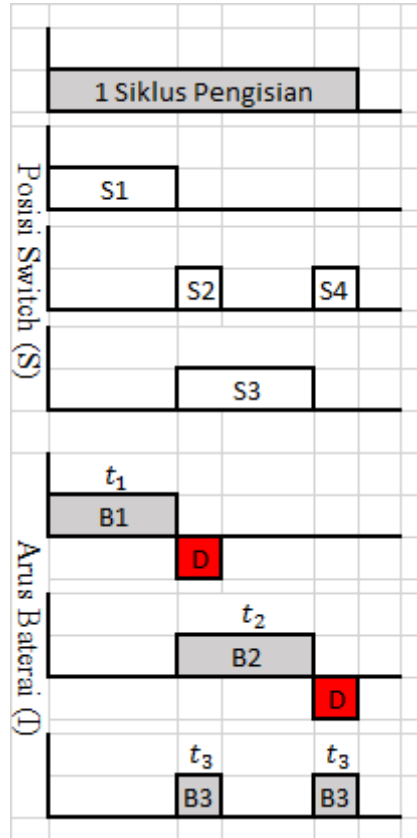
$$I_{B2} = \frac{p_2}{p_1 + p_2} \cdot \frac{n(V_{PV} \times I_{PV})}{V_{B2}} \quad (2.45)$$

Pada kondisi baterai-2 dalam proses pengisian arus listrik, jalur pada baterai-1 diputuskan dan pada waktu yang bersamaan *switch* S_3 diaktifkan untuk menyuplai arus dari baterai-1 ke baterai-3 dengan bantuan rangkaian konverter.

Pada kondisi ini baterai-1 mengalami proses *discharging* sedangkan baterai-3 mengalami proses *charging*, estimasi besar rata-rata arusnya adalah

$$I_{B3} = \frac{p_3}{p_1 + p_2} \cdot \frac{n(V_{B1} \times I_{B1})}{V_{B3}} \quad (2.46)$$

Arus *charging* baterai-3 juga display melalui proses *discharging* baterai-1 dan baterai-2, dalam waktu yang berbeda pada satu siklus pengisian.

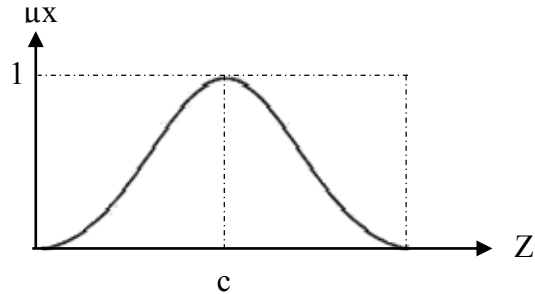


Gambar 2.11 Siklus pengisian tiga unit baterai. [2]

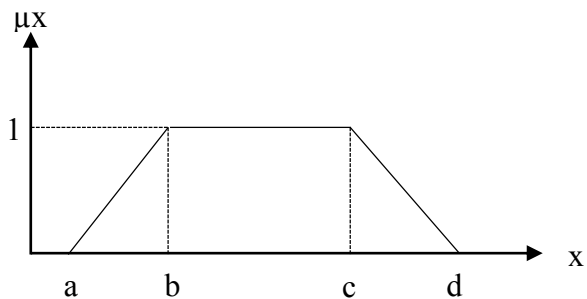
2.6 Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi adalah proses merubah variable *non-fuzzy (crisp)* kebentuk variabel *fuzzy*, variable *input (crisp)* dipetakan kedalam bentuk himpunan *fuzzy* sesuai dengan variasi semesta pembicaraan input. Pemetaan titik-titik numerik (*crisp points*) $X = (X^1, X^2, \dots, X^n)^T \in U$ ke himpunan *fuzzy* A pada semesta pembicaraan U. [7]. Data yang sudah dipetakan akan dikonversikan ke bentuk linguistik sesuai dengan label himpunan *fuzzy* yang telah terdefinisi n untuk variabel input sistem. Didalam keanggotaan himpunan *fuzzy* terdapat bentuk yang berbeda-

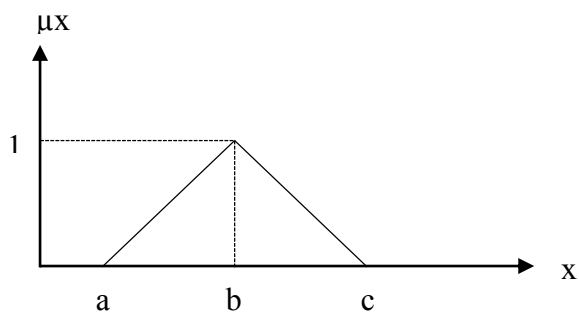
beda yang terdiri dari bentuk seperti yang terlihat pada gambar 2.12 sampai 2.14 berikut ini



Gambar 2.12 Fungsi keanggotaan gaussian [7].

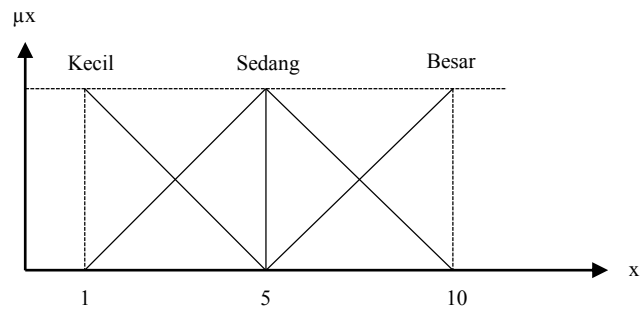


Gambar 2.13 Fungsi keanggotaan trapesium [7].



Gambar 2.14 Fungsi keanggotaan segitiga [7].

Didalam *fuzzy* set terdapat beberapa fungsi keanggotaan, jumlah dari keanggotaan disesuaikan dengan banyaknya kebutuhan. Untuk masing-masing fungsi keanggotaan dapat didefinisikan dengan label atau nama, seperti dinyatakan dengan ukuran besar, sedang, kecil atau sesuai dengan keinginan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Masukan *fuzzy* dengan tiga fungsi keanggotaan [7].

2.6.1 Rule Base

Basis pengetahuan terdiri dari fakta (*Data Base*) dan kaidah atur (*Rule Base*). Fakta merupakan bagian pengetahuan yang berisikan informasi mengenai objek, peristiwa atau situasi. Fakta pada umumnya merupakan kondisi statik dari suatu objek, sedangkan kaidah aturan (*rule base*) memuat informasi tentang cara membangkitkan fakta baru atau hipotesa fakta yang sudah ada [13].

- Basis Data (*Data Base*).

Basis data berfungsi untuk menerjemahkan himpunan-himpunan *fuzzy* dari sinyal *input* dan sinyal *output* agar dapat digunakan oleh variabel linguistik dalam basis aturan. Dalam cara pendefinisian tersebut umumnya dilakukan secara subjektif dengan menggunakan pendekatan heuristik dan didasari pada pengalaman atau pertimbangan yang menyangkut kerekayasaan.

- Kaidah Aturan (*Rule Base*).

Kaidah atur dalam *fuzzy* pada dasarnya tersusun dengan pernyataan seperti berikut ini:

IF (antecedent) THEN (consequent) atau

IF x is A THEN y is B.

Antecedent : Berisikan himpunan fakta masukan (sebab).

Consequent : Berisikan himpunan fakta keluaran (akibat).

IF ... THEN ... dalam logika *fuzzy* akan melakukan pemetaan dari himpunan *fuzzy input* ke himpunan *fuzzy output* [13].

2.6.2 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses untuk merubah *fuzzy output* dari FIS (*fuzzy inference system*) menjadi *crisp output*. Bentuk umum untuk proses defuzzifikasi dinyatakan dengan:

$$Z = \text{defuzzier}(z)$$

Dimana z adalah aksi pengendalian *fuzzy*, Z_0 adalah aksi pengendali *crisp*, dan *defuzzifier* adalah operator defuzzifikasi. Terdapat beberapa macam metode defuzzifikasi diantaranya,

- a. Metode Titik Pusat (*Center Of Area, COA*).

Metode ini membagi dua momen pertama fungsi keanggotaan dan harga yang menandai garis pembagi adalah harga V yang ter-defuzzifikasi. Secara algoritmik dinyatakan

$$V_0 = \frac{\int v u_v(v) d_v}{\int u_v(v) d_v} \quad (2.47)$$

Sedangkan dalam semesta diskrit dapat dinyatakan

$$V_0 = \frac{\sum_{k=1}^m v_k u_v(v_k)}{\sum_{k=1}^m u_v(v_k)} \quad (2.48)$$

- b. Metode Rata-rata Maksimum (*Midle Of Maximum, MOM*).

Metode ini merupakan metode defuzzifikasi yang mewakili nilai tengah dari keluaran untuk fungsi anggota maximum. Fungsinya ditunjukkan sebagai:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{l} \quad (2.49)$$

Dimana Z_i adalah nilai pendukung untuk fungsi keanggotaan bernilai maximum dan l adalah banyaknya nilai pendukung [13].

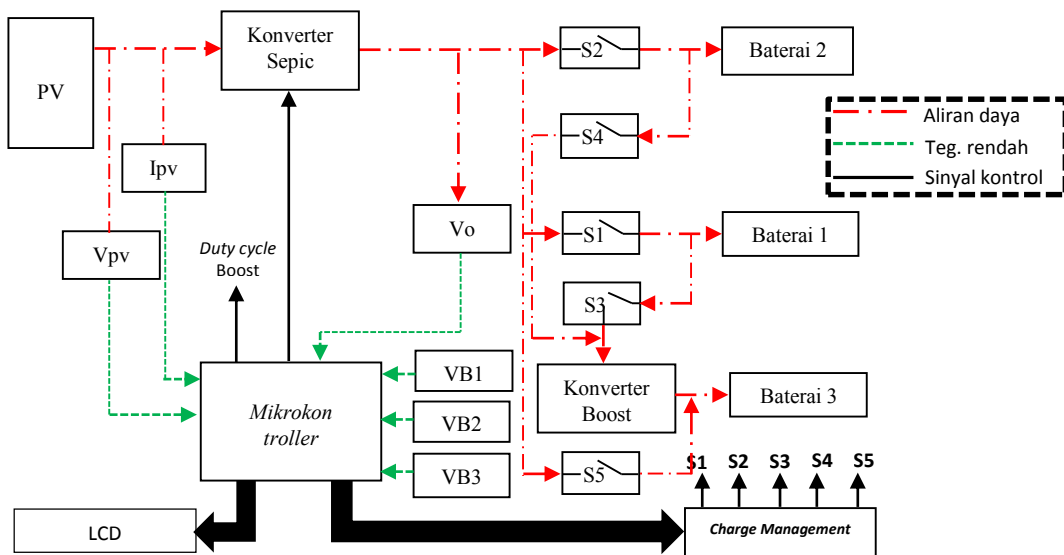
-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB III

DESAIN PHOTOVOLTAIC PULSE CHARGE DENGAN KONSEP MANAJEMEN PENGISIAN BATERAI

3.1 Perancangan Sistem

Dalam perancangan sistem pengisian baterai dengan konsep manajemen pengisian ini terdiri dari beberapa fungsi rangkaian pendukung diantaranya dua buah konverter DC-DC tipe sepic dan tipe boost, sensor arus dan tegangan dan sistem minimum mikrokontroler, adapun sistem diagram bloknya secara umum dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Sistem blok konsep manajemen pengisian baterai

Untuk konsep manajemen pengisian baterai pada sistem ini dijalankan oleh fungsi blok mikrokontroler dengan mengatur proses pengisian arus listrik ke baterai melalui pengaturan saklar (S_1 , S_2 , dan S_3). Mikrokontroler berfungsi melakukan pengaturan distribusi daya yang dihasilkan oleh PV untuk disuplay ke baterai. Secara aplikatif terdapat bermacam-macam teknik *charging* yang biasa digunakan untuk rangkaian *charger*. Teknik tersebut berbeda dalam cara pemberian energi listrik dari catu daya ke *accumulator* atau baterai, teknik-teknik tersebut diantaranya adalah *constant voltage*, *constant current*, *taper current*, *pulse charge*, *burp charge* dan *trickle charge*. Dalam penelitian ini menggunakan teknik *pulse*

charge dan *burp charge* dimana proses pengisian arus listrik ke baterai dilakukan satu per satu dengan durasi waktu yang berbeda-beda pada satu siklus pengisian. Pemilihan menggunakan teknik *pulse charge* dan *burp charge* ini adalah karena teknik ini bekerja dengan mengirimkan arus listrik berbentuk pulsa positif dan negatif pada baterai, dengan tingkat pengisian (berdasarkan rata-rata arus) yang dapat dikendalikan melalui teknik memvariasikan lebar pulsa, selama proses pengisian, terdapat waktu jeda kosong, jeda ini diberikan untuk memungkinkan terjadinya reaksi kimia pada baterai dalam proses menstabilkan elektroda, waktu jeda tersebut juga dapat menghindarkan baterai saat proses pengisian sedang berlangsung dari efek-efek timbulnya gelembung gas, timbulnya kristal dan passivasi.

3.2 Spesifikasi Photovoltaic

Modul PV yang digunakan adalah modul yang ada di pasaran yaitu *GH Solar 80 Watts (GH80P-18)*. Datasheet PV S50236-PCM seperti ditunjukkan pada tabel 3.1 mempunyai daya 80 Watt per modul, untuk memperoleh nilai daya yang lebih besar maka modul PV tersebut dapat dihubungkan secara paralel (*PV array*) atau secara seri.

Tabel 3.1. Datasheet PV GH Solar GH80P-18.

Parameter	Nilai
Daya Maksimum (P_{max})	80 Watt
Tegangan Saat Daya Maksimum (V_{mp})	17,6 Volt
Arus Saat Daya Maksimum (I_{mp})	4,5 Ampere
Tegangan <i>Open Circuit</i> (V_{oc})	21,8 Volt
Arus <i>Short circuit</i> (I_{sc})	4,98 Ampere
Koefisien Temperatur dari Tegangan <i>Open Circuit</i>- (0,40)%/ $^{\circ}$ C
<i>Standard Test Conditions (STC):</i>	
Intensitas Cahaya (Iradiasi)	1000 W/ m^2
Temperatur	40 $^{\circ}$ C

3.3 Pemodelan Baterai

Baterai berfungsi sebagai alat penyimpanan arus listrik. Dalam hal ini baterai yang akan digunakan adalah jenis *lead acid*. Kapasitas baterai dinyatakan dalam Ampere hours (Ah) dimana $Ah = \text{Kuat arus (Ampere)} \times \text{Waktu (h)}$, artinya baterai dapat menyuplai sejumlah arus secara rata-rata dalam jangka waktu tertentu, sebelum tiap selnya menyentuh tegangan sebesar 1,75V (Tiap sel memiliki tegangan sebesar 2V). Secara sederhana baterai 12V/75Ah mampu memberikan kuat arus sebesar 75A dalam satu jam, artinya baterai mampu memberikan daya rata-rata sebesar 900W dan dapat menyuplai alat berdaya 900W selama satu jam atau alat berdaya 90W selama 10 Jam.

Setiap sel baterai dapat di isi dengan rating tegangan 2,3V – 2,45V sehingga rating tegangan *charging* satu unit baterai sebesar 13,8V – 14,7V dan pengisian arus *charging* sebesar 10 – 20% dari kapasitas baterai. Untuk pemodelan baterai dalam mengetahui persentase mode *charge* dan *discharge* maka dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini, sehingga dari persamaan tersebut maka dapat dibuat pemodelan baterai seperti yang terlihat pada gambar 3.2

1. Model Discharge ($i^* > 0$)

$$f_1(it, i^*, i) = E_0 - K \frac{Q}{Q-it} i^* - K \frac{Q}{Q-it} it + A \exp(-B \cdot it) \quad (3.1)$$

2. Model Charge ($i^* < 0$)

$$f_2(it, i^*, i) = E_0 - K \frac{Q}{it+0.1Q} i^* - K \frac{Q}{Q-it} it + A \exp(-B \cdot it) \quad (3.2)$$

Keterangan :

E_0 : Tegangan konstan (V)

K : Konstanta polarisasi (Ah^{-1}) atau hambatan polarisasi (Ω)

i^* : Arus dinamik pada frekuensi rendah (A)

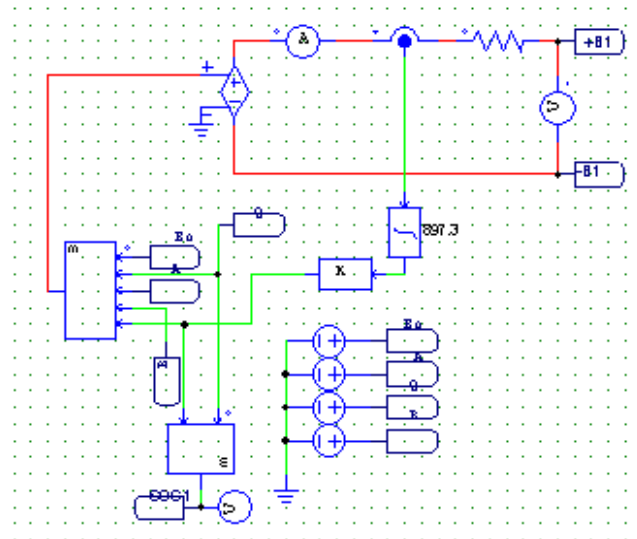
i : Arus baterai (A)

it : Kapasitas yang keluar (Ah)

Q : Kapasitas baterai maksimum (Ah)

A : Tegangan eksponensial (V)

B : Kapasitas eksponensial (Ah)⁻¹



Gambar 3.2 Pemodelan baterai pada PSIM 9.0

Untuk mengetahui keadaan kapasitas baterai (*State of Charge*) dapat digunakan persamaan

$$SOC = 100 \left(1 - \frac{\int_0^t i dt}{Q} \right) \quad (3.3)$$

Keterangan :

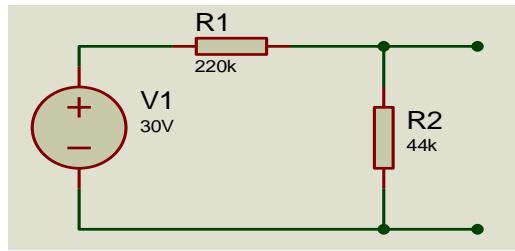
100 : Kondisi awal baterai, 100 untuk baterai dalam keadaan charge penuh, 0 untuk baterai dalam keadaan kosong

i : Arus baterai (A)

Q : Kapasitas maksimum baterai (Ah)

3.4 Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan adalah pembagi tegangan (*voltage divider*). *Voltage divider* ini digunakan untuk mendeteksi tegangan keluaran dari PV dan baterai. Sensor tegangan menggunakan resistor yang disusun secara seri-paralel dengan perhitungan menurut hukum KVL (*Kirchof Voltage Low*). Perencanaan nilai tahanan R_1 dan R_2 dapat dilihat pada gambar 3.3 dan diperoleh perhitungan dari persamaan dibawah ini



Gambar 3.3 Rangkaian pembagi tegangan

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in}$$

$$5 = \frac{R_2}{220000 + R_2} \times 30$$

$$5(220000 + R_2) = 30R_2$$

$$1100000 + 5R_2 = 30R_2$$

$$R_2 = \frac{1100000}{25} = 44K\Omega$$

Maka tahanan yang digunakan adalah sebesar 220kΩ dan 44kΩ.

Untuk nilai tahanan tersebut disesuaikan dengan yang ada dipasaran, sedangkan perhitungan daya dari tahanan tersebut dapat dihitung dari R total sensor

$$R_{total} = R_1 + R_2 = 220K + 44K = 264K\Omega$$

Arus yang mengalir yaitu

$$I = \frac{V_{in}}{R_{total}} = \frac{30V}{264K}$$

$$= 0,11 \text{ mA}$$

Daya tahanan yang digunakan

$$P = V \times I$$

$$= 30V \times 0,11mA$$

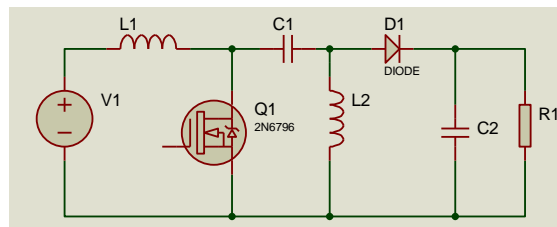
$$= 0,003W$$

Dari perhitungan daya tersebut maka pemilihan tahanan menggunakan resistor dengan daya 0,003W

3.5 Konverter DC-DC Sepic

Konverter sepic berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan. Didalam penelitian ini konverter sepic digunakan untuk membangkitkan daya

maksimum yang diperoleh dari PV dengan menggunakan pengontrolan metode P&O dan *fuzzy rule*, dimana daya tersebut akan digunakan untuk proses pengisian arus listrik pada tiga unit baterai yang dilakukan dengan teknik *pulse charge*. Agar rangkaian konverter sepic ini dapat berfungsi untuk membangkitkan daya maksimum yang dikeluarkan oleh PV maka langkah awal yang dilakukan adalah menentukan parameter-parameter. Berikut ini adalah rangkaian konverter sepic seperti yang terlihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4 Rangkaian konverter DC-DC sepic

Ketentuan parameter-parameter yang diperlukan dalam proses mendesain rangkaian konverter sepic ini diantaranya adalah

- V_{in} = 10 - 20 V
- V_{out} = 14,4 V
- I_{out} = 6,1 A
- Frekuensi = 40 KHz

Dari nilai parameter diatas maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *duty cycle* dan nilai komponen pendukung dari rangkaian konverter sepic ini melalui persamaan berikut ini

$$D_{max} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(min)} + V_{out} + V_D}$$

$$= \frac{14,4 + 2,1}{17,1 + 14,4 + 2,1} = 0,49$$

$$D_{min} = \frac{14,4 + 2,1}{20 + 14,4 + 2,1} = 0,45$$

$$R = \frac{V_o}{I_o} = \frac{14,4}{6,1} = 2,3 \Omega$$

$$P = \frac{V_{out}^2}{R} = \frac{14,4^2}{2,36} = 87,8W$$

Penentuan nilai induktor dengan *input* riak arus induktor (L_1) sebesar 40%

$$\Delta I_L = I_{out} \times \frac{V_{out}}{V_{in(min)}} \times 40\% = 6,1 \times \frac{14,4}{17,1} \times 0,2 = 2,04A$$

$$\begin{aligned} L_1 = L_2 = L &= \frac{V_{in}}{\Delta I_L \times f} \times D_{(max)} \\ &= \frac{17,1}{2,04 \times 40KHZ} \times 0,62 = 0,10268mH \end{aligned}$$

Menentukan puncak masukan arus dari induktor

$$\begin{aligned} I_{L1(peak)} &= I_{out} \times \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(min)}} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \\ &= 6,1 \times \frac{14,4 + 2,1}{17,1} \times 1,2 = 7,06A \end{aligned}$$

$$I_{L2(peak)} = I_{out} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 6,1 \times 1,2 = 7,32A$$

Pemilihan atau penentuan daya MOSFET

$$I_{Q1(peak)} = I_{L1(peak)} + I_{L2(peak)} = 7,06 + 7,32 = 14,38A$$

Besar arus RMS adalah:

$$\begin{aligned} I_{Q1(rms)} &= I_{out} \times \sqrt{\frac{(V_{out} + V_{in(min)} + V_D) \times (V_{out} + V_D)}{V_{in(min)}^2}} \\ &= I_{out} \times \sqrt{\frac{(14,4 + 17,1 + 2,1) \times (14,4 + 2,1)}{7,1^2}} \end{aligned}$$

Besar arus RMS Cs dapat ditentukan:

$$\begin{aligned} I_{Cs(rms)} &= I_{out} \times \sqrt{\frac{V_{out} + V_D}{V_{in(min)}}} \\ &= 6,1 \times \sqrt{\frac{14,4 + 2,1}{17,1}} = 5,9A \end{aligned}$$

Penentuan keluaran kapasitor dengan asumsi *peak-to-peak ripple* adalah 2% dari tegangan keluaran sebesar 14,4V, maka arus RMS keluaran kapasitor adalah:

$$I_{Cout(rms)} = I_{Cs(rms)} = 5,9A$$

Nilai kapasitansinya sebesar:

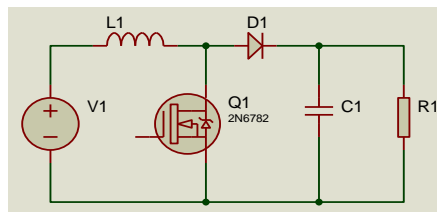
$$C_{out} = \frac{I_{out} \times D_{max}}{V_{rip} \times 0,5 \times f} = \frac{6,1 \times 0,49}{0,02 \times 14,4 \times 0,5 \times 40000} = 518,9 \mu F$$

Besar arus RMS dari kapasitor *input*:

$$I_{Cin(rms)} = \frac{\Delta I_L}{\sqrt{12}} = \frac{2,04}{3,4} = 0,6 A$$

3.6 Konverter DC-DC Boost

Konverter boost digunakan untuk menaikkan tegangan *input* yang bersumber dari baterai-1 saat dilakukan proses *burp charge*, peningkatan nilai tegangan *output* ini dilakukan untuk membantu proses pengisian arus listrik pada baterai-3 melalui baterai-1 disaat arus PV sedang mengisi pada baterai-2. Gambar 3.5 memperlihatkan rangkaian konverter DC-DC tipe boost



Gambar 3.5 Rangkaian konverter Boost

Besar nilai tegangan keluaran dari konverter boost ini diinginkan sebesar 14,4V, untuk mendapatkan nilai tegangan keluaran tersebut maka langkah yang dilakukan terlebih dahulu adalah menentukan nilai *duty cycle* dan daya

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} = 1 - \frac{10}{14,4} = 0,30$$

$$R = \frac{V_o}{I_o} = \frac{14,4}{5} = 2,9 \Omega$$

$$P = \frac{V_{out}^2}{R} = \frac{14,4^2}{2,9} = 71,5 W$$

Menghitung nilai rata-rata arus induktor

$$\begin{aligned} I_{l(avg)} &= \frac{V_{s(min)}}{(1 - D)^2 \times R} \\ &= \frac{10}{(1 - 0.3)^2 \times 2,9} = 7,03 A \end{aligned}$$

Nilai induktor (L)

$$\begin{aligned}\Delta I_L &= 0,1 \times \Delta I_{l(avg)} = 0,1 \times 7,03 = 0,7A \\ L &= \left(\frac{1}{f}\right) \times [V_o + V_D - V_{s(min)}] \times \left(\frac{V_{s(min)}}{V_o + V_D}\right) \times \left(\frac{1}{\Delta I_L}\right) \\ &= \left(\frac{1}{40K}\right) \times [14,4 + 2,1 - 10] \times \left(\frac{10}{14,4 + 2,1}\right) \times \left(\frac{1}{0,7}\right) \\ &= (0,000025) \times [6,5] \times (0,64) \times (1,42) \\ &= 147,7\mu H\end{aligned}$$

Menentukan ripple tegangan keluaran (ΔV_o)

$$\Delta V_o = \pm 0,1\% \times V_o = 0,001 \times 14,4 = 0,0144V$$

Nilai *Capacitance* (C_o)

$$\begin{aligned}C_o &= \frac{V_o \times D}{R \times F \times \Delta V_o} \\ &= \frac{14,4 \times 0,3}{2,9 \times 40K \times 0,0144} \\ &= 2586\mu F\end{aligned}$$

3.7 Sensor Arus ACS712

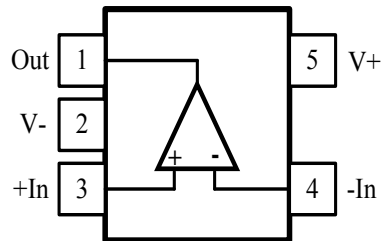
Modul sensor arus AC atau DC yang digunakan adalah Allegro ACS712 seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.6 memiliki presisi dalam pengukuran arus. Sensor tipe Allegro ACS712 sering digunakan untuk mengontrol motor, proteksi arus lebih, mendeteksi beban, dan *switch mode power supplies*



Gambar 3.6 Modul sensor arus Allegro ACS712

Modul sensor ini mempunyai keunggulan dalam pengukuran arus dengan ketepatan yang tinggi karena pada rangkaian terdapat *low offset*, rangkaian *linear hall* yang terbuat dari tembaga dan terintegrasi dengan rangkaian tambahan berupa *operational amplifiers* untuk meningkatkan sensitivitas, mempunyai resistor

variable yang berfungsi untuk mengukur arus yang kecil dan *bandwidth* 80 kHz. Arus yang mengalir melalui tembaga menghasilkan medan magnet lalu dikonversikan oleh Hall IC menjadi tegangan proporsional. Gambar 3.7 memperlihatkan kontruksi dasar dari sensor arus menggunakan IC CMOS OPA344



Gambar 3.7 IC CMOS OPA344

Perancangan modul sensor arus ACS712 menggunakan IC CMOS OPA344 sebagai *operational amplifiers* yang berguna untuk meningkatkan tingkat keakurasi dalam pengukuran arus. IC CMOS OPA344 merupakan *unity gain stable* yang beroperasi optimal pada catu daya tunggal 2,5V sampai 5,5V.

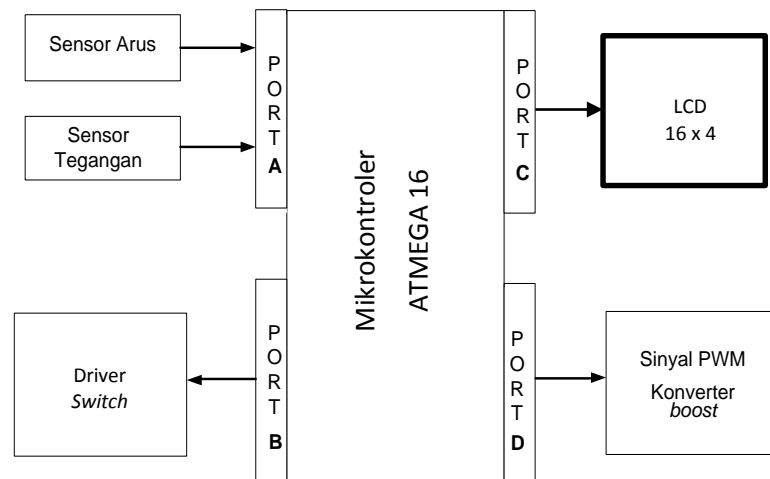
Modul sensor arus ACS712 digunakan dalam penelitian ini untuk mendeteksi dan mengukur besar arus PV yang mengalir ke rangkaian konverter DC-DC sepic dalam proses penjejakan titik daya maksimum dari PV. Modul sensor arus ACS712 terhubung secara seri dengan *input* dari rangkaian sepic. Jumlah modul sensor arus ACS712 yang digunakan berjumlah satu, adapun alasan penggunaan modul sensor arus ACS712 dibandingkan dengan transformator arus yakni distorsi pengukuran arus yang dihasilkan lebih sedikit dan tingkat besar arus yang diukur kecil. Adapun besar tegangan keluaran dari sensor arus ACS 712 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_o = 2,5 + (I_{in} \times 0,100) \quad (3.4)$$

3.8 Rancang Bangun Mikrokontroler

Pengontrolan sinyal *duty cycle* pada konverter sepic dalam proses *tracking* MPP PV dilakukan oleh mikrokontroler ATMEGA16. ATMEGA16 memiliki empat buah port yaitu: PortA, PortB, PortC, dan PortD. Keempat port tersebut dapat difungsikan sebagai *input* maupun *output*. Pada PortA dan PortD ATMEG16 memiliki fungsi tambahan yaitu dapat digunakan sebagai fungsi *input Analog to*

Digital Converter (ADC) dan membangkitkan sinyal PWM. Pada perancangan ini PortC digunakan sebagai fungsi *output* yang terhubung dengan LCD. PortA dihubungkan dengan sensor arus dan sensor tegangan, untuk PortD digunakan sebagai fungsi *output* yang terhubung dengan konverter sepic dan boost untuk membangkitkan sinyal PWM dan PortB digunakan sebagai fungsi *output* yang terhubung dengan *driver* mosfet untuk melakukan proses pengaturan arus pengisian listrik pada baterai secara teknik pulsa. Gambar 3.8 menyajikan perancangan dari *hardware* mikrokontroler ATMEGA16.



Gambar 3.8 Blok diagram perancangan mikrokontroler ATMEGA 16.

Tabel 3.2. Perencanaan Koneksi *Port-Port* Mikrokontroler

Pin/Port	Port A	Port B	Port C	Port D
0	Sensor Arus PV	Switch-1	LCD	-
1	Sensor Arus <i>output</i>	Switch-2	LCD	-
2	Sensor Teg. PV	Switch-3	LCD	-
3	Sensor Teg. <i>output</i>	Switch-4	LCD	-
4	Sensor Teg. B1	Switch-5	LCD	Sinyal PWM
5	Sensor Teg. B2	-	LCD	Sinyal PWM
6	Sensor Teg. B3	-	LCD	-
7	-	-	LCD	-

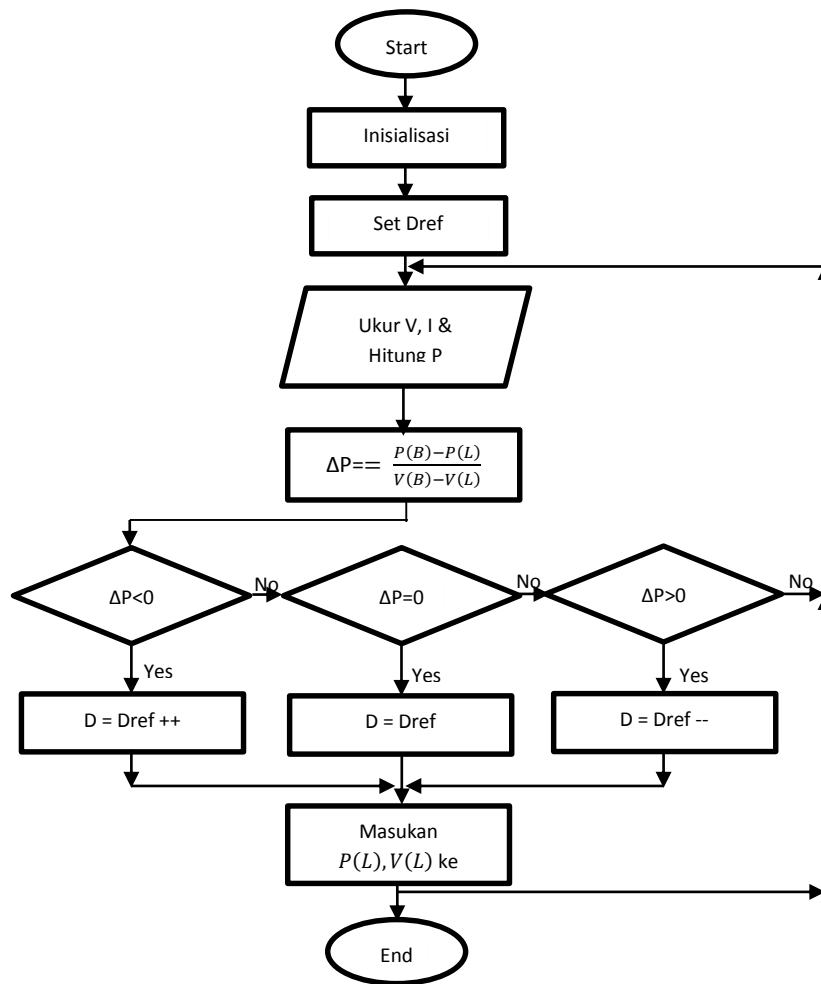
Ada 4 bagian utama rangkaian pendukung dalam melakukan pengontrolan MPPT diantaranya:

- a) ATmega 16 termasuk mikrokontroler 8 bit dengan konsumsi daya yang rendah, performanya yang tinggi, EEPROM 512 bytes dan internal SRAM sampai 1 Kbyte. 10 bit ADC digunakan untuk mengukur sensor tegangan dan arus.
- b) Sensor tegangan yang dirancang menggunakan pembagi tegangan yaitu dengan cara resistor yang terhubung seri.
- c) Sensor arus menggunakan AC-712 dengan kapasitas arus maksimum 20 Ampere.
- d) TLP250 digunakan sebagai *driver* untuk menyalakan *gate* pada MOSFET IRF460.

3.9 Perancangan Kontroler *Fuzzy* dengan *Perturb and Observe Method*

Metode *Perturb and Observe* merupakan metode teknik penjejak titik daya maksimum yang banyak digunakan karena hanya menggunakan sedikit parameter dan struktur umpan balik yang sederhana. Metode ini beroperasi dengan menambahkan atau mengurangi tegangan referensi (V_{ref}) secara periodik. Diagram alir dari metode P&O ditunjukkan gambar 3.9.

Daya keluaran (P) dari PV dibandingkan dengan daya keluaran dari sistem. kemudian diamati tegangan (V) dari PV dan dibandingkan dengan tegangan dari sistem. Jika daya meningkat maka gangguan (*perturb*) akan meningkat ke arah yang sama untuk siklus berikutnya, jika tidak maka gangguan akan bergerak sebaliknya. Dengan adanya perubahan daya yang terganggu secara tidak langsung juga mengganggu tegangan pada terminal PV untuk seluruh siklus pelacakan titik daya maksimum. Dengan menjaga tegangan keluaran dari terminal PV maka titik daya maksimum juga akan tercapai.

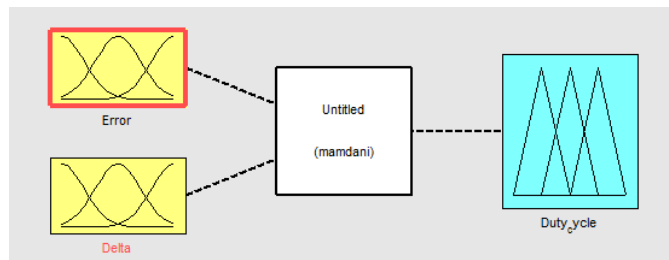


Gambar 3.9 Diagram alir *perturb and observe method*

Fuzzy rule dalam penelitian dibentuk dari diagram alir metode P&O. Data *input* yang bersumber dari hasil pembacaan sensor tegangan dan arus akan diproses secara *fuzzy* menjadi *variable error* (e) dan *delta error* (Δe) serta menghasilkan satu keluaran nilai *crisp* yang berfungsi untuk membangkitkan sinyal *duty cycle*. Untuk memenuhi syarat MPP dari PV maka $\frac{dP}{dV} = 0$. sehingga diperoleh dua *input fuzzy*

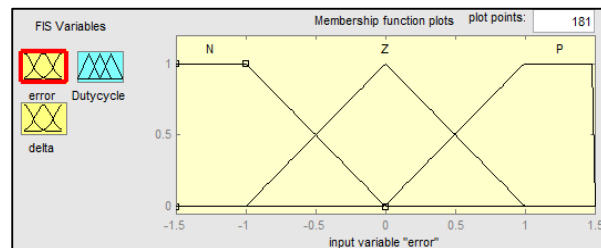
$$e = \frac{P_{ph}(k) - P_{ph}(k-1)}{V_{ph}(k) - V_{ph}(k-1)} \quad (3.5)$$

$$\Delta e = e(k) - e(k-1) \quad (3.6)$$

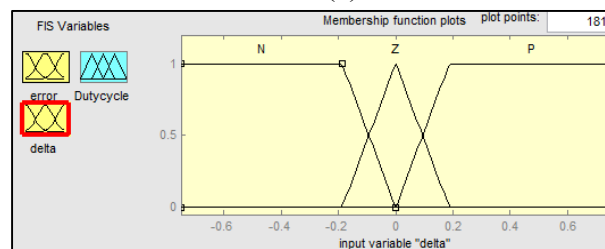


Gambar 3.10. Kontroler *Fuzzy*

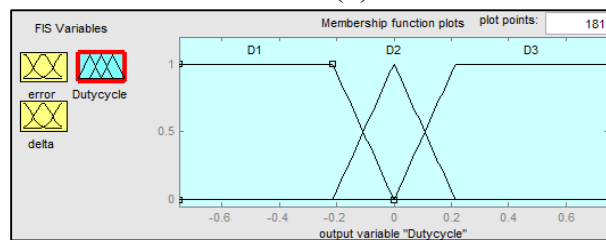
Karena *output* dari kontrol *fuzzy* ini adalah *duty cycle*, maka kontrol logika *fuzzy* yang digunakan adalah tipe *mamdani* seperti yang terlihat pada gambar 3.10 untuk proses penjejak titik MPP. Data *input error* pada fungsi ini adalah untuk menentukan posisi *load*, berada disebelah kanan atau sebelah kiri titik MPP, sedangkan perubahan error (Δe) diperlukan untuk mengetahui perubahan posisi *load*. Mekanisme pengaturan PWM berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan *output* dari converter. Berikut merupakan rancangan *membership* dan tabel *fuzzy* yang dibuat untuk sistem MPPT seperti yang terlihat pada gambar 3.11



(a)



(b)



(c)

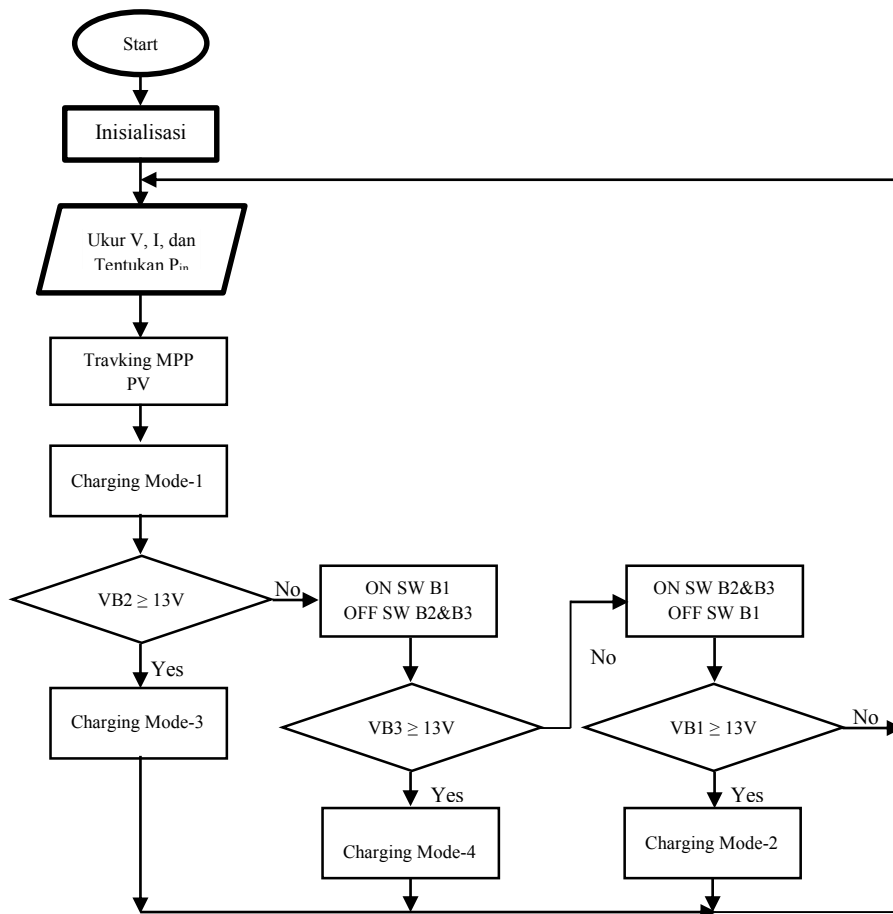
Gambar 3.11. *Membership* (a) *input error*, (b) perubahan *error* Δe , (c) *output*

Pada data *membership* diatas maka langkah berikutnya adalah membuat *rule base* yang berfungsi untuk menentukan aksi dari masukan *error* dan *delta error*. *Rule base* tersebut berjumlah sebanyak 9 aturan. Berikut ini diperlihatkan komposisi aturan yang akan dibangun seperti yang terlihat pada tabel 3.3. *Rule base* ini digunakan sebagai acuan dalam pemograman mikrokontroler untuk mendapatkan nilai *duty cycle*.

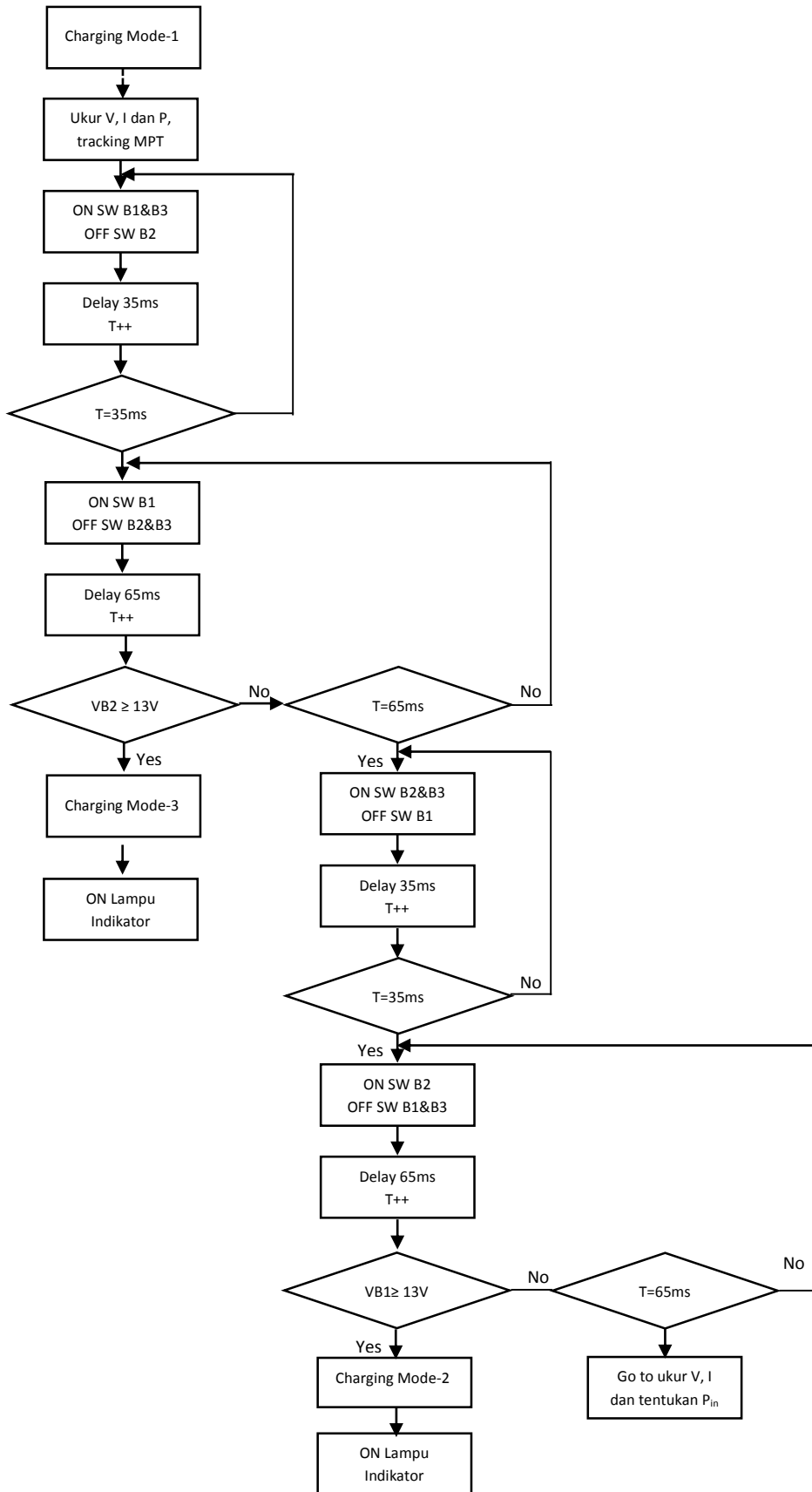
Tabel 3.3 *Rule Base Fuzzy*

Error/Delta	N	Z	P
Error			
N	D2	D2	D2
Z	D2	D1	D3
P	D3	D3	D3

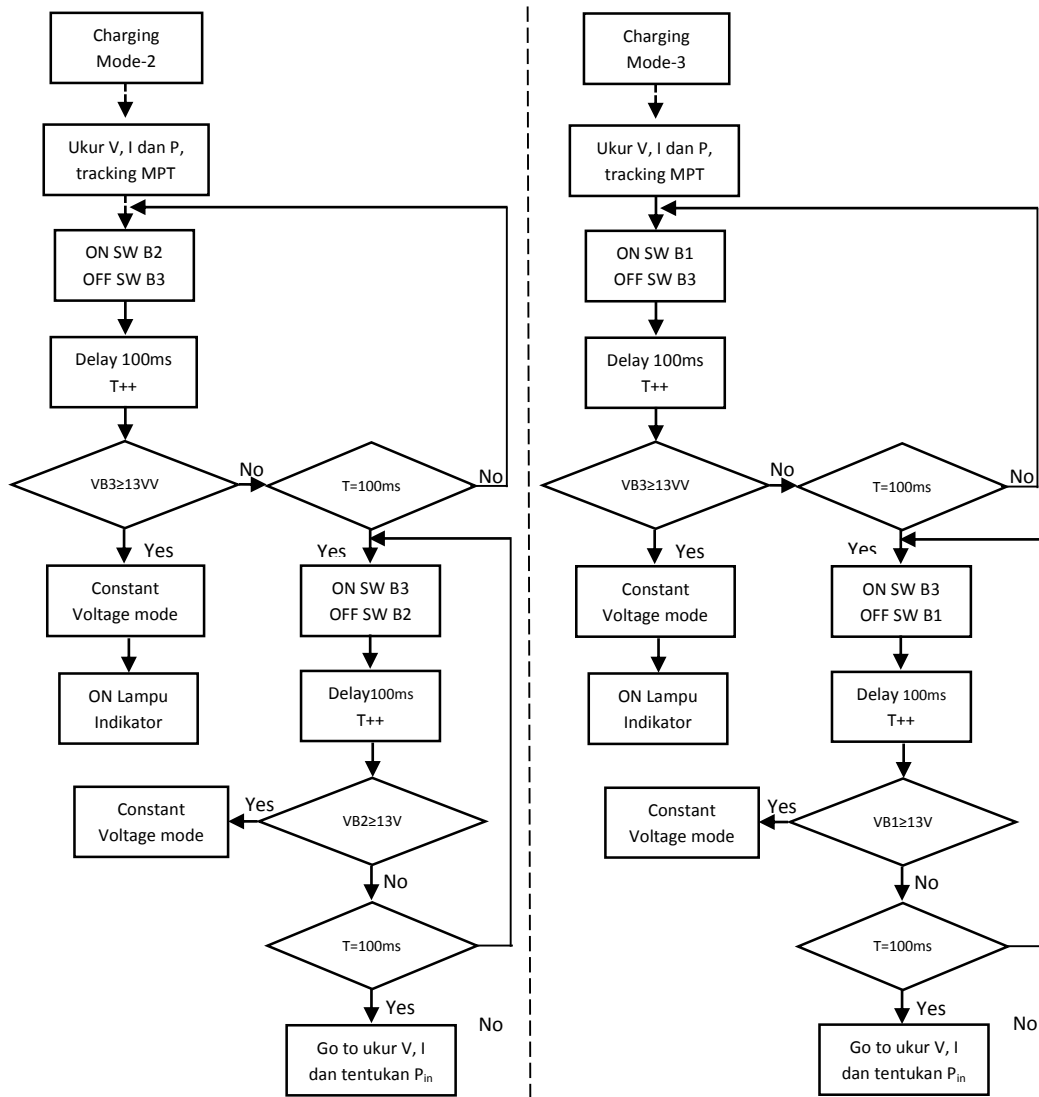
Pada penelitian ini sistem pengontrolan juga dilengkapi dengan teknik pemutusan jalur pengisian arus listrik ke baterai disaat persentase salah satu SOC baterai mencapai nilai maksimum atau baterai berada dalam kondisi terisi penuh. Hal ini dilakukan untuk menghindari baterai dari kondisi *over current* yang dapat berefek negatif bagi baterai serta mengurangi kinerjanya. Dalam menerapkan teknik pengontrolan ini maka diperlukan monitoring terhadap level kenaikan tegangan baterai saat proses *charging* berlangsung, dengan menerapkan teknik pengisian arus listrik secara pulsa maka besar tegangan tiga unit baterai dapat dimonitoring secara *real time*, dimana sensor akan membaca nilai tegangan salah satu baterai saat saklar yang menghubungkan jalur arus masuk ke baterai berada dalam kondisi *idle* sehingga nilai tegangan baterai dapat dibaca oleh sistem. Adapun algoritma untuk mode pengisian arus listrik secara keseluruhan dan pembacaan level tegangan saat persentase SOC baterai naik seperti yang terlihat pada gambar 3.12 sampai dengan gambar 3.15 berikut ini.



Gambar 3.12. *Flowchar* mode pengisian baterai dan proses sensing persentase SOC baterai



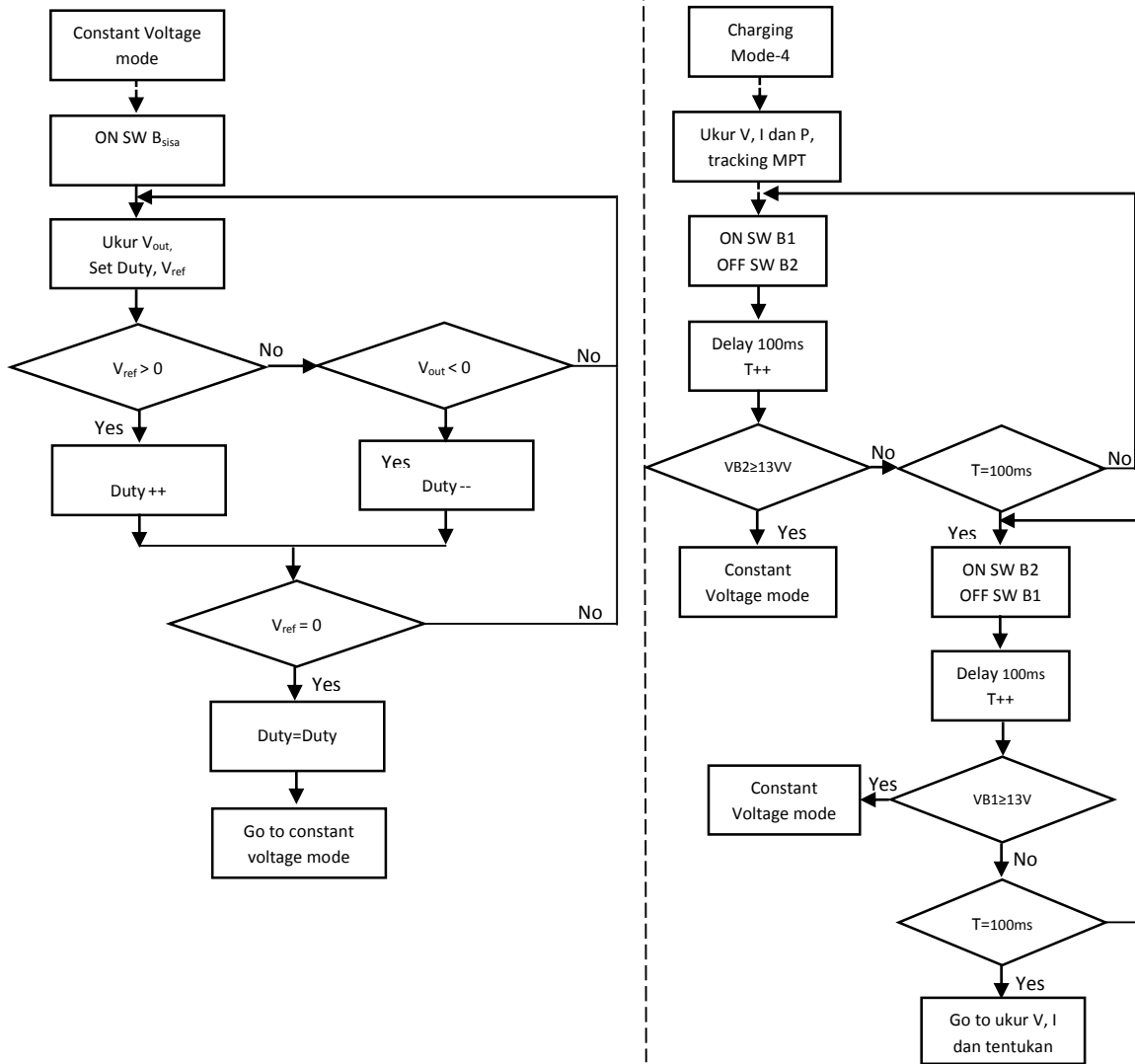
Gambar 3.13. Flowchart pengisian baterai menggunakan mode-1



(a)

(b)

Gambar 3.14. Flowchar pengisian baterai a) mode-2. b) mode-3



(a)

(b)

Gambar 3.15. *Flowchar* pengisian baterai menggunakan mode-4 dan *constant voltage*

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB IV

SIMULASI, PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi sistem terintegrasi *photovoltaic pulse charge* dengan daya 80W yang dihubungkan pada beban tiga unit baterai untuk proses penyimpanan energi, dilakukan perbandingan antara metode MPPT dengan *constant voltage* terhadap tingkat persentase kenaikan SOC pada masing-masing baterai secara simulasi, selain itu juga membahas hasil pengujian rangkaian pendukung dari sistem terintegrasi *photovoltaic pulse charge* dengan menggunakan konsep manajemen pengisian.

4.1. Simulasi Kinerja MPPT PV

Bagian ini akan menerangkan hasil simulasi dan analisis sistem MPPT PV. Simulasi kinerja sistem PV yang dibahas terdiri dari dua bagian, bagian pertama saat kondisi intensitas cahaya dan temperatur yang bervariasi dan bagian kedua yaitu saat kondisi dinamis. Parameter yang akan dianalisa meliputi akurasi MPPT, tegangan keluaran konverter dan analisis daya *output* yang tersalurkan. Tabel 4.1 menunjukkan parameter PV dan konverter tipe sepic

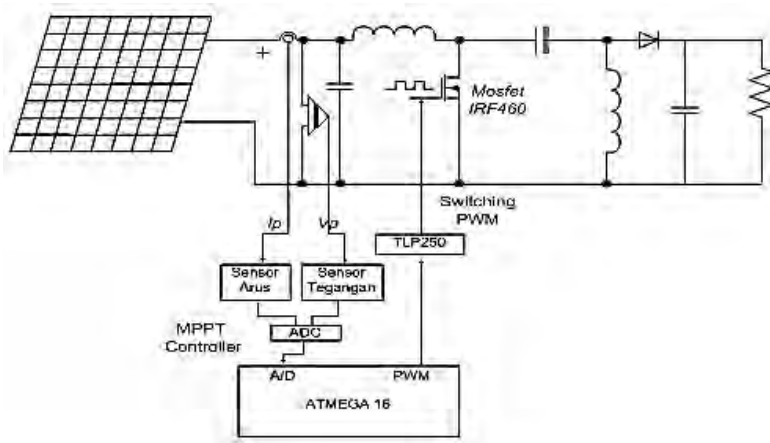
Tabel 4.1 Parameter PV dan Konverter Sepic

Photovoltaic	Sepic
$P_{out} : 80Wp$	$V_{in} : 10 - 20 V$
$V_{mp} : 17,6V$	$L_1 : 0,10268mH$
$I_{mp} : 4,5A$	$L_2 : 0,10268mH$
$V_{oc} : 21,8V$	$C_1 : 518,9uF$
$I_{sc} : 4,98A$	$C_2 : 518,9uF$

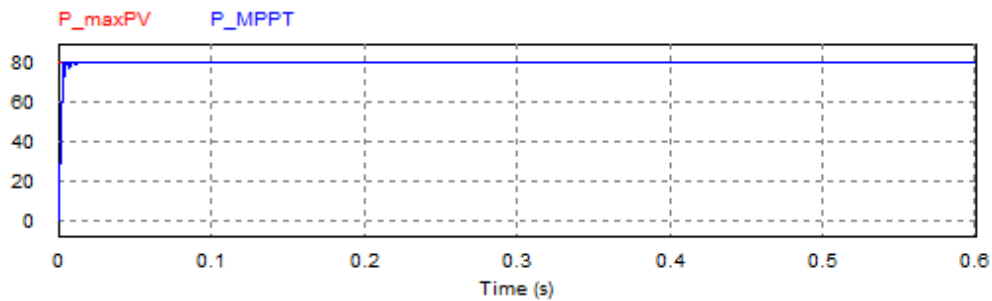
4.1.1. Simulasi Kinerja MPPT PV Saat Kondisi Iradian dan Temperatur Berbeda

Simulasi dilakukan dengan intensitas cahaya mulai dari $500W/m^2$ sampai $1000W/m^2$ dan perubahan temperatur dari $25^{\circ}C$ sampai $40^{\circ}C$ dengan menggunakan

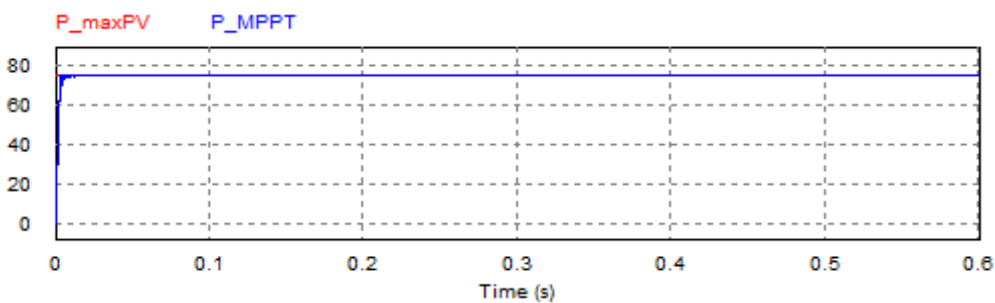
beban sebesar 10Ω . Konfigurasi sistem yang diuji sesuai dengan gambar 4.1. Hasil simulasi perbandingan antara daya keluaran PV dan daya MPPT ditunjukkan pada gambar 4.2 dan gambar 4.3.



Gambar 4.1. Sistem MPPT menggunakan konverter *DC-DC* sepici



Gambar 4.2. MPPT PV : daya PV pada saat 25°C dan iradian 1000 W/m^2



Gambar 4.3. MPPT PV: daya PV pada saat 40°C dan iradian 1000 W/m^2

Pengujian juga dilakukan dalam kondisi yang lain dan dievaluasi seperti halnya saat kondisi temperatur 40°C . Tabel 4.2 menunjukkan perbedaan daya maksimum PV dan daya yang dihasilkan oleh MPPT dalam kondisi yang berbeda-beda. Hasil simulasi menunjukkan daya MPPT yang dihasilkan mengikuti besarnya nilai potensi daya maksimum PV.

Tabel 4.2. Perbandingan Daya Maksimum PV dan Daya MPPT

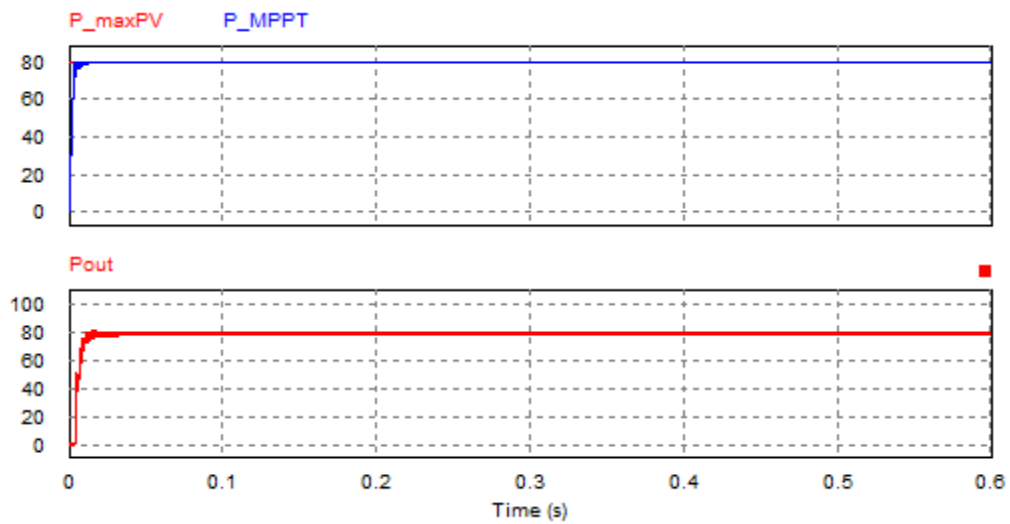
Temperatur (°C)	Iradiasi (W/m ²)	PmaxPV (W)	Pmppt (W)	Error MPPT (%)
25	1000	80	79,91	0,11
25	800	63,81	63,78	0,04
25	700	55,67	55,61	0,10
25	600	47,52	47,48	0,08
25	500	39,36	39,32	0,10
Persentase rata-rata error				0,08
40	1000	74,76	74,61	0,20
40	800	59,69	59,56	0,22
40	700	52,11	52,04	0,13
40	600	44,53	44,50	0,06
40	500	36,93	36,91	0,05
Persentase rata-rata error				0,13

Dari hasil data yang diperoleh diatas maka nilai error MPPT dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut sehingga didapat nilai *error* saat iradian 700 W/m² dan temperatur 40°C:

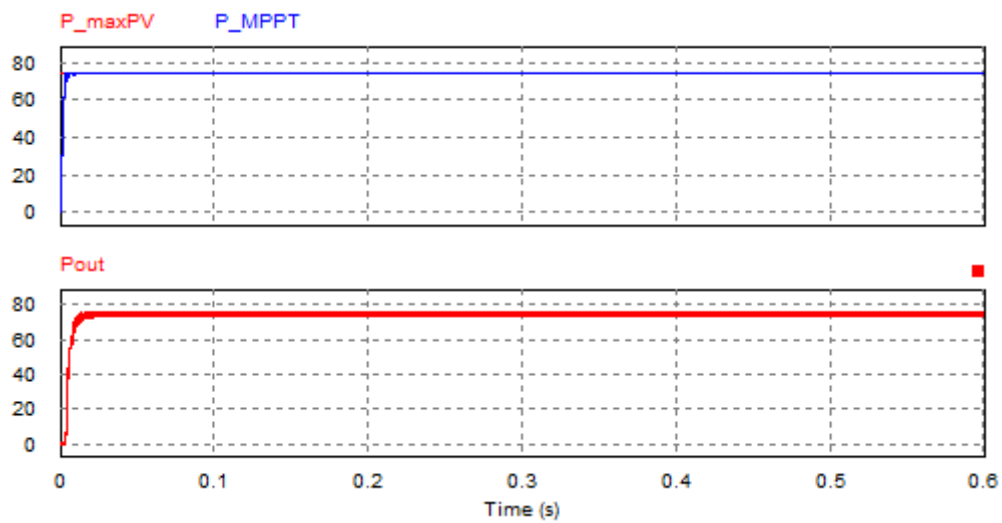
$$\begin{aligned} \text{Error MPPT} &= \frac{|\text{Daya maks. PV} - \text{daya MPPT}|}{\text{Daya maks. PV}} \times 100\% \\ &= \frac{|52,11 - 52,04|}{52,11} \times 100\% = 0,13\% \end{aligned}$$

Pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa error rata-rata MPPT pada temperatur 25°C adalah 0.08% dan saat temperatur 40°C adalah 0,13%.

Berikutnya dilihat hasil simulasi keluaran daya dari rangkaian konverter DC-DC sepic saat proses penjejakan titik daya maksimum dari PV berlangsung dengan menggunakan metode P&O dan *fuzzy rule*, hasil daya keluaran konverter sepic seperti terlihat pada gambar 4.4 dan gambar 4.5.



Gambar 4.4. Daya keluaran konverter sepic saat 25°C, dan iradian 1000 W/m²



Gambar 4.5. Daya keluaran konverter sepic saat 40°C, dan iradian 1000 W/m²

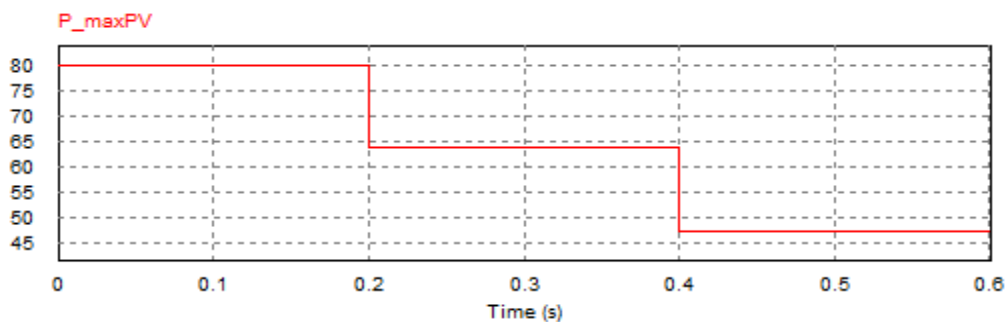
Hasil simulasi didapatkan sinyal respon daya keluaran konverter sepic sama dengan sinyal daya maksimum PV yang dikontrol, hasil perbandingan daya maksimum PV dengan daya keluaran konverter sepic secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Perbandingan Daya MPPT PV dengan Daya Keluaran sepic

Temperatur (°C)	Iradiasi (W/m ²)	PmaxPV (W)	Pout sepic (W)
25	1000	80	77,39
25	800	63,81	61,32
25	700	55,67	55,03
25	600	47,52	47,23
25	500	39,36	38,60
40	1000	74,76	72,00
40	800	59,69	57,32
40	700	52,11	51,77
40	600	44,52	43,20
40	500	36,93	35,44

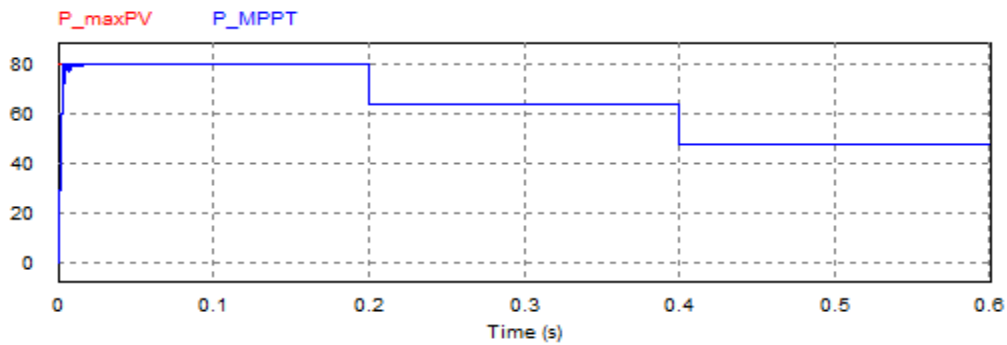
4.1.2. Simulasi Kinerja MPPT PV Saat Kondisi Dinamis

Simulasi sistem MPPT PV saat kondisi dinamis dilakukan dengan memberikan nilai iradian yang berubah-ubah agar dapat dianalisis kinerja kontrol MPPT melalui metode P&O dan *fuzzy rule*. Gambar 4.6 menunjukkan nilai iradian yang diberikan kepada PV selama waktu simulasi dimana temperatur yang diberikan adalah 25°C. Iradian pada detik ke 0 hingga 0,2 bernilai 1000W/m². Kemudian nilainya diturunkan menjadi 800W/m² pada detik ke 0,2 hingga 0,4, selanjutnya iradian pada detik ke 0,4 hingga 0,6 turun menjadi 600 W/m². Nilai iradian 1000W/m² setara dengan daya PV sebesar 80W, sehingga saat iradian 800W/m² sama dengan 63,81W dan iradian 600W/m² setara dengan 47,52W.



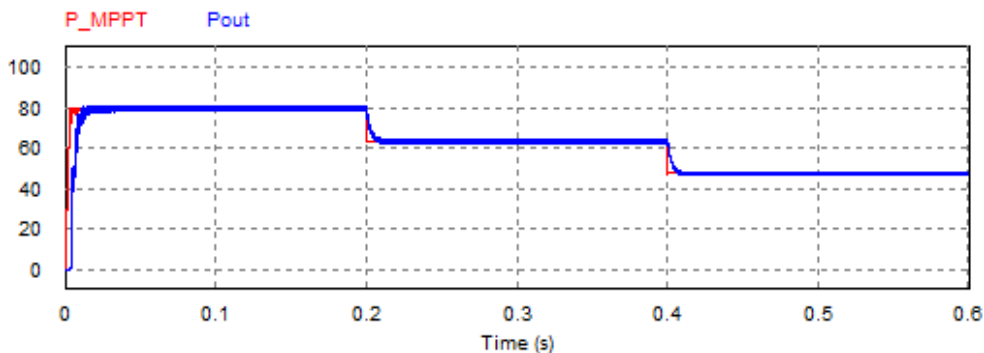
Gambar 4.6. Daya maksimum PV saat kondisi dinamis

Hasil simulasi MPPT dengan metode P&O dapat dilihat pada gambar 4.7. Pada gambar tersebut metode P&O mampu mengikuti nilai dari daya maksimum walaupun terjadi perubahan intensitas cahaya. Saat iradian 1000 W/m^2 atau daya PV bernilai 80 W , daya MPPT PV yang dibangkitkan dengan metode P&O sebesar $79,80 \text{ W}$, ketika iradian turun menjadi 800 W/m^2 maka daya MPPT yang dihasilkan sebesar $63,70 \text{ W}$ dan daya MPPT sebesar $47,49 \text{ W}$ saat iradian 600 W/m^2 .



Gambar 4.7. Daya MPPT saat kondisi dinamis

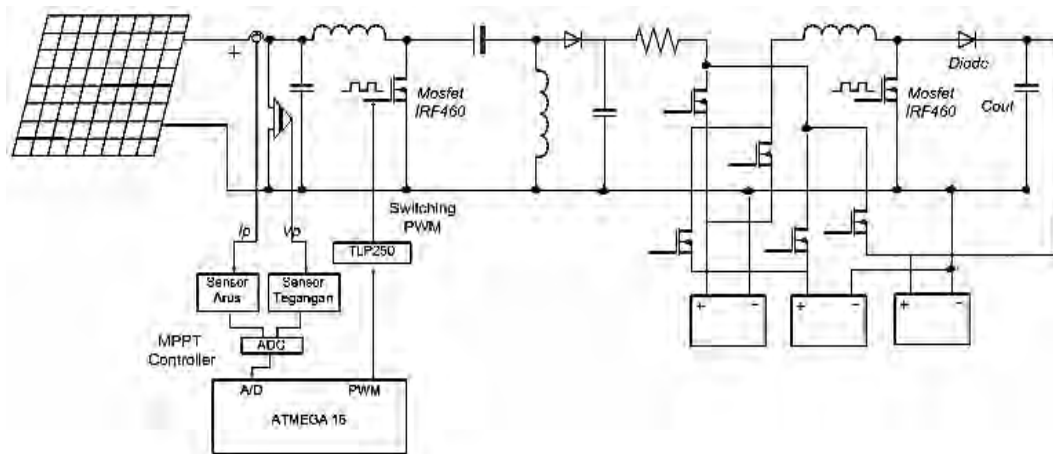
Gambar 4.8 menunjukkan nilai daya keluaran yang terukur dari konverter sepic. Pada detik ke 0 hingga 0,2, intensitas cahaya sebesar 1000 W/m^2 menghasilkan daya keluaran dari konverter senilai $77,39 \text{ W}$. Intensitas cahaya turun menjadi 800 W/m^2 pada detik 0,2 hingga 0,4 sehingga daya keluaran konverter turun menjadi $61,32 \text{ W}$. Intensitas cahaya turun secara signifikan menjadi 600 W/m^2 pada detik ke 0,4 hingga 0,6 dan daya keluaran konverter yang terukur menjadi $47,23 \text{ W}$.



Gambar 4.8 Daya MPPT PV dan daya output konverter DC-DC sepic

4.2. Simulasi *Photovoltaic Pulse Charge* Dengan Konsep *Charge Management*

Bagian ini akan menerangkan hasil simulasi dan analisis pengisian arus listrik yang bersumber dari PV 80W pada tiga unit baterai dengan teknik pengisian pulsa menggunakan konsep manajemen pengisian baterai. Simulasi yang dibahas mulai dari pengujian konverter sepic dan boost, kemudian membahas tentang proses pengisian arus listrik pada tiga unit baterai dengan persentase SOC baterai-1 sebesar 90%, baterai-2 sebesar 20% dan baterai-3 sebesar 30% dan berikutnya membahas tentang proses pengisian arus listrik ke baterai saat salah satu SOC baterai mencapai kondisi maksimal (SOC=100%) dan proses pemindahan metode dari MPPT ke *constant voltage* di saat SOC dua unit baterai sudah mencapai kondisi maksimum. Rangkaian terintegrasi *photovoltaic pulse charge* dan parameter komponen pendukungnya seperti yang terlihat pada gambar 4.9 dan tabel 4.4



Gambar 4.9 Rangkaian terintegrasi *photovoltaic pulse charge*

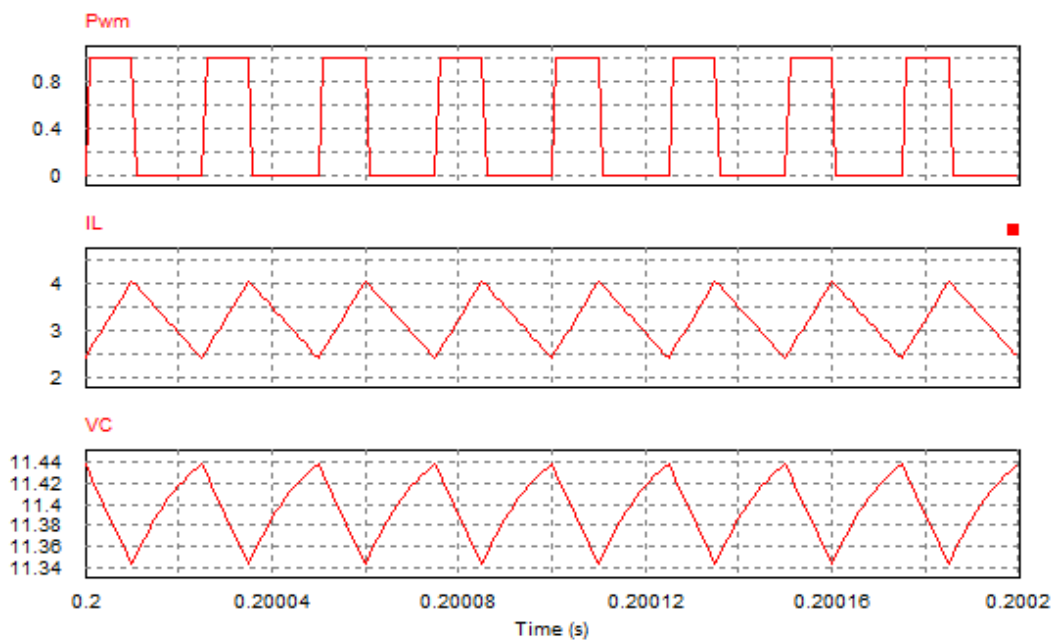
Tabel 4.4 Parameter Konverter DC-DC

Parameter	Nilai	
	Sepic	Boost
Tegangan Input (V_{in})	10 – 20V	10 – 14,4V
Induktor (L_1)	0,10268mH	147,7uH
Induktor (L_2)	0,10268mH	-
Kapasitor (C_1)	518,9uF	2586,2uF
Kapasitor (C_2)	518,9uF	-

4.2.1 Simulasi Konverter Sepic

Pengujian konverter sepic ini dilakukan secara terpisah dari sistem PV. Dalam pengujian ini akan diamati bentuk sinyal PWM, tegangan keluaran konverter dan arus induktor dengan menggunakan beban resistor, dimana parameter konverter sepic seperti yang terlihat pada dengan tabel 4.4

Gambar 4.10 memperlihatkan hasil simulasi sinyal PWM, arus induktor (I_{Induktor}) dan *ripple* tegangan keluaran dari konverter sepic. Nilai *duty cycle* yang diberikan sebesar 0,40. Hasil simulasi menunjukkan nilai *ripple* arus inductor sebesar $4,05 - 2,39 = 1,66\text{A}$, sedangkan besar *ripple* tegangan keluaran pada konverter sepic dengan menggunakan kapasitor sebesar $518,9 \mu\text{F}$ diperoleh *ripple* tegangan sebesar $11,44 - 11,34 = 0,1\text{V}$



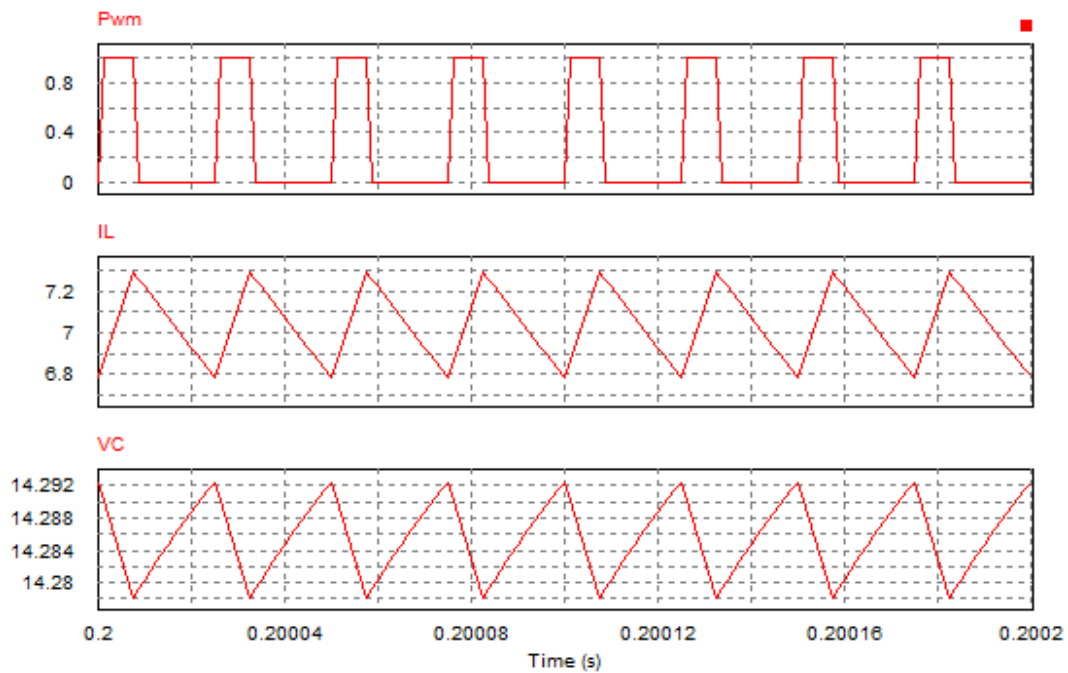
Gambar 4.10. Sinyal PWM, ripple arus induktor (I_{Induktor}) dan ripple tegangan output konverter sepic

4.2.2 Simulasi Konverter Boost

Pengujian konverter boost ini dilakukan dengan memberikan tegangan input sebesar 10V , nilai *duty cycle* sebesar 0,30 dan beban resistor sebesar $2,9\Omega$, nilai parameter ini disesuaikan dengan hasil perhitungan konverter boost. Pengujian ini

dilakukan untuk melihat bentuk sinyal PWM, tegangan keluaran konverter dan arus induktor dengan parameter konverter boost seperti yang terlihat pada tabel 4.4

Gambar 4.11 memperlihatkan hasil simulasi sinyal PWM, arus induktor (I_{Induktor}) dan tegangan kapasitor. Nilai *duty cycle* yang diberikan sebesar 0,30. Saat sinyal PWM bernilai satu maka mosfet dalam kondisi ON, arus induktor meningkat (*charging*). Sedangkan ketika sinyal PWM bernilai nol maka arus induktor terlihat menurun (*discharging*). Hasil simulasi menunjukkan nilai *ripple* arus induktor sebesar $7,29 - 6,78 = 0,51\text{A}$, sedangkan besar *ripple* tegangan output konverter *boost* sebesar $14,29 - 14,27 = 0,020\text{ V}$.

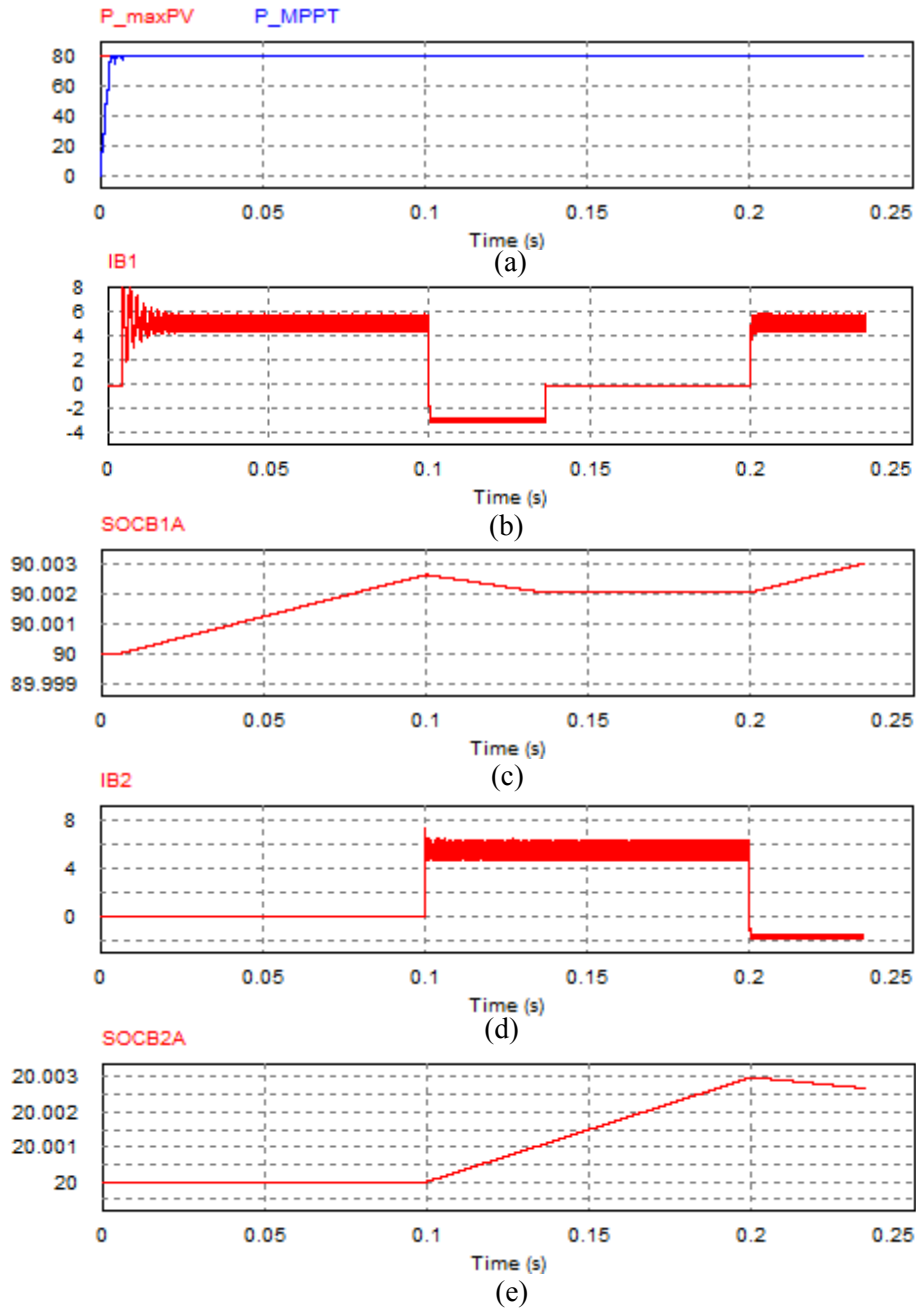


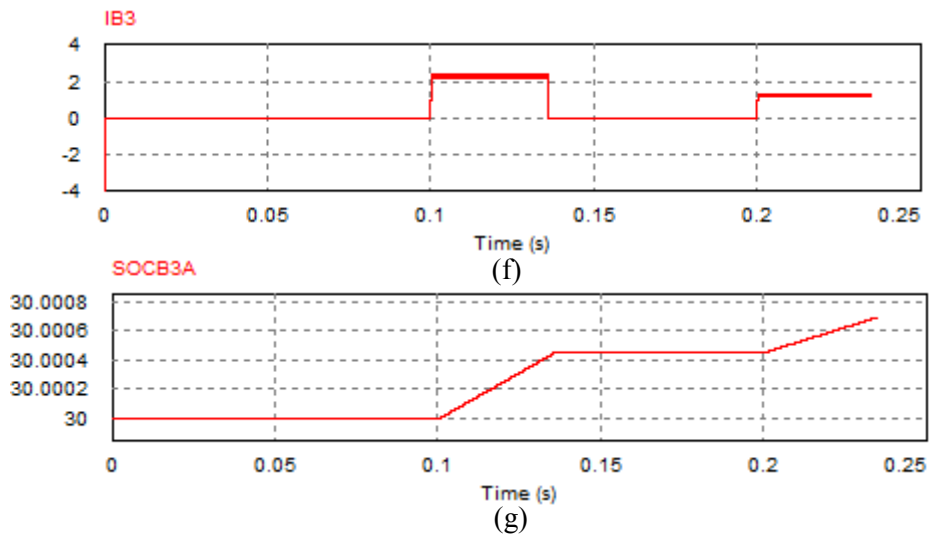
Gambar 4.11. Sinyal PWM dan arus induktor (I_{Induktor}) dan *ripple output* konverter boost

4.2.3 Simulasi *Photovoltaic Pulse Charge* Menggunakan Baterai 12V/5Ah

Pada simulasi ini, proses simulasi *photovoltaic pulse charge* dengan menggunakan tiga unit baterai sebagai beban dilakukan dalam satu siklus pengisian yang terdiri dari *pulse charge* dan *burp charge*. Dalam proses simulasi ini akan diamati arus *charging* yang menuju pada tiga unit baterai, arus *discharging* baterai-1 dan baterai-2 dan SOC masing-masing baterai. Simulasi dilakukan dengan intensitas cahaya 1000W/m^2 dan temperatur 25°C , berdasarkan pemodelan baterai,

kapasitas baterai-1 di set sebesar 90%, baterai-2 sebesar 20% dan baterai-3 sebesar 30%. Hasil simulasi besar arus *charging* pada tiga unit baterai, arus *discharging* baterai-1 dan baterai-2 dan SOC masing-masing baterai ditunjukkan pada gambar 4.12 berikut





Gambar 4.12 a) Hasil tracking MPPT PV. b),c), arus pengisian dan SOC baterai-1, d),e) arus pengisian dan SOC baterai-2. f),g) arus pengisian dan SOC baterai-3

Berdasarkan hasil simulasi diatas dapat dilihat teknik pengisian arus pulsa untuk masing-masing baterai, dimana durasi waktu satu siklus pengisian yaitu baterai-1 adalah 0,100 detik, baterai-2 sebesar 0,100 detik dan proses *burp charge* (*discharging*) pada baterai-1 adalah 0,035 detik. Dari hasil simulasi yang diperoleh maka dapat ditentukan perioda satu siklus arus pengisian yang menuju pada tiga unit baterai.

$$\begin{aligned}
 T_{P2} &= T_1 + T_2 + T_3 \text{ dimana } T_2 = T_{B1dis} + T_{B1idle} \text{ dan } T_3 = T_{B2dis} \\
 &= T_1 + T_{B1dis} + T_{B1idle} + T_{B2dis} = 0,0100 + 0,035 + 0,065 + 0,035 \\
 &= 0,235 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Dengan frekuensi *duty cycle* konverter sepic sebesar 40KHz, maka dapat ditentukan banyak sinyal pulsa arus listrik kecil yang menuju pada masing-masing baterai.

$$T_{P1} = \frac{1}{Frek} = \frac{1}{40000 \text{ Hz}} = 2,5 \times 10^{-5} \text{ detik maka}$$

$$T_1 = p_1 T_{P1} \text{ (Persamaan 2.42)}$$

$$p_1 = \frac{T_1}{T_{P1}} = \frac{0,100}{2,5 \times 10^{-5}} = 4000$$

$$T_2 = p_2 T_{P1}$$

$$p_2 = \frac{T_2}{T_{P1}} = \frac{0,100}{2,5 \times 10^{-5}} = 4000$$

$$T_3 = p_3 T_{p1}$$

$$p_3 = \frac{T_3}{T_{p1}} = \frac{0,035}{2,5 \times 10^{-5}} = 1400$$

Berdasarkan hasil perhitungan $p_1, p_2,$ dan p_3 diatas maka dapat dihitung persentase sinyal pulsa arus listrik kecil yang menuju pada masing-masing baterai

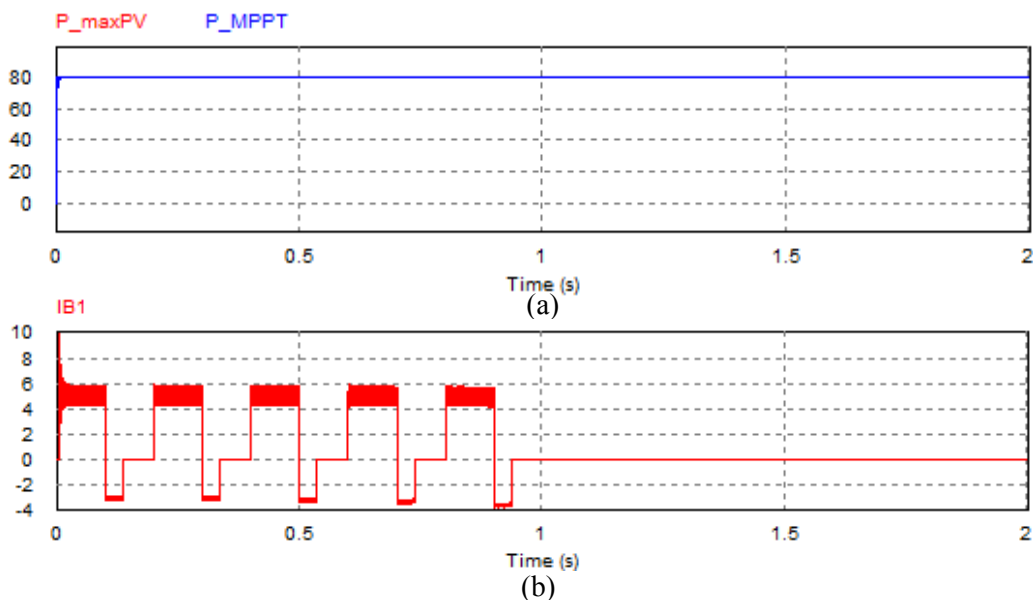
$$\%p_1 = \frac{p_1}{p_1 + p_2} \times 100 = \frac{4000}{4000 + 4000} \times 100 = 0,5 = 50\%$$

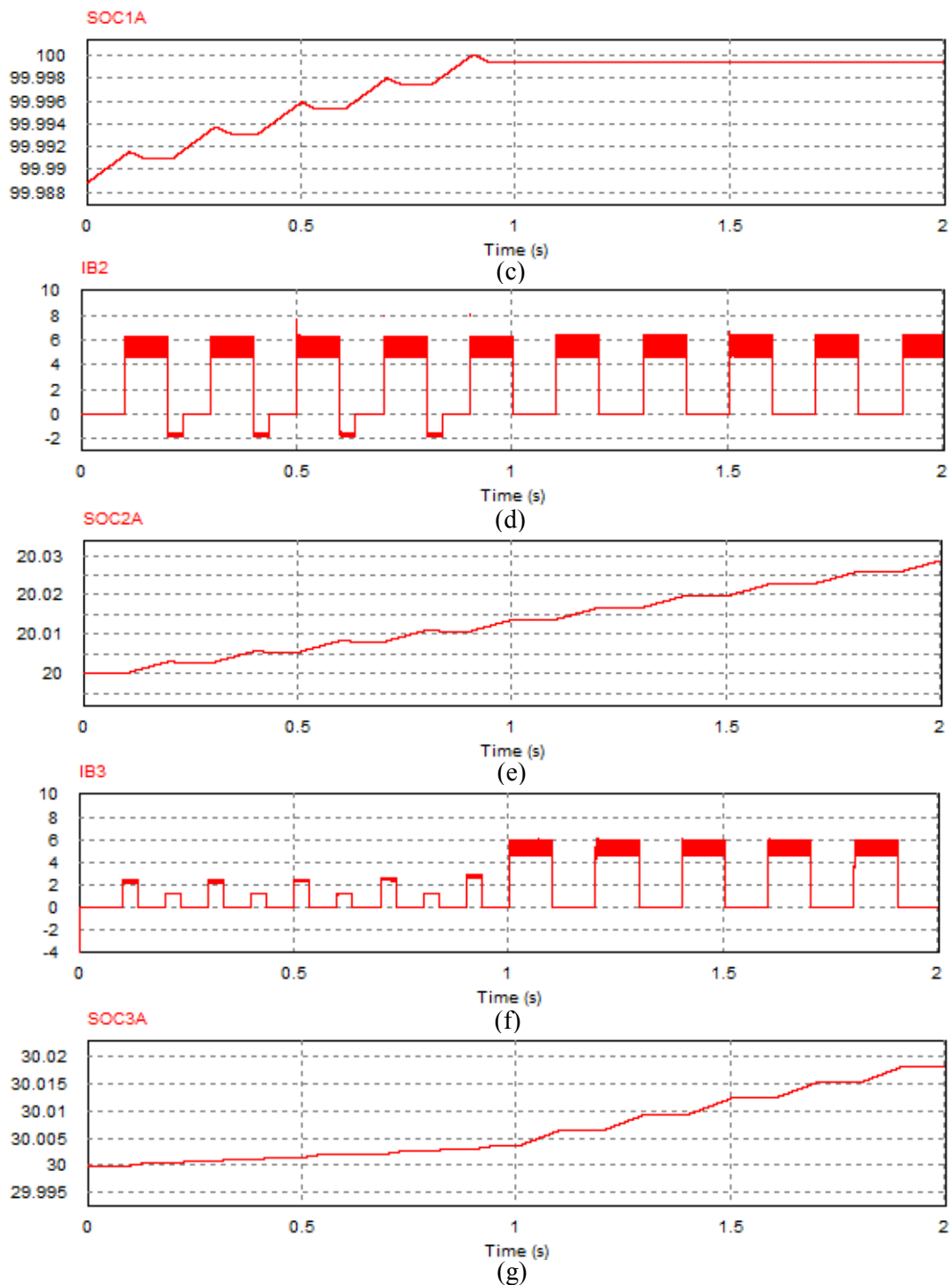
$$\%p_2 = \frac{p_2}{p_1 + p_2} \times 100 = \frac{4000}{4000 + 4000} \times 100 = 0,5 = 50\%$$

$$\%p_3 = \frac{p_3}{p_1 + p_2} \times 100 = \frac{1400}{4000 + 4000} \times 100 = 0,175 = 17,5\%$$

4.2.4 Simulasi *Photovoltaic Pulse Charge* Saat Salah Satu SOC Baterai Mencapai Maksimum

Simulasi berikut ini menunjukkan saat kondisi SOC salah satu dari tiga unit baterai mencapai persentase maksimum dengan arus pengisian bersumber dari PV dan intensitas cahaya 1000W/m^2 pada temperatur 25°C serta kapasitas tiga unit baterai sebesar baterai-1 di set 99%, baterai-2 sebesar 20% dan baterai-3 di set 30%. Hasil simulasi arus pengisian pada baterai-1, baterai-2, baterai-3 ditunjukkan pada gambar 4.13



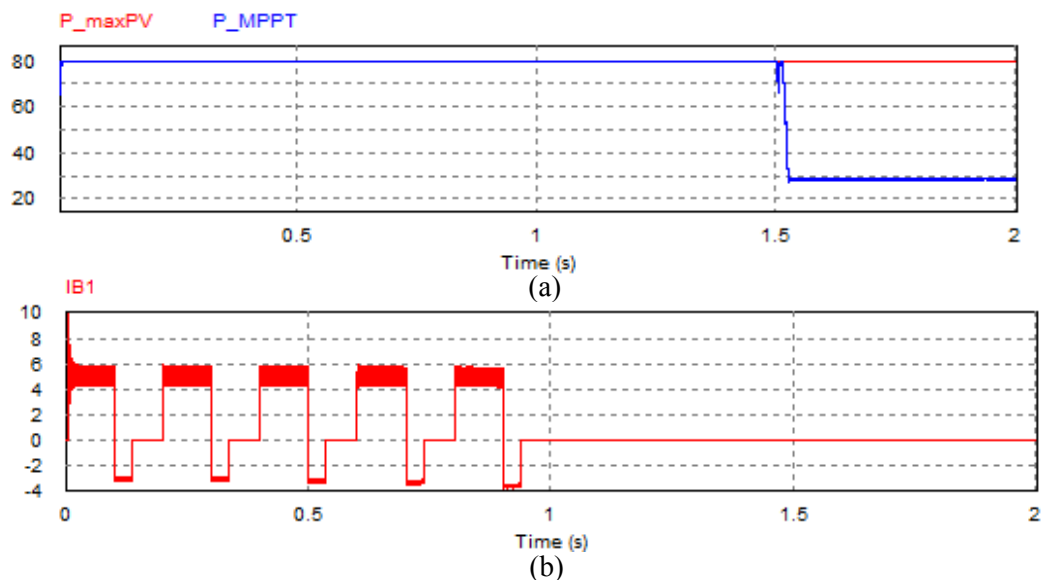


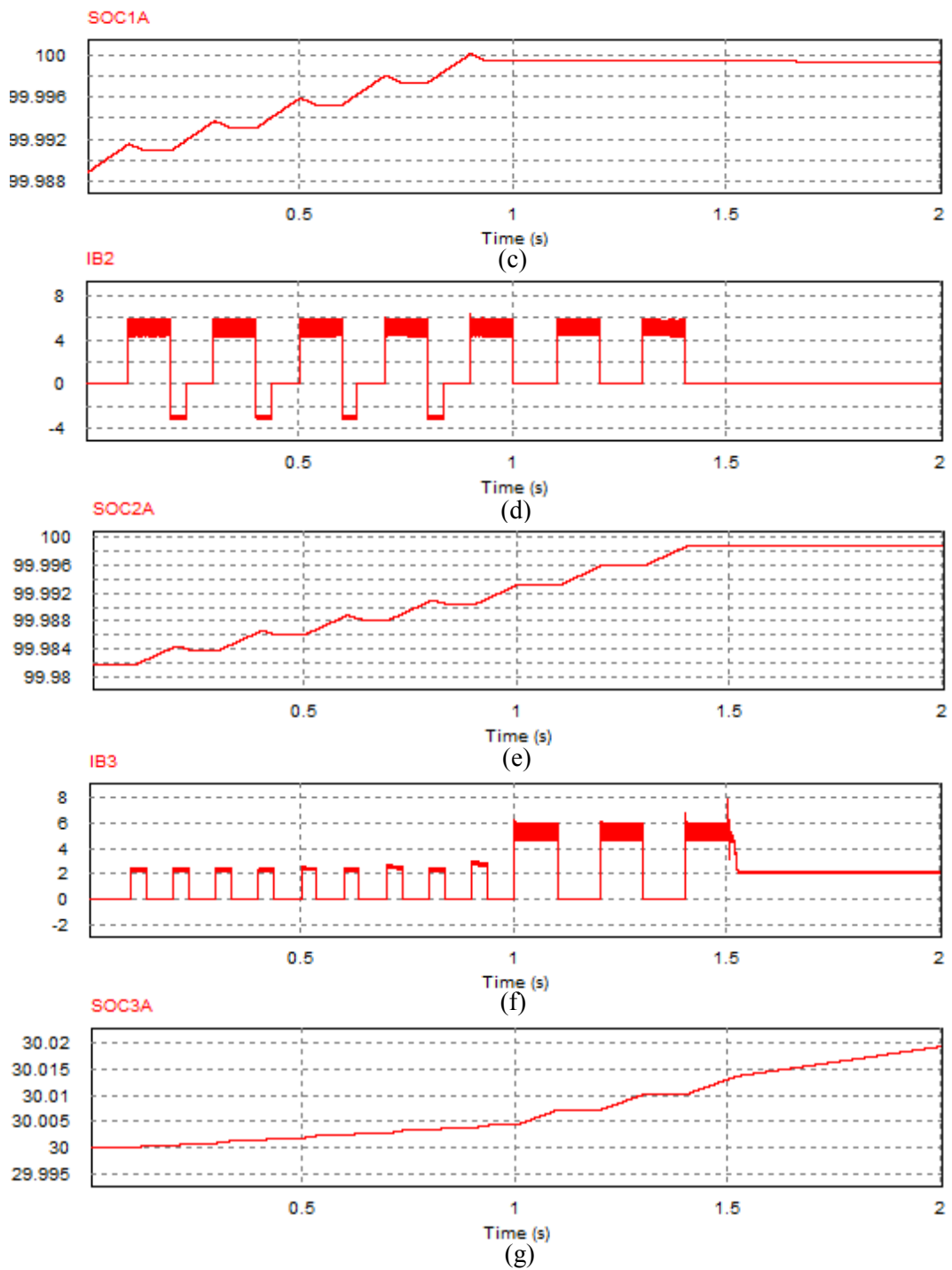
Gambar 4.13 a) Hasil tracking MPPT PV. b),c), arus pengisian dan SOC baterai-1, d),e) arus pengisian dan SOC baterai-2. f),g) arus pengisian dan SOC baterai-3.

Dari hasil simulasi diatas dapat dilihat teknik pengisian arus pulsa untuk masing-masing baterai. Saat SOC baterai-1 mencapai persentase 100% maka

langkah yang diambil oleh sistem adalah melakukan pemutusan jalur pengisian arus listrik pada baterai-1 dan menghentikan proses *burp charge* dari baterai-1 ke baterai-3. Seperti yang terlihat pada gambar 4.13(b,d,f), pada durasi waktu 0,935 detik arus pengisian baterai-1 terputus, kemudian sistem melanjutkan proses pengisian arus listrik untuk dua unit baterai yang tersisa yaitu baterai-2 dan baterai-3, dalam durasi waktu 0,935 sampai 2 detik terlihat arus sumber dari PV disuplay ke baterai-2 dan baterai-3.

Gambar 4.14 memperlihatkan kondisi dimana sistem pengontrolan melakukan perubahan metode pengisian dari metode MPPT ke *constant voltage*. Tindakan ini dilakukan oleh sistem disaat persentase SOC kedua unit baterai sudah mencapai batas maksimum sehingga arus pengisian dengan teknik pulsa tidak dapat dilakukan lagi karena dapat mengganggu proses *power balancing* dari PV, dikarenakan persentase SOC baterai yang belum mencapai batas maksimum hanya tersisa satu unit. Proses perubahan metode pengisian ini dilakukan untuk menghindari besarnya arus listrik yang terdistribusi ke baterai secara terus menerus tanpa mengalami kondisi break. Pada kondisi ini sistem akan melakukan pemindahan metode pengisian dari metode MPPT ke *constant voltage* dan sekaligus menghentikan proses penjejakan MPP PV. Hasil simulasinya memperlihatkan metode *constant voltage* terjadi pada durasi waktu 1,5 detik dimana arus pengisian pada baterai-3 mengalami proses penurunan signifikan seperti yang terlihat pada gambar 4.14(f).

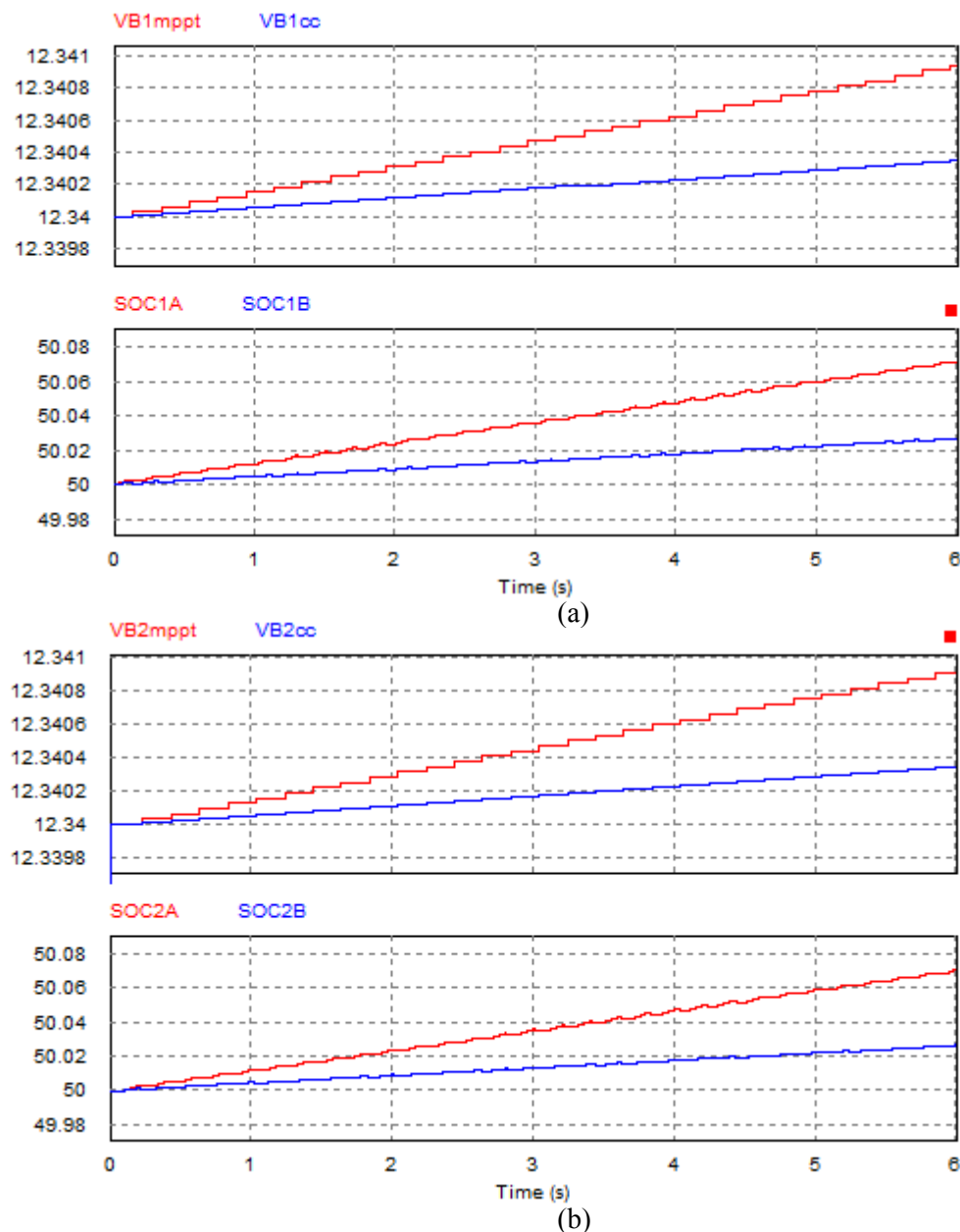


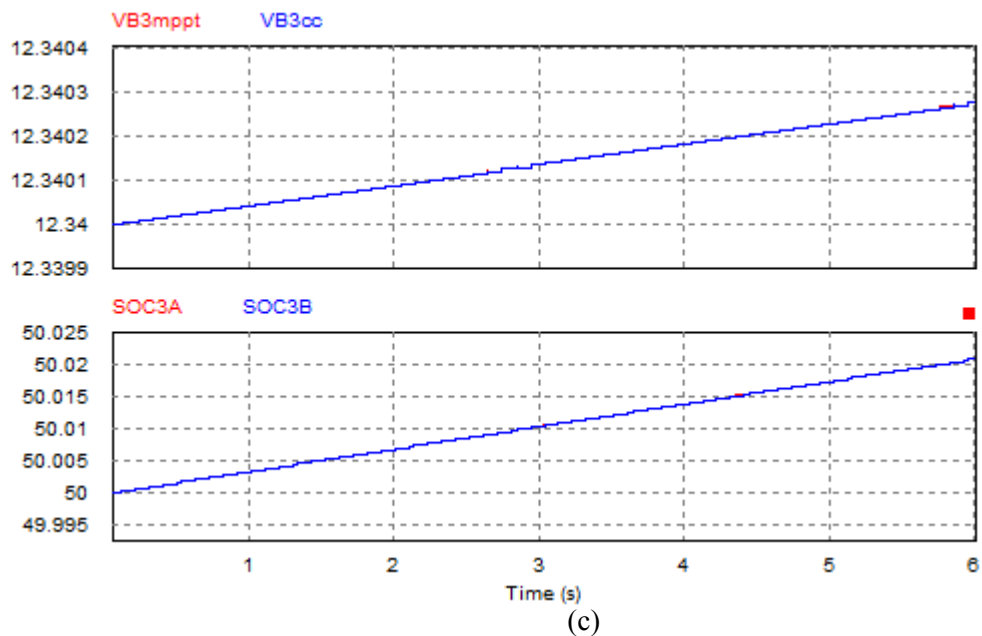


Gambar 4.14 a) Hasil tracking MPPT PV. b),c), arus pengisian dan SOC baterai-1, d),e) arus pengisian dan SOC baterai-2. f),g) arus pengisian dan SOC baterai-3 saat peralihan dari metode MPPT ke *constant voltage*

4.3 Perbandingan Tingkat Kenaikan SOC Baterai Antara Metode MPPT dan Constant Voltage Pada Photovoltaic Pulse Charge (PPC)

Simulasi pengisian arus listrik ke baterai menggunakan metode MPPT dan *constant voltage* dilakukan untuk melihat perbandingan kenaikan standar persentase SOC baterai melalui monitoring nilai tegangan baterai dan juga tingkat keefektifan dari kedua metode tersebut. Nilai tegangan *constant voltage* dalam pengujian ini diberikan sebesar 13,8V, kedua metode ini disimulasikan pada intensitas cahaya 1000W/m^2 dan temperatur 25°C . Hasil simulasi perbandingan tingkat kenaikan persentase SOC ditunjukkan pada gambar 4.15.





Gambar 4.15 Tingkat kenaikan tegangan dan persentase SOC. a) baterai-1, b) baterai-2, c) baterai-3 antara metode MPPT dan *constant voltage*.

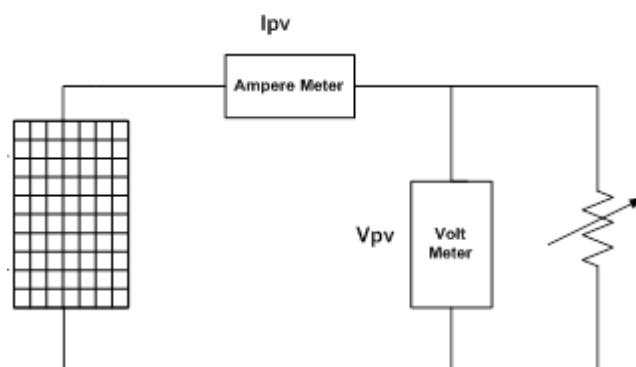
Gambar 4.15 menunjukkan tingkat kenaikan persentase SOC masing-masing baterai dengan teknik *pulse charge* menggunakan metode MPPT dan *constant voltage* pada durasi pengisian selama 6 detik. Kondisi SOC awal masing-masing baterai adalah 50% dengan tegangan baterai sebesar 12,34V. Berdasarkan hasil simulasi maka dapat dilihat sinyal pengisian dengan metode MPPT (kurva biru) dimana baterai-1 mengalami tingkat kenaikan SOC menjadi 50,071% dan tegangannya sebesar 12,34094V, baterai-2 naik menjadi 50,070% dengan tegangannya 12,3409V dan SOC baterai-3 naik menjadi 50,020% dengan kenaikan tegangannya 12,34027V. Sedangkan untuk pengisian menggunakan metode *constant voltage* (kurva merah) tingkat kenaikan persentase SOC pada baterai-1 sebesar 50,026% dan tegangannya 12,34035V, baterai-2 tingkat kenaikan SOC menjadi 50,026% dengan tegangannya 12,34034V dan SOC baterai-3 naik menjadi 50,020% dengan level kenaikan tegangannya 12,34027V. Dari data hasil tersebut maka dapat dilihat bahwa tingkat kenaikan SOC pada metode MPPT diperoleh: baterai-1 sebesar 0,071%, baterai-2 sebesar 0,070% dan baterai-3 sebesar 0,020%, sedangkan pada metode *constant voltage* tingkat rata-rata kenaikan SOC pada baterai-1 sebesar 0,026%, baterai-2 sebesar 0,026% dan baterai-3 sebesar 0,020% dalam durasi 6 detik, Berdasarkan data tersebut

dapat disimpulkan bahwa rata-rata tingkat persentase kenaikan SOC tiga unit baterai dengan metode MPPT diperoleh sebesar 0,0053% dan *constant voltage* sebesar 0,024%, sehingga tingkat kenaikan persentase SOC baterai menggunakan metode MPPT lajunya lebih cepat dibandingkan dengan metode *constant voltage*.

4.4 Implementasi Konsep Manajemen Pengisian Baterai Pada Sistem PV Standalone

4.4.1 Pengujian Karakteristik Photovoltaic

Pengujian PV dilakukan untuk mengetahui kurva karakteristik arus terhadap tegangan PV dan kurva karakteristik daya terhadap tegangan. Alat ukur yang digunakan untuk pengujian PV yaitu *Voltmeter*, *Amperemeter*. Beban yang digunakan pada pengujian PV yaitu menggunakan resistor geser.



Gambar 4.16 Rangkaian pengujian PV dengan beban Resistor

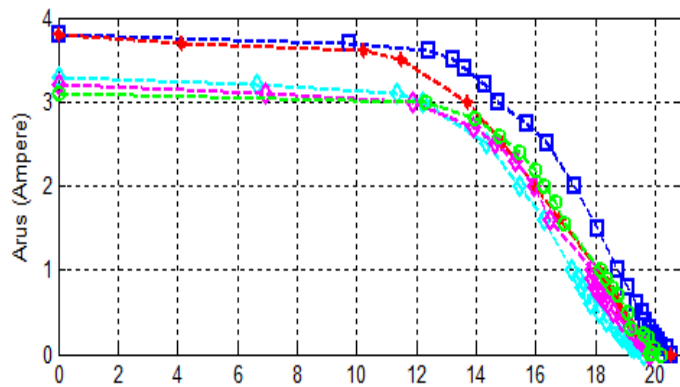
Saat menggunakan beban resistor geser, PV dihubungkan dengan tahanan yang sangat kecil untuk pengukuran I_{sc} dan untuk mengukur V_{oc} maka nilai resistansi beban diperbesar sampai nilai arus mendekati nol.

Pengambilan data arus dan tegangan juga dilakukan secara manual yaitu menggeser resistor geser secara bertahap dan setiap tahap dicatat nilai tegangan dan arus yang terukur. pengambilan dilakukan mulai pukul 10:00 sampai dengan pukul 14:00. Pada setiap jam dilakukan pengambilan data arus dan tegangan. Pengambilan dengan cara manual ini terdapat kekurangan yaitu pada setiap pengambilan data untuk setiap kurva karakteristik dilakukan dalam periode yang

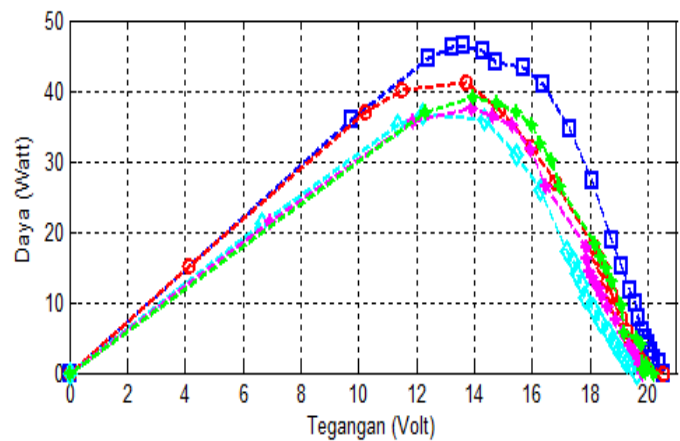
lebih lama, sehingga kemungkinan terjadi perubahan Iradiasi selama periode pengambilan dan akibatnya data yang terambil kurang akurat.

Tabel 4.5 Pengujian Karakteristik Modul PV Daya 80W

10:00		11:00		12:00		13:00		14:00	
Teg. (V)	Arus (A)	Teg. (V)	Arus (A)	Teg. (V)	Arus (A)	Teg. (V)	Arus (A)	Teg. (V)	Arus (A)
20,56	0	20,55	0	19,63	0	19,83	0	20,22	0
20,39	0,068	19,88	0,067	19,43	0,06	19,70	0,065	19,96	0,06
20,20	0,1	19,77	0,09	19,29	0,08	19,65	0,1	19,90	0,1
20,11	0,15	19,67	0,12	19,20	0,1	19,53	0,15	19,83	0,15
20,03	0,2	19,52	0,18	19,08	0,15	19,40	0,2	19,75	0,2
19,93	0,25	19,40	0,24	18,91	0,2	19,14	0,3	19,64	0,25
19,83	0,3	19,30	0,3	18,80	0,25	18,89	0,4	19,52	0,3
19,69	0,4	19,11	0,4	18,64	0,3	18,62	0,5	19,19	0,5
19,55	0,5	18,9	0,5	18,35	0,4	18,42	0,6	18,75	0,7
19,39	0,6	18,77	0,6	18,12	0,5	18,30	0,65	18,56	0,8
19,07	0,8	18,59	0,7	17,85	0,6	18,16	0,7	18,34	0,9
18,76	1,0	18,45	0,8	17,73	0,7	18,06	0,75	18,18	1,0
18,08	1,5	18,26	0,9	17,55	0,8	18,0	0,8	16,98	1,66
17,32	2,0	18,14	1,0	17,42	0,9	17,89	0,9	16,69	1,8
16,38	2,5	17,37	1,5	17,21	1,0	17,86	1,0	16,26	2,0
15,72	2,75	16,8	1,6	16,28	1,6	16,50	1,6	15,91	2,2
14,72	3,0	16,00	2,0	15,46	2,0	15,92	2,0	15,48	2,4
14,29	3,2	14,6	2,5	14,33	2,5	15,30	2,3	14,77	2,6
13,64	3,4	13,7	3,0	12,20	3,0	14,62	2,5	13,95	2,8
13,21	3,5	11,49	3,5	11,35	3,1	13,90	2,7	12,30	3,0
12,42	3,6	10,24	3,6	6,63	3,2	11,90	3,0	09,40	3,1
9,73	3,7	4,12	3,7	4,10	3,3	06,94	3,1	4,06	3,1
0	3,8	0	3,8	0	3,3	0	3,2	0	3,1



(a)



(b)

Gambar 4.17 Kurva karakteristik I-V dan P-V saat pengujian

Pada pengujian karakteristik PV 80W diatas diperoleh hasil pengujian untuk titik daya maksimum diantaranya pada pengujian pukul 10:00 titik daya maksimum diperoleh sebesar 46,3W saat nilai tegangan 13,64V dan arus sebesar 3,4A, sedangkan pada pukul 11:00 titik daya maksimum diperoleh saat nilai tegangan 13,70V dan arus sebesar 3A sehingga nilai daya yang didapat sebesar 41,1W, pada pukul 12:00 titik daya maksimum diperoleh saat nilai tegangan 12,20V dan arus sebesar 3A sehingga daya yang didapat sebesar 36,6W, pukul 13:00 titik daya maksimum diperoleh pada tegangan 13,90V dan arus sebesar 2,7A sehingga nilai daya yang didapat sebesar 37,5W, sedangkan pada pukul 14:00 titik daya maksimum diperoleh sebesar 39W saat nilai tegangannya 13,95V dan arus sebesar 2,8A .

4.4.2 Pengujian Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan adalah pembagi tegangan (*voltage divider*). *Voltage divider* ini berfungsi mendeteksi tegangan keluaran dari PV agar dapat diproses oleh mikrokontroler. Pembagi tegangan ini dirancang dengan tegangan keluaran sebesar 5V. Pengujian pembagi tegangan ini bertujuan untuk mengetahui hasil *sensing* tegangan dan membandingkan dengan teori pembagi tegangan (*voltage divider*) sehingga akan diketahui sesuai dari hasil pengukuran tersebut. Pengujian dilakukan pada tegangan input 0V sampai 22V. Rangkaian dan posisi sensor tegangan seperti yang diperlihatkan pada area lingkaran di dalam gambar 4.18, sedangkan hasil pengujiannya diperlihatkan pada tabel 4.6



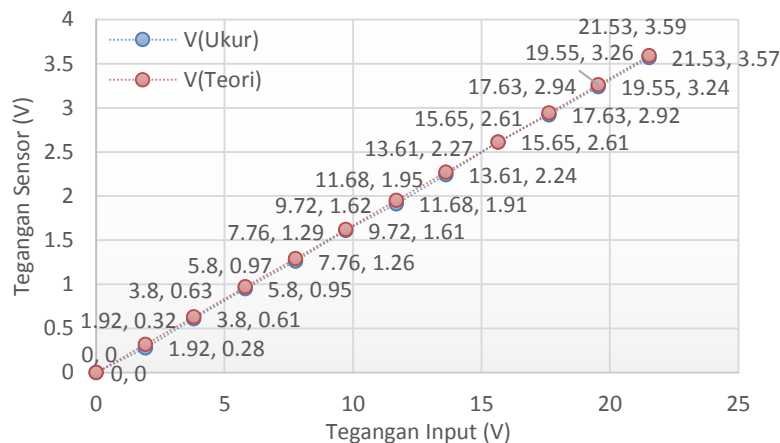
Gambar 4.18. Pengujian sensor tegangan

Tabel 4.6. Pengujian Sensor Tegangan

V_{in} (V)	Display LCD (V)	Tegangan Sensor		Error (%)
		$V_{perhitungan}$ (V)	$V_{pengukuran}$ (V)	
0	0	0	0	0
1,92	1,89	0,32	0,28	1,6
3,8	3,78	0,63	0,61	0,5
5,8	5,75	0,97	0,95	0,9
7,76	7,65	1,29	1,26	1,4
9,72	9,71	1,62	1,61	0,1
11,68	11,63	1,95	1,91	0,4
13,61	13,57	2,27	2,24	0,3

V_{in} (V)	Display LCD (V)	Tegangan Sensor		Error (%)
		$V_{perhitungan}$ (V)	$V_{perhitungan}$ (V)	
15,65	15,65	2,61	2,61	0,0
17,63	17,6	2,94	2,92	0,2
19,55	19,53	3,26	3,24	0,1
21,53	21,51	3,59	3,57	0,1

Dari pengujian sensor tegangan diatas didapatkan data hasil pengujian tegangan secara pengukuran/pengujian dan juga perhitungan teori. Gambar 4.19 menunjukkan grafik hasil pengujian sensor tegangan berdasarkan data tegangan *input* yang diberikan.



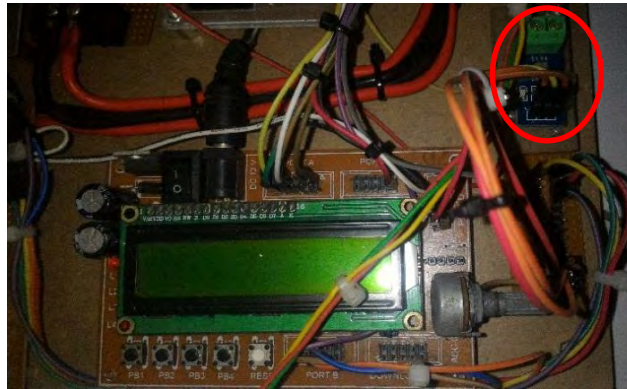
Gambar 4.19. Karakteristik sensor tegangan

Dari gambar 4.19 menunjukkan grafik karakteristik dari sensor tegangan, dimana tegangan *output* sensor berdasarkan perhitungan dengan tegangan *output* hasil pengukuran adalah linier.

4.4.3 Pengujian Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan adalah sensor arus ACS712-20A. Sensor ini merupakan sensor arus yang bekerja berdasarkan *hall effect* dan memiliki karakteristik yang linier dimana sensitivitas sensor adalah 100 mV/A. Tegangan sensor arus ACS712-20A pada saat arus 0A adalah 2,5V sedangkan perubahan tegangan pada saat *sensing* arus sebesar 1A adalah sebesar 0,100mV/A. Pengujian

dilakukan dengan beban tahanan 10Ω yang dihubungkan dengan *power supply*. Tegangan *power supply* dinaikkan sampai mencapai 2,2A dengan *step* kenaikan 0,2A. *Output* dari sensor diukur menggunakan alat ukur untuk mendapatkan hasil pengukurannya. Data hasil pengujian sensor arus yaitu arus input dan tegangan output sensor arus dicatat pada tabel 4.7. Rangkaian dan posisi sensor arus seperti yang diperlihatkan pada area lingkaran di dalam gambar 4.20



Gambar 4.20 Modul Sensor Arus ACS 712

Tabel 4.7. Pengujian Sensor Arus

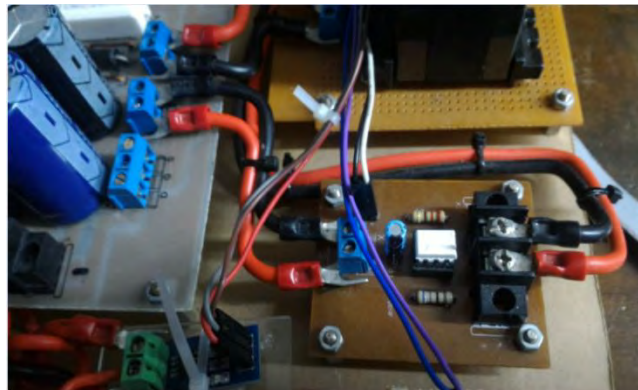
I_{in} (A)	Display LCD (A)	$V_{Perhitungan}$ (V)	$V_{Pengukuran}$ (V)	Error (%)
0	0	2,5	2,41	0
0,2	0,2	2,52	2,43	0
0,38	0,37	2,54	2,45	2,6
0,58	0,57	2,56	2,47	1,7
0,78	0,76	2,58	2,49	2,5
0,98	0,97	2,60	2,51	1
1,17	1,16	2,62	2,53	0,8
1,37	1,36	2,64	2,55	0,7
1,57	1,57	2,66	2,57	0
1,77	1,76	2,68	2,59	0,5
1,97	1,96	2,70	2,61	0,5
2,17	2,16	2,72	2,63	0,4

Dari data tabel pengujian diatas maka untuk mendapatkan hasil data berdasarkan hasil perhitungan secara teori adalah dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_o = 2,5 + (I_{in} \times 0,100)$$

4.4.4 Pengujian Sinyal PWM dan Pensaklaran

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bentuk gelombang PWM dan pensaklaran sesuai dengan perencanaan. Frekuensi pensaklaran yang digunakan dalam perancangan adalah 40 KHz. Pengujian dilakukan dengan menggunakan osiloskop. Gambar 4.22 menunjukkan hasil pengujian terhadap gelombang PWM dan gelombang pensaklaran V_{ds} MOSFET.



Gambar 4.21 Pengujian sinyal PWM dan pensaklaran



Gambar 4.22. Sinyal PWM dan V_{DS} MOSFET pada *duty cycle* 0,3

Dari Gambar diatas sinyal PWM dan MOSFET sebagai komponen saklar sudah bekerja, saat tegangan PWM bernilai logika 0 maka tegangan V_{DS} MOSFET

akan bernilai logika 1 begitu juga sebaliknya saat tegangan PWM bernilai logika 1 maka tegangan V_{DS} MOSFET bernilai logika 0 yang berarti MOSFET sedang pada mode menyala mengalirkan arus. Untuk menentukan Nilai V_{DS} dengan nilai tegangan input sebesar 17,1V maka dapat dihitung dari persamaan berikut ini

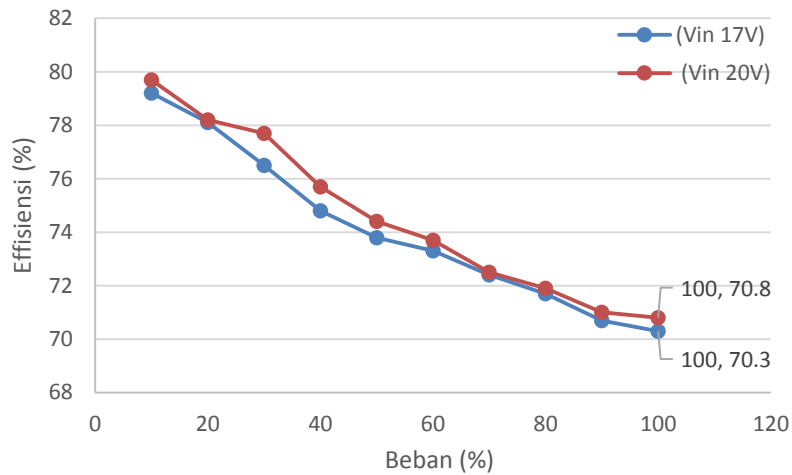
$$V_{DS} = \frac{V_{in}}{(1 - D)} = \frac{17,1}{(1 - 0,3)} = 24,43V$$

4.4.5 Pengujian Konverter DC-DC Sepic

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui fungsi konverter sepic sebagai konverter DC-DC yang digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan. Pengujian konverter sepic dilakukan secara fungsional yaitu dengan memberikan tegangan input tetap dengan mengubah-ubah nilai *duty cycle*. Pengujian konverter sepic secara fungsional dilakukan untuk mengetahui apakah konverter bekerja sesuai fungsinya sebagai penaik dan penurun tegangan. Pengujian ini diberikan tegangan masukan yang berbeda-beda sebesar 17V dan 20V dengan frekuensi *switching* 40 kHz dan menggunakan beban yang bervariasi mulai dari 10% sampai 100%. Hasil pengujian konverter sepic ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Pengujian Konverter Sepic secara Fungsional

Be- ban (%)	Input 17V				Effi (%) $\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right)$	Input 20V				Effi (%) $\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right)$
	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)		V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	
10	16,74	0,83	16,42	0,67	79,2	19,71	1,01	19,59	0,81	79,7
20	16,68	0,98	13,29	0,96	78,1	19,65	1,20	15,89	1,16	78,2
30	16,58	1,46	12,59	1,47	76,5	19,51	1,76	15,08	1,77	77,7
40	16,50	1,9	12,09	1,94	74,8	19,4	2,29	14,49	2,32	75,7
50	16,49	2,24	11,75	2,32	73,8	19,33	2,68	14,01	2,75	74,4
60	16,46	2,37	11,62	2,46	73,3	19,26	2,83	13,8	2,91	73,7
70	16,42	2,54	11,4	2,65	72,4	19,26	3,03	13,57	3,12	72,5
80	16,34	2,6	11,24	2,71	71,7	19,25	3,12	13,49	3,2	71,9
90	16,26	3	10,78	3,20	70,7	19,03	3,70	12,81	3,9	71,0
100	16,1	3,2	10,69	3,39	70,3	18,96	3,86	12,63	4,1	70,8

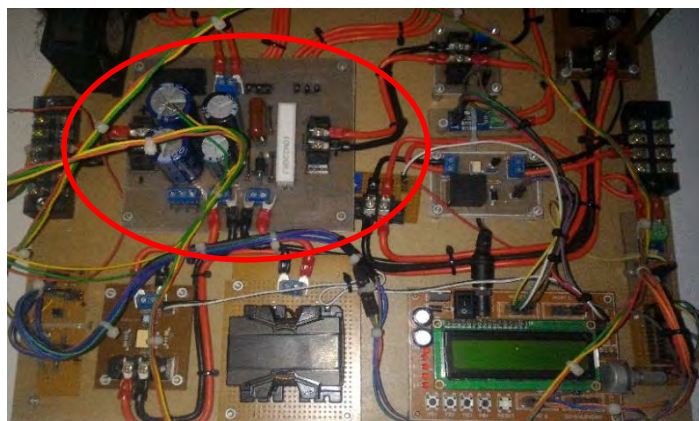


Gambar 4.23 Pengujian Effisiensi sepic pada V_{in} 17V dan 20V

Dari tabel 4.8 dapat diketahui nilai efisiensi konverter sepic dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Eff(n) &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\
 &= \frac{16.42 \times 0.67}{16.74 \times 0.83} \times 100\% \\
 &= 79.2\%
 \end{aligned}$$

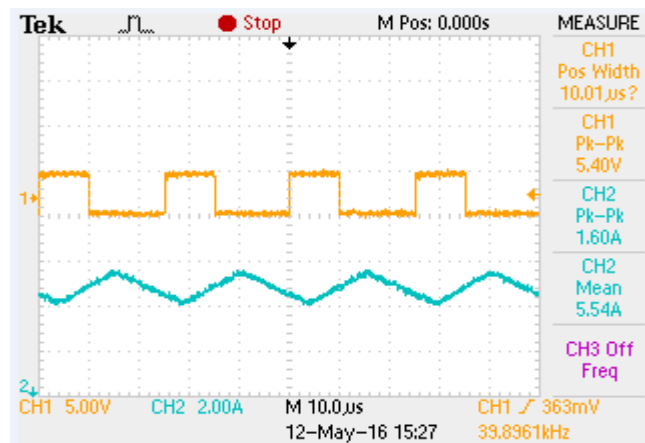
Gambar pengujian konverter sepic dengan tegangan beban yang bervariasi ditunjukkan pada Gambar 4.24 dimana posisi rangkaian converter sepic berada di area lingkaran di dalam gambar



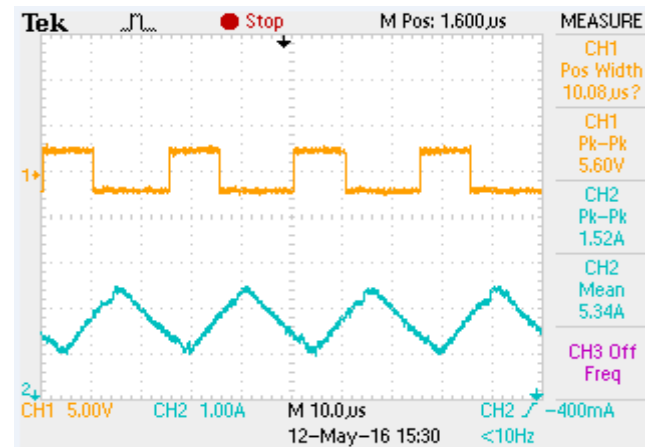
Gambar 4.24 Pengujian konverter sepic secara fungsional

4.4.6 Arus Induktor dan Tegangan Keluaran Sepic

Pengujian ini dilakukan untuk melihat bentuk gelombang PWM, arus induktor dan tegangan output dengan beban resistor pada *prototype* konverter sepic. Nilai *duty cycle* yang terbangkitkan sebesar 0,40 yang besarnya disesuaikan dengan hasil perhitungan rancangan konverter sepic. Gambar 4.25 adalah hasil pengujian *duty cycle* dan arus induktor. *Ripple* arus induktor sebesar 1,60A sedangkan hasil simulasi rancangan konverter sepic didapatkan *ripple* arus induktor sebesar 1,66A



(a)

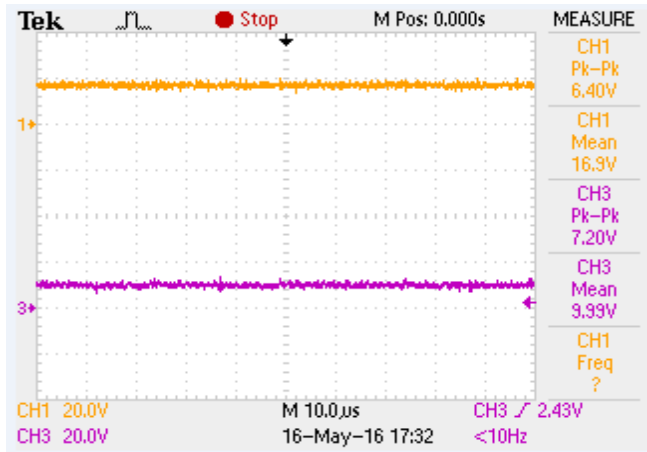


(b)

Gambar 4.25 Pengujian sinyal PWM konverter sepic dan arus Induktor a) L_1 b) L_2

Pengujian tegangan *output* konverter sepic seperti terlihat pada gambar 4.26 dimana tegangan input yang diberikan sebesar 17,1V dengan nilai *duty cycle* 0,4 dan menggunakan beban 100%, diperoleh besar tegangan keluaran konverter sepic

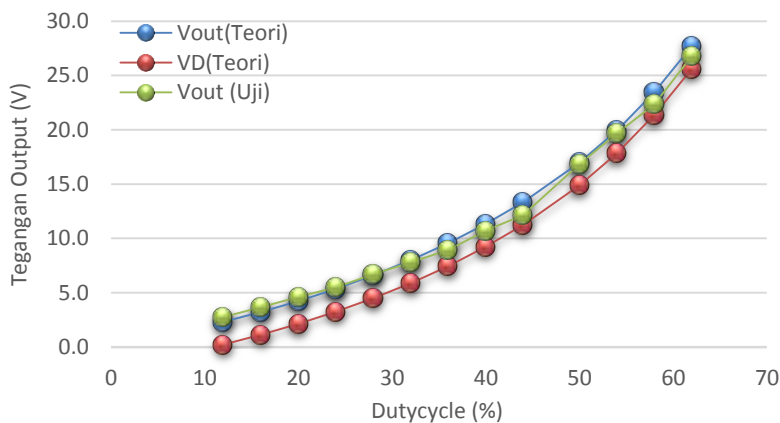
sebesar 9,9V. Sedangkan hasil simulasi konverter sepic didapatkan tegangan keluaran konverter dengan nilai *duty cycle* yang sama sebesar 11,3V.



Gambar 4.26 Pengujian sinyal keluaran konverter sepic pada *duty cycle* 0,4

4.4.7 Rasio Konverter Sepic

Pengujian rasio konversi dilakukan untuk mengetahui apakah konverter sudah mampu menghasilkan tegangan keluaran sesuai dengan persamaan tegangan keluarannya disaat nilai *duty cycle* yang diberikan berbeda-beda. Rasio konversi tegangan dalam hal ini merupakan perbandingan antara tegangan keluaran terhadap tegangan masukan. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan masukan 17,1V dan nilai *duty cycle* dinaikkan dari 11% sampai 62%.



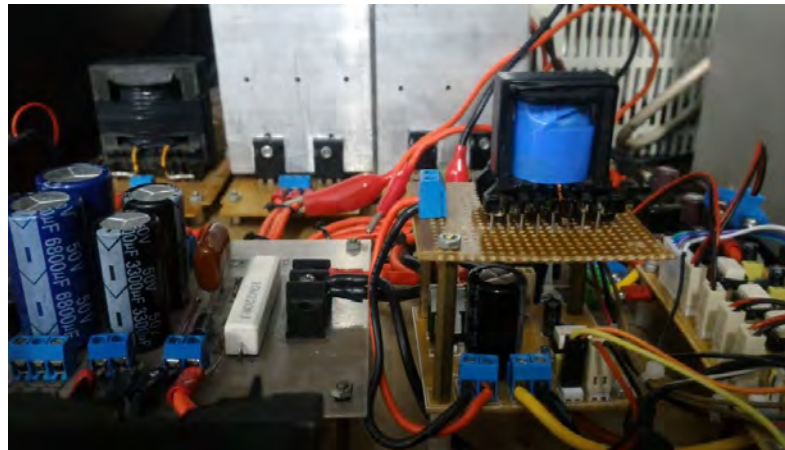
Gambar 4.27. Grafik rasio konversi tegangan konverter sepic

Grafik pada gambar 4.27 menunjukkan hasil pengujian rasio konversi tegangan konverter sepic. Pada grafik terlihat dua macam hasil pengujian yaitu hasil pengujian perhitungan dan hasil pengujian implementasi. Dua pengujian perhitungan menggunakan persamaan.

$$D = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in} + V_{out} + V_D} \text{ dan } D = \frac{V_{out}}{V_{in} + V_{out}}$$

4.4.8 Pengujian Konverter DC-DC Boost

Pengujian konverter boost secara fungsional dilakukan untuk mengetahui apakah konverter bekerja sesuai fungsinya sebagai rangkaian penaik tegangan. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan tegangan masukan sebesar 10V dengan frekuensi *switching* 40 kHz dan nilai beban yang bervariasi mulai dari 10% sampai 100%. Rangkaian pengujian konverter boost diperlihatkan pada gambar 4.28 dan hasil pengujian rangkaian konverter boost dicatat didalam tabel 4.9



Gambar 4.28 Pengujian konverter DC-DC boost

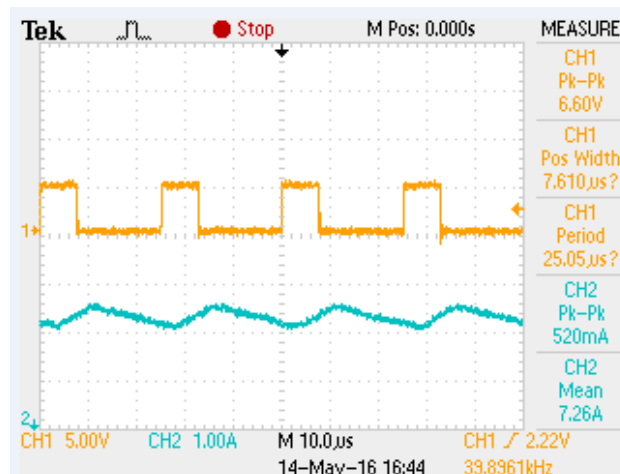
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Konverter Boost

Beban (%)	Input 10V (Volt, Ampere)				Effi (P _{in} /P _{out})
	V _{in}	I _{in}	V _{out}	I _{out}	
10	9,69	0,45	12,85	0,32	94,3
20	9,69	0,91	12,56	0,65	92,6
30	9,65	1,15	12,42	0,82	91,8
40	9,61	1,75	12,38	1,24	91,3

Beban (%)	Input 10V (Volt, Ampere)				Effi (P _{in} /P _{out})
	V _{in}	I _{in}	V _{out}	I _{out}	
50	9,49	2	12,28	1,4	90,6
60	9,47	2,3	12,25	1,6	90,0
70	9,31	2,5	12,03	1,7	87,9
80	9,25	2,8	11,96	1,9	87,7
90	9,18	3,4	11,76	2,3	86,7
100	9,1	3,9	11,4	2,6	83,5

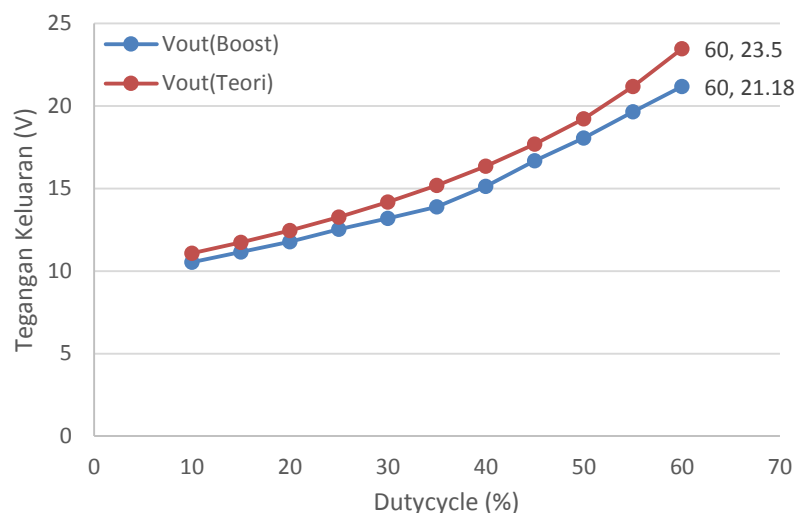
4.4.9 Arus Induktor dan Rasio Konverter Boost

Pengujian ini dilakukan untuk melihat bentuk gelombang PWM, dan arus induktor dengan beban resistor pada *prototype* konverter boost. Nilai *duty cycle* yang terbangkitkan sebesar 0,30 yang besarnya disesuaikan dengan hasil perhitungan rancangan konverter boost. Gambar 4.29 adalah hasil pengujian *duty cycle* dan arus induktor. Ripple arus induktor sebesar 0,52A, sedangkan hasil simulasi rancangan konverter boost didapatkan *ripple* arus induktor sebesar 0,50A



Gambar 4.29 Pengujian konverter *Boost*: sinyal PWM dan arus induktor (L).

Berikut ini adalah grafik rasio perbandingan tegangan untuk konverter boost seperti yang terlihat pada gambar 4.30



Gambar 4.30. Grafik rasio konversi tegangan konverter boost

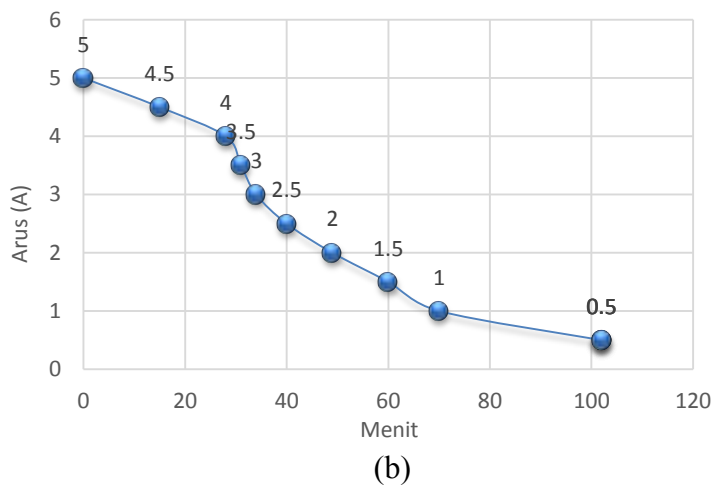
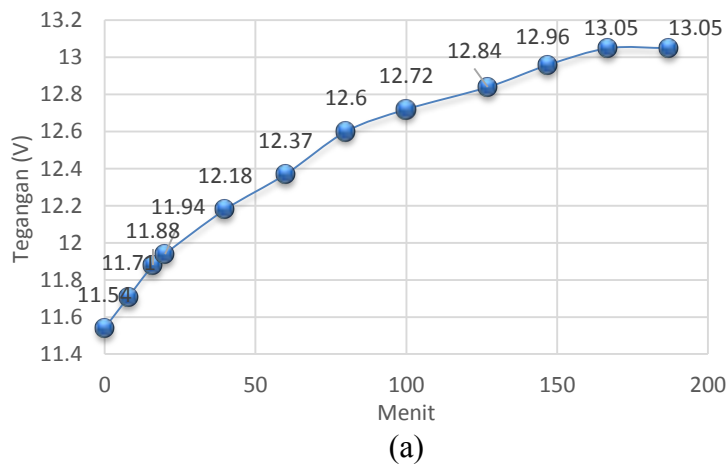
4.5. Pengujian SOC Baterai Kapasitas 12V/5Ah

Dalam menentukan persentase SOC baterai dapat diketahui dari tiga parameter diantaranya nilai tegangan, arus dan suhu baterai saat proses pengisian berlangsung. Pada pengujian SOC baterai ini, parameter baterai yang diamati adalah kenaikan nilai tegangannya, sebagaimana diketahui bahwa nilai tegangan baterai akan naik sampai mencapai batas maksimum saat proses pengisian arus listrik berlangsung. Pengujian SOC baterai yang dilakukan adalah dengan memberikan arus konstan sebesar 1A untuk proses *charging*, sedangkan untuk proses pengujian *discharging* baterai dilakukan dengan memberikan beban sebesar $2,5\Omega$. Data hasil pengujian SOC baterai saat proses *charging* dan *discharging* dapat dilihat pada tabel 4.10 dan gambar 4.31 berikut.

Tabel 4.10 Pengujian SOC baterai kapasitas 12V/5Ah

Proses Charging			Proses Discharging			
Durasi (menit)	Tegangan Baterai (V)	SOC (%)	Durasi (menit)	Arus (A)	Tegangan Baterai (V)	SOC (%)
0	11,54	10	0	5	13,05	100
8	11,71	20	15	4,5	12,90	90
16	11,88	30	28	4	12,73	80
20	11,94	40	31	3,5	12,56	70

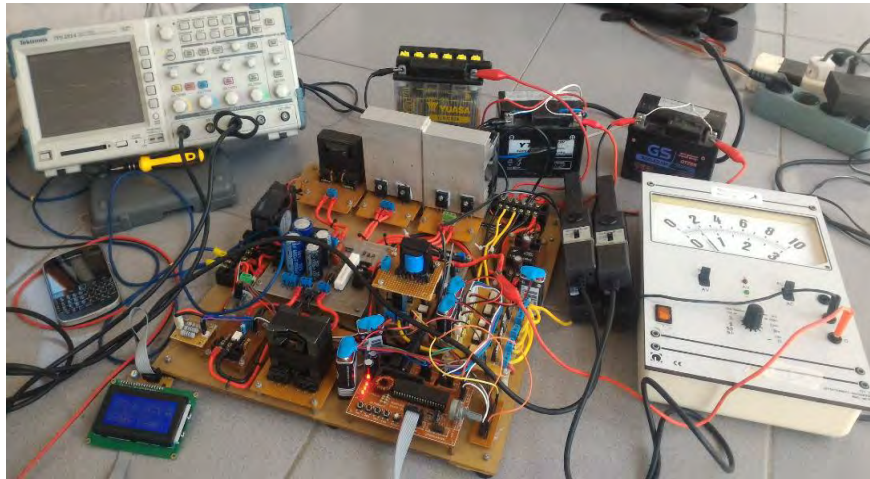
Proses Charging			Proses Discharging			
Durasi (menit)	Tegangan Baterai (V)	SOC (%)	Durasi (menit)	Arus (A)	Tegangan Baterai (V)	SOC (%)
40	12,18	50	34	3	12,39	60
60	12,37	60	40	2,5	12,22	50
80	12,60	70	49	2	12,05	40
100	12,72	80	60	1,5	11,88	30
127	12,84	90	70	1	11,71	20
147	12,96	98	102	0,5	11,54	10
167	13,05	100	102	0,5	11,54	10
187	13,05	100	102	0,5	11,54	10



Gambar 4.31 Grafik a) *charging*, b) *discharging* baterai 12V/5Ah

4.6. Pengujian Sistem Integrasi *Photovoltaic Pulse Charge*

Pengujian sistem terintegrasi *photovoltaic pulse charge* ini dilakukan dengan menggunakan modul PV dengan daya 80W dan beban baterai sebanyak tiga unit, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja MPPT dengan metode P&O dan *fuzzy rule*, serta konsep manajemen pengisian pada tiga unit baterai dalam proses penyimpanan energi dengan menggunakan teknik pengisian pulsa. Gambar 4.32 menunjukkan pengujian rangkaian terintegrasi



Gambar 4.32. Pengujian sistem terintegrasi *photovoltaic pulse charge*

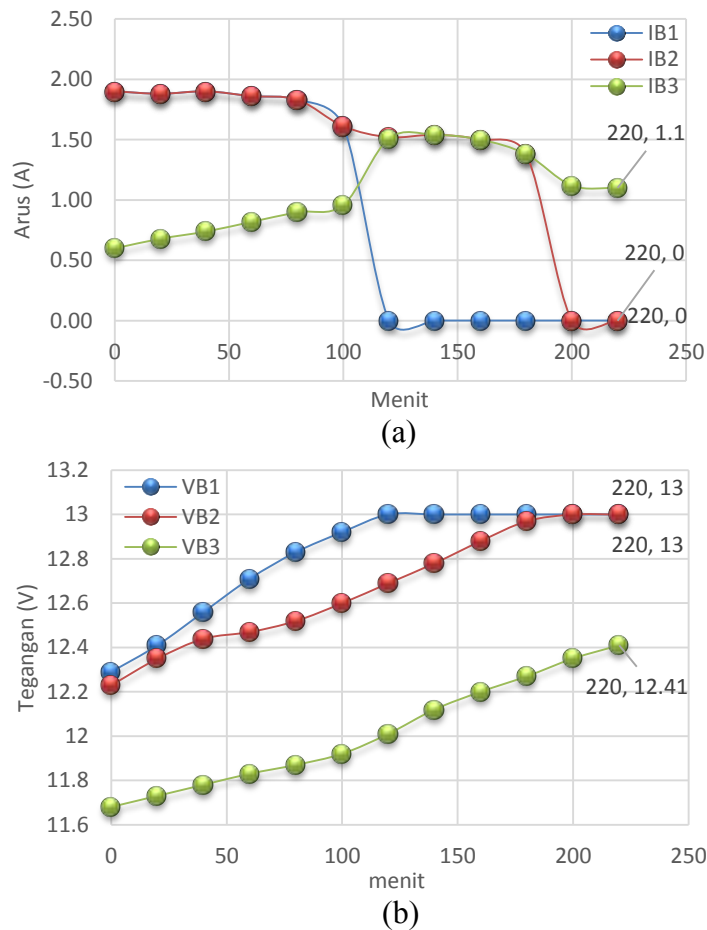
Tabel 4.10 menunjukkan hasil pengujian sistem terintegrasi keseluruhan. Pengujian dilakukan mulai pukul 09:52 sampai pukul 14:30. Beban yang digunakan adalah tiga unit baterai kapasitas 12V/5Ah dengan tegangan awal masing-masing baterai adalah V_{Bat-1} 12,29V, V_{Bat-2} 12,23V dan V_{Bat-3} 11,68V. Kondisi cuaca tidak cerah dan selalu berubah-ubah sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan daya output pada PV saat melakukan proses tracking MPP.

Tabel 4.11. Hasil pengujian sistem terintegrasi *photovoltaic pulse charge* dengan menggunakan baterai 12 Volt sebanyak tiga unit.

Jam	Konverter Sepic				Baterai					
	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	V_{Bat1} (V)	V_{Bat2} (V)	V_{Bat3} (V)	I_{B1dis} (A)	I_{B2dis} (A)	I_{B3} (A)
9:52	11,65	3,27	14,86	1,9	12,29	12,23	11,68	0,75	0,76	0,6
10:12	11,52	3,17	14,46	1,88	12,41	12,35	11,73	0,82	0,84	0,68

Jam	Konverter Sepic				Baterai					
	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	V _{Bat1} (V)	V _{Bat2} (V)	V _{Bat3} (V)	I _{B1dis} (A)	I _{B2dis} (A)	I _{B3} (A)
10:17	1136	1,26	13,32	0,8	12,41	12,35	11,73	0,82	0,84	0,68
10:37	1128	3,37	14,82	1,9	12,56	12,44	11,78	0,88	0,9	0,74
10:42	1205	3,12	14,68	1,9	12,56	12,44	11,78	0,88	0,9	0,74
11:02	1159	3,17	14,68	1,86	12,71	12,47	11,83	0,96	0,98	0,82
11:07	1146	3,16	14,79	1,83	12,71	12,47	11,83	0,96	0,98	0,82
11:27	1157	3,12	14,78	1,83	12,83	12,52	11,87	1,04	1,05	0,90
11:34	1136	3,15	16,62	1,60	12,83	12,52	11,87	1,04	1,05	0,90
11:54	1126	3,18	16,56	1,61	12,92	12,60	11,92	1,14	1,16	0,96
11:58	1141	3,02	16,55	1,55	12,92	12,60	11,92	1,14	1,16	0,96
12:18	1168	2,84	16,19	1,52	13,00	12,69	12,01	0	0	1,52
12:26	1165	2,84	16,26	1,51	13,00	12,69	12,01	0	0	1,51
12:46	1162	2,85	15,94	1,54	13,00	12,78	12,12	0	0	1,54
12:50	1158	2,78	15,95	1,50	13,00	12,78	12,12	0	0	1,50
13:10	1158	2,78	15,95	1,50	13,00	12,88	12,20	0	0	1,50
13:15	1182	2,54	15,93	1,40	13,00	12,88	12,20	0	0	1,40
13:35	1194	2,49	15,99	1,38	13,00	12,97	12,28	0	0	1,38
13:40	1191	2,5	15,89	1,39	13,00	12,88	12,28	0	0	1,39
14:00	1681	1,27	14,14	1,12	13,00	13,00	12,36	0	0	1,12
14:10	1694	1,24	14,20	1,10	13,00	13,00	12,36	0	0	1,10
14:30	1604	1,42	14,14	1,10	13,00	13,00	12,41	0	0	1,10

Dari data hasil pengujian sistem terintegrasi *photovoltaic pulse charge* pada tabel diatas maka untuk melihat hubungan antara perubahan nilai tegangan tiga unit baterai dan besar arus *charging* yang menuju pada masing-masing baterai per satuan waktu dapat dilihat pada grafik gambar 4.33 dibawah ini

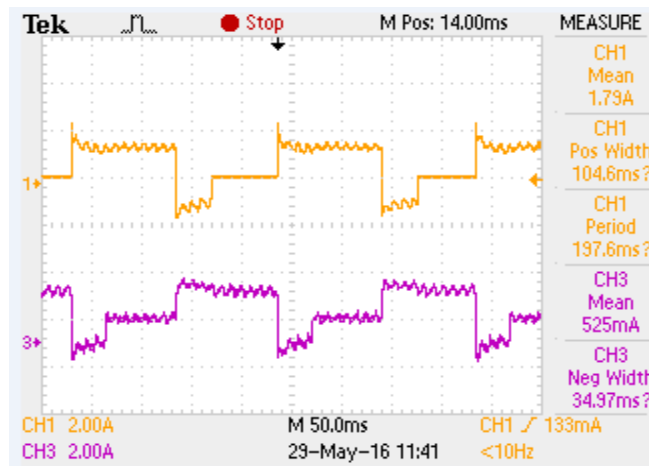


Gambar 4.33. Grafik hasil pengujian a) arus *charging*, b) tegangan baterai pada sistem terintegrasi *photovoltaic pulse charge*

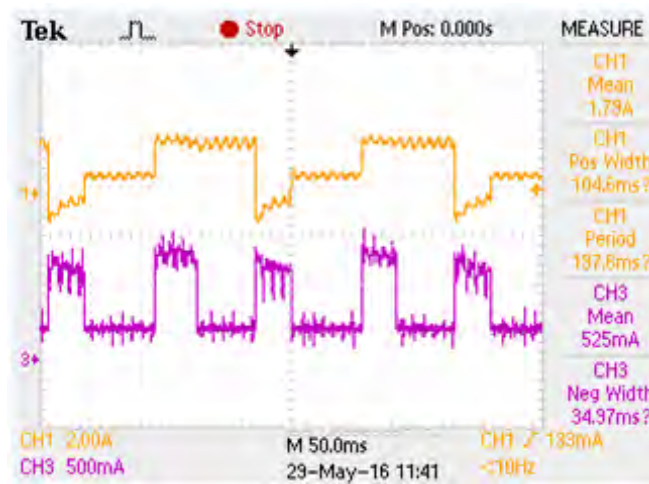
Dari table diatas dapat dilihat bahwa proses distribusi daya maksimum dari PV pada tiga unit baterai. Hasil tracking daya maksimum tertinggi diperoleh pada titik 38,10W pada jam 09:52 kemudian turun pada titik maksimum rata-rata 36W pada pukul 10:12 sampai 11:27. Pada pukul 11:34 sampai 13:45 titik daya maksimum PV kembali turun perlahan-lahan, hal ini disebabkan karena terjadinya perubahan iradiasi matahari akibat terhalangnya sinar matahari oleh awan dan juga akibat perubahan cuaca yang menyebabkan terjadinya perubahan daya keluaran pada PV. Hasil pengujian diperoleh bahwa besar arus rata-rata dari hasil tracking daya maksimum PV yang menuju ke baterai-1 sebesar 1,83A dan baterai-2 adalah sebesar 1,7A, sedangkan rata-rata arus yang menuju baterai-3 melalui konverter boost sebesar 1,07mA.

Konsep manajemen pengisian baterai dalam sistem ini berfungsi untuk mendistribusikan daya maksimum PV ke masing-masing baterai dalam bentuk pulsa dan menjaga *power balancing* dari PV. Pada gambar 4.34(a), memperlihatkan arus *pulse charge* dan *burp charge* pada baterai-1 dan baterai-2, sedangkan gambar 4.34(b) memperlihatkan arus yang menuju pada baterai-3 melalui konverter boost (hasil *discharging* baterai-1 dan 2). Gambar 4.34(c) menunjukkan arus yang menuju baterai-2 dan baterai-3 sebesar 1.52A diantara jam 11.58 dan 12.18, kondisi ini berlangsung saat SOC baterai-1 sudah mencapai maksimum ($V_{B-1}=13V$) sehingga jalur arus baterai-1 terputus dan arus dari PV didistribusikan pada baterai-2 dan 3, berdasarkan konsep manajemen pengisian baterai, sistem akan memonitoring level kenaikan tegangan baterai dan melakukan pemutusan jalur pengisian baterai disaat tegangan baterai mencapai 13V dan mengalihkan proses pengisian pada baterai yang tersisa.

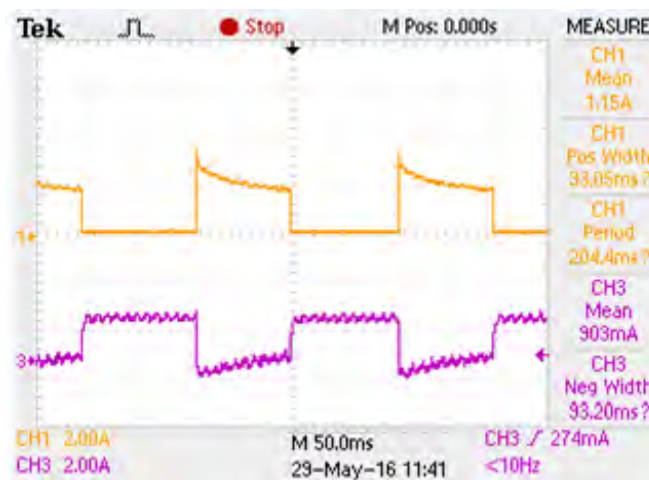
Dari tabel 4.10 dapat dilihat bahwa pada pukul 14:00 sampai 14:30 sistem melakukan perubahan metode pengisian dari metode MPPT ke *constant voltage*. Tindakan ini dilakukan disaat persentase SOC baterai-2 sudah mencapai batas maksimum ($V_{B-2}=13V$) sehingga jalur pengisian baterai-2 terputus otomatis dan proses pengisian tetap dilanjutkan pada baterai-3, dalam hal ini arus pengisian dengan teknik pulsa tidak dapat dilakukan dikarenakan SOC baterai yang belum mencapai batas maksimum tersisa hanya satu unit selain itu juga mengganggu proses *power balancing* PV. Proses perubahan metode pengisian ini dilakukan untuk menghindari besarnya arus listrik yang disuplay ke baterai-3 secara terus menerus tanpa mengalami kondisi break. Gambar 4.35 menunjukkan proses pemindahan metode pengisian dari MPPT ke *constant voltage*, gambar 4.35(a), memperlihatkan sinyal tegangan *charging* dengan metode MPPT (warna biru) dan sinyal pengisian arus pada baterai-2 dan baterai-3 (warna kuning dan pink), sedangkan gambar 4.35(b) memperlihatkan proses pemindahan metode MPPT ke *constant voltage* saat baterai-2 berada dalam kondisi penuh, selama proses pertukaran baterai (kondisi penuh) belum dilakukan maka pengisian arus listrik pada baterai-3 akan tetap dilakukan dengan metode *constant voltage*.



(a)

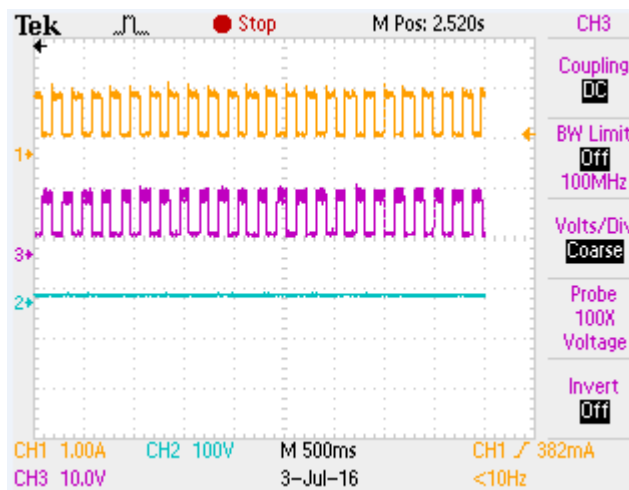


(b)

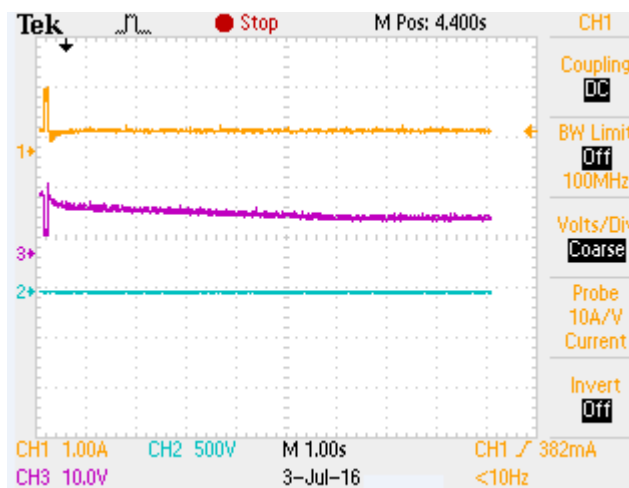


(c)

Gambar 4.34 Arus pengisian tiga unit baterai: a) baterai-1 dan 2. b) baterai-1 dan 3, c) baterai-2 dan 3



(a)



(b)

Gambar 4.35 a) Arus pengisian baterai-2 dan baterai-3 b) pemindahan metode MPPT ke *constant voltage*

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terhadap data-data yang diperoleh dari simulasi dan implementasi maka dapat disimpulkan beberapa hal pokok sebagai berikut

1. Implementasi konverter sepic menggunakan sumber *photovoltaic* dapat membangkitkan daya maksimum PV pada titik optimumnya dan dapat menghasilkan tegangan keluaran konstan sebesar 14V saat proses peralihan dari metode MPPT ke *constant voltage*.
2. Pengujian simulasi dan implementasi teknik *pulse charge* dan *burp charge* menunjukkan bahwa distribusi arus listrik tinggi dari PV ke baterai tidak menyebabkan tingginya tingkat muncul gelembung gas didalam baterai, selain itu jalur pengisian baterai akan terputus otomatis saat tegangannya mencapai batas maksimum (*over charging* tidak terjadi).
3. Hasil simulasi menunjukkan rata-rata tingkat persentase kenaikan SOC tiga unit baterai dengan metode MPPT diperoleh sebesar 0.053% dan mode *constant voltage* sebesar 0.024% dalam durasi pengisian 6 detik pada iradian 1000W/m^2 dan suhu 25°C .
4. Hasil simulasi pada grafik SOC baterai menunjukkan laju pengisian baterai dengan menggunakan MPPT lebih cepat dibandingkan dengan metode *constant voltage*.

5.2 Saran

Ada beberapa saran yang bias dirumuskan selama proses pengerjaan penelitian ini antara lain:

1. Pemilihan jenis komponen sebaiknya menggunakan jenis kualitas bagus, sehingga efisiensinya akan tetap terjaga baik.
2. Dalam pengaturan arus pengisian baterai, proses pengaturan *duty cycle* hendaknya menggunakan kontroler yang lebih baik sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik daya maksimum dapat lebih cepat

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. H. Sun, H. L. Jou, and J. C. Wu, "Aging estimation method for lead acid battery," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 26, no. 1, pp. 264–271, Mar, 2011
- [2] I Hsieh-Hung, Cheng-Yuan Tsai, and Guan-Chyun Hsieh, "Photovoltaic Burp Charge System on Energy-Saving Configuration by Smart Charge Management", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 29, No. 4, 2014
- [3] Chun, Seunghyun P., Alexis Kwasinski. : "Analysis of Classical Root-Finding Method Applied to Digital Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Energy Generation". *IEEE transactions on power electronics*, vol. 26, no. 12, December 2011.
- [4] R. Ramaprabha, B. L. Matur : "Development of an Improved Model SPV Cell for Partially Shaded Solar Photovoltaic Arrays". *European Journal of Scientific Research*, Vol. 47, no. 1, pp. 122-134, 2010.
- [5] Soediby, Mochamad Ashari and Budi Amri "The Comparative Study of Buck-Boost, Cuk, Sepic and Zeta Converters for Maximum Power Point Tracking Photovoltaic Using P&O Method', *Proc. of 2015 2nd Int. Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Indonesia, Oct 16-18th 2015.
- [6] S. J. Hou, Y. Onishi, S. Minami, H. Ikeda, M. Sugawara, and A. Kozawa, "Charging and discharging method of lead acid batteries based on internal voltage control," *J. Asian Electric Vehicle*, vol. 3, no. 1, pp. 733–737, 2005.
- [7] Soediby, Feby Agung Pamuji and Mochamad Ashari, "Control Design of Photovoltaic BPSX-60 Using Fuzzy Logic Controller for Low Voltage Grid", *International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, 2015
- [8] S. Minami, Y. Onishi, S. J. Hou, and A. Kozawa, "A new intense pulse charging method for the prolongation of life in lead-acid batteries," *J. Asian Electric Vehicles*, vol. 2, no. 1, pp. 541–544, 2004.

- [9] H. Ikeda, S. Minami, S. J. Hou, Y. Onishi, and A. Kozawa, "Nobel high current pulse charging method for prolongation of lead-acid batteries," *J. Asian Electric Vehicle*, vol. 3, no. 1, pp. 681–687, 2005.
- [10] Florian Ion, Gabriel Predusca, "A Comparative Study of Sepic, Zeta Converter". Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty. 2008.
- [11] Sang-Hyun Park, Tae-Sung Kim, Jin-Sik Park, Gun-Woo Moon and Myung-Joong Yoon, "A New Buck-boost Type Battery Equalizer". *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 2009.
- [12] Das Bikram, Jamatia Anindita, Chakraborti Albanishwar. : "New Perturbe and Observe MPPT Algorithm and Its Validation Using Data from PV Module", *International Journal of Advances in Engineering and Technology*, 2012.
- [13] Aji, Seno. : "Desain dan Implementasi Kontrol Maximum Power Point Tracking (MPPT) Dengan Menggunakan Fuzzy Logic Controller (FLC) Pada Sistem Photovoltaic Solar Car", tesis elektro ITS, 2014
- [14] Yongchang Yu, Chuanan Yao. : "Implementasi of A MPPT Controller Based on AVR Mega 16 for Photovoltaic System", *International Conference on Future Electrical Power and Energy System*, 2012.
- [15] Ranjana Mahajan, Reddy Nandyala, Kumar Rapalle. "A Novel Sepic Based Dual Output DC-DC Converter for Solar Applications", *IEEE Trans. Power Electron*, 2014.
- [16] S. J. Huang, B. G. Huang, and F. S. Pai, "Fast charge strategy based on the characterization and evaluation of LiFePO₄ batteries," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no. 4, p. 1555-1562, Apr. 2013.
- [17] B. Y. Chen and Y. S. Lai, "New digital-controlled technique for battery charge with constant current and voltage control without current feedback," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 59, no. 3, pp. 1545–1553, Mar. 2012
- [18] K. Y. Lo, Y. M. Chen, and Y. R. Chang, "MPPT battery charger for standalonewind power system," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 26, no. 6, pp. 1631–1638, Jun. 2011.

BIOGRAFI PENULIS



Budi Amri dilahirkan pada tanggal 31 januari 1982 di Aceh, merupakan anak ke lima (enam bersaudara) dari pasangan Mohammad Yusuf Bintara dan Nya' Ti Hasanah. Riwayat pendidikan penulis adalah SDN Inpress Krueng Geukueh (1988-1993), SMPN Dewantara Krueng Geukueh (1993-1996), SMAN 01 Lhokseumawe (1996-1999), S1 Teknik Elektro Universitas Syiah Kuala Banda Aceh NAD (1999-2006) dan S2 Teknik Sistem

Tenaga Teknik Elektro ITS Surabaya (2014-2015). Penulis adalah dosen di jurusan Elektronika Industri Politeknik Aceh. Penulis memilih bidang Sistem Tenaga serta aktif di Laboratorium Konversi Energi.

Penulis dapat dihubungi melalui alamat email: budi.amri@gmail.com atau budi@politeknikaceh.ac.id

-Halaman ini sengaja dikosongkan-