



HALAMAN SAMPU

**RANCANG BANGUN KONVERTER
SYNCHRONOUS BUCK PADA DAYA PANEL
SURYA MENGGUNAKAN METODE KONTROL *PID***

SKRIPSI

Oleh

**Fikri Murnian Syafaat
NIM 131910201044**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



HAKAMAN JUDUL

**RANCANG BANGUN KONVERTER
SYNCHRONOUS BUCK PADA DAYA PANEL
SURYA MENGGUNAKAN METODE KONTROL *PID***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Fikri Murnian Syafaat
NIM 131910201044**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Dengan segala puja dan puji syukur kepada Allah Subhanallahu Waa Ta'ala yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu. Skripsi ini merupakan sebuah pencapaian awal yang saya raih sebelum menuju kepada pencapaian selanjutnya. Dengan penuh rasa bahagia dan terimakasih, saya persembahkan skripsi ini untuk:

1. Kedua orang tua saya, Ayahanda Sucipto dan Ibunda Susilawati tercinta yang telah membesarkan, mendidik, dan memberikan begitu banyak cinta dan kasih sayang, serta doa yang tak pernah putus dipanjatkan untuk saya sehingga bisa menyelesaikan skripsi dan mendapatkan gelar ini, seluruh pencapaian ini saya persembahkan untuk beliau;
2. Dosen pembimbing utama Bapak Dr. Triwahju Hardianto S.T., M.T. serta Dosen Pembimbing Anggota Bapak Samsul Bachri Masmachofari, S.T., M.MT. atas keikhlasan dan kesabarannya dalam membimbing saya untuk menyelesaikan skripsi ini;
3. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi;
4. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember;
5. Keluarga besar yang ada di Banyuwangi maupun yang ada di Sukowono tanpa terkecuali terutama Reihan Ramadana A.D. yang telah memberi semangat serta tak pernah lelah memberi memotifasi saya sehingga dapat terselesaikan tugas akhir ini.

MOTTO

Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.

Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras
(untuk urusan yang lain).

(terjemahan Surat *Al-Insyirah* ayat 6 dan 7)^{*)}

Kemuliaan seseorang adalah agamanya, harga diri (kehormatan) seseorang adalah
akalnya, sedangkan ketinggian kedudukannya adalah akhlaknya.^{**)}

Waktu itu bagaikan pedang, jika kamu tidak memanfaatkannya
menggunakan untuk memotong, ia akan memotongmu (menggilasmu).^{***)}

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

nama : Fikri Murnian Syafaat

NIM : 131910201044

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Rancang Bangun Konverter *Synchronous Buck* Pada Daya Panel Surya Menggunakan Metode Kontrol *PID*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 18 Juli 2018

Yang menyatakan,

Fikri Murnian Syafaat

NIM 131910201044

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN KONVERTER
SYNCHRONOUS BUCK PADA DAYA PANEL
SURYA MENGGUNAKAN METODE KONTROL *PID***

Fikri Murnian Syafaat

NIM 131910201044

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Triwahju Hardianto S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Samsul Bachri M., S.T., MT.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Konverter *Synchronous Buck* Pada Daya Panel Surya Menggunakan Metode Kontrol *PID*” karya Fikri Murnian Syafaat telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Rabu, 18 Juli 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji:

Ketua,

Anggota I,

Dr. Triwahju Hardianto S.T., M.T.
NIP 197008261997021001

Samsul Bachri M., S.T., M.MT.
NIP 196403171998021001

Anggota II,

Anggota III,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 196104141989021001

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP 197004041996011001

Mengesahkan
Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.
NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Rancang Bangun Konverter *Synchronous Buck* Pada Daya Panel Surya Menggunakan Metode Kontrol *PID* (*Proportional Integral Derivative*); Fikri Murnian Syafaat; 131910201044; 2018; 71 Halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pembangkit listrik tenaga surya merupakan salah satu pembangkit tenaga listrik alternatif yang banyak dikembangkan, panel surya (*solar panel*) sebagai jenis pembangkit listrik terbaharukan di masa datang akan semakin memiliki peranan penting sebagai pengganti energi fosil atau energi tak terbaharukan. Dalam aplikasinya secara konvensional panel surya memiliki banyak kekurangan terutama pada sisi efisiensi keluaran yang terbilang rendah, hal tersebut dikarenakan perbedaan karakteristik antara panel surya dengan beban. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya, seperti besarnya tingkat intensitas cahaya dan suhu kerja dari panel surya. Perlu adanya upaya untuk meningkatkan efisiensi panel surya agar energi yang dihasilkan bisa lebih maksimal.

Pada tugas akhir ini akan dibahas tentang penggabungan metode kontrol *PID* dengan konverter *Synchronous Buck* untuk meningkatkan efisiensi keluaran panel surya. Penelitian ini menggunakan mikrokontroler berbasis Arduino untuk mengolah data tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya menjadi sinyal *PWM* (*Pulse Width Modulation*), kemudian sinyal *PWM* diolah dengan metode kontrol logika *PID* yang akan memicu pensaklaran pada kedua mosfet di rangkaian konverter *Synchronous Buck*.

Dari data yang diolah, diperoleh hasil yang cukup memuaskan. Untuk data yang didapatkan dari jurnal ITS Paper, panel surya dengan konverter *Buck* dan digabungkan dengan kontrol logika *FUZZY* dapat menghasilkan nilai rata-rata efisiensi sebesar 85.65%. Sedangkan untuk data yang didapatkan dari penelitian ini, panel surya dengan konverter *Synchronous Buck* dan digabungkan dengan kontrol logika *PID* dapat menghasilkan nilai rata-rata efisiensi sebesar 94.75%.

SUMMARY

Design Of Synchronous Buck Converter On Power Solar Panel Using PID (Proportional Integral Derivative) Control; Fikri Murnian Syafaat; 131910201044; 2018; 71 Pages; Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Solar power is one of the most widely developed alternative power plants, solar panels as a renewable type of power plant in the future will increasingly play an important role in replacing fossil energy or non-renewable energy. In conventional applications solar panels have many drawbacks, especially on the side of the output efficiency is fairly low, it is due to differences in characteristics between solar panels with load. There are several factors that affect the electrical power generated by solar panels, such as the magnitude of the light intensity level and the working temperature of the solar panels. There is an effort to increase the efficiency of solar panels in order to generate maximum energy.

In this final project will be discussed about the incorporation of PID control method with Synchronous Buck converter to improve the efficiency of solar panel output. This research uses Arduino-based microcontroller to process voltage and current data generated by solar panel into PWM (Pulse Width Modulation) signal, then PWM signal is obtained by PID logic control method which will trigger switching on both mosfets in Synchronous Buck Converter circuit.

From the data processed, the results obtained are quite satisfactory. For data obtained from ITS journals, solar panels with Buck converters and combined with FUZZY logic controls can produce an average efficiency rating of 85.65%. As for the data obtained from this research, solar panels with Synchronous Buck converter and combined with PID logic control can produce an average value of 94.75% efficiency.

PRAKATA

Segala puji syukur ke hadirat Allah S.W.T. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Rancang Bangun Konverter *Synchronous Buck* Pada Daya Panel Surya Menggunakan Metode Kontrol *PID*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
3. Dr. Triwahju Hardianto S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Samsul Bachri Masmachofari, S.T., M.MT. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah bersedia meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing hingga pengerjaan skripsi ini selesai;
4. Satriyo Budi Utomo, S.T., M.T. dan Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
5. Seluruh pihak yang berada di Laboratorium Konversi Energi Listrik Universitas Jember yang telah memberikan bantuan penulis selama penelitian dan pengambilan data;
6. Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dosen Penguji I dan Suprihadi Prasetyono. S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II;
7. Seluruh dosen Teknik Elektro yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember;

8. Para staf, karyawan dan teknisi Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan bantuan selama mengikuti pendidikan dan praktikum di Fakultas Teknik Universitas Jember;
9. Ayahanda Sucipto dan Ibunda Susilawati tercinta yang telah memberikan dorongan, semangat, kasih sayang, perhatian, kesabaran dan doa yang tak pernah putus demi mempermudah terselesaikannya skripsi ini;
10. Reihan Ramadana Amara Daniar dan keluarga besar penulis yang telah memberikan dukungan, semangat, serta bantuannya;
11. Teman-teman INTEL (Elektro 2013) yang banyak membantu, dan memberi semangat dan dukungan sejak awal menjadi keluarga besar di teknik;
12. Adik saya Dimas Aditya Wardana yang selalu memberikan saya semangat dan hiburan disaat penat mengerjakan tugas akhir ini sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini;
13. Sahabat saya Fachrizaldi Rafsanjani, Dedy Roli, M. Alfian yang telah meluangkan waktu, tenaga serta dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini;
14. Seluruh teknisi dan asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik Universitas Jember yang telah membantu untuk menyediakan data skripsi yang dibutuhkan;
15. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat berguna bagi pembaca dan bagi penulis sendiri pada khususnya dan semoga Allah SWT memberikan yang terbaik untuk kita semua. Aamiin.

Jember, 18 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN.....	v
PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Panel Surya.....	4
2.2 <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM)	6
2.3 Kontrol <i>PID</i>	7
2.4 Konverter DC-DC.....	9
2.4.1 Perhitungan <i>Buck</i> Konverter	9
2.4.2 Pemilihan Induktor	11
2.4.3 Pemilihan Kapasitor	11
2.4.4 <i>Synchronous Buck</i> Konverter	12
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	14
3.1 Tahap Penelitian	14

3.2 Rancangan Sistem	14
3.2.1 Diagram Blok Sistem	15
3.2.2 <i>Flowchart</i> Sistem	16
3.3 Perancangan DC-DC <i>Synchronous Buck Converter</i>	17
3.4 Rancangan Kontrol <i>PID</i>	21
3.5 Perencanaan Baterai	23
3.6 Perencanaan Panel Surya	24
3.7 Desain Perencanaan Alat	24
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Pengujian Sensor Arus Dan Tegangan	28
4.2 Pengujian Sensor Arus	29
4.3 Pengujian Sensor Tegangan	31
4.4 Pengujian Respon Tegangan <i>Output</i>	33
4.5 Pengujian Kontrol <i>PID</i>	36
4.6 Pengujian <i>Synchronous Buck Converter</i>	39
4.7 Pengujian Keseluruhan Sistem	40
4.7.1 Penentuan Nilai Parameter <i>PID</i> dengan Metode <i>Tunning</i> <i>Manual</i>	40
4.7.2 Pengujian Keseluruhan Sistem Tanpa Beban.....	42
4.7.3 Pengujian Keseluruhan Sistem Menggunakan Beban <i>ACCU</i>	44
4.7.4 Pengujian Keseluruhan Sistem Menggunakan Beban <i>ACCU</i> + LED 7 Watt	49
4.7.5 Pengujian Keseluruhan Sistem Menggunakan Beban <i>ACCU</i> + LED 9 Watt	55
BAB 5. PENUTUP	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik masing – masing kontrol <i>P-I-D</i>	9
Tabel 3.1 Spesifikasi DC-DC <i>Synchronous Buck Converter</i>	18
Tabel 3.2 Spesifikasi baterai	23
Tabel 4.1 Pengujian Sensor Arus	30
Tabel 4.2 Pengujian Sensor Tegangan	32
Tabel 4.3 Pengujian Respon Tegangan <i>Output</i>	33
Tabel 4.4 Pengujian <i>Synchronous Buck Converter</i> Dengan Beban 20 Watt	39
Tabel 4.5 Pengujian <i>Synchronous Buck Converter</i> Dengan Beban 36 Watt	40
Tabel 4.6 <i>Tuning Manual</i> Parameter <i>PID</i>	42
Tabel 4.7 Pengujian keseluruhan sistem tanpa beban	43
Tabel 4.8 Pengujian Keseluruhan Sistem Menggunakan Beban <i>ACCU</i>	45
Tabel 4.9 Pengujian Keseluruhan Sistem Menggunakan Beban <i>ACCU</i> + LED 7 Watt.....	50
Tabel 4.10 Pengujian Keseluruhan Sistem Menggunakan Beban <i>ACCU</i> + LED 9 Watt.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian persamaan sel surya (Widodo, Rugianto, Asmuniv, & Sejati, 2009).	4
Gambar 2.2 Karakteristik P-V untuk level radiasi yang berbeda. Tiap titik mewakili MPP dari masing-masing kurva (Widodo, Rugianto, Asmuniv, & Sejati, 2009)	5
Gambar 2.3 Karakteristik I-V pada temperatur permukaan sel surya yang berbeda (Widodo, Rugianto, Asmuniv, & Sejati, 2009).	6
Gambar 2.4 Bentuk sinyal <i>duty cycle</i> (Dani, 2012)	6
Gambar 2.5 Skema Pengendali <i>PID</i> .	7
Gambar 2.6 <i>Synchronous Buck</i> Konverter (Instruments, 1998)	12
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	14
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem	15
Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> Sistem	16
Gambar Gambar 3.4 Rangkaian DC-DC <i>Synchronous Buck Converter</i> .	17
Gambar 3.5 <i>Flowchart</i> Program Kontrol <i>PID</i>	22
Gambar 3.6 Bentuk fisik Baterai VRLA.	23
Gambar 3.7 Bentuk fisik Panel Surya <i>Polycrystalline</i> .	24
Gambar 3.8 Desain perencanaan alat	24
Gambar 4.1 Modul DC - DC <i>Synchoronous Buck Converter</i> tampak atas	27
Gambar 4.2 Modul DC - DC <i>Synchoronous Buck Converter</i> tampak bawah	28
Gambar 4.3 Pengujian Sensor Arus	31
Gambar 4.4 Pengujian Sensor Tegangan	32
Gambar 4.5 Pengujian Respon Tegangan <i>Output</i>	35
Gambar 4.6 Pengujian Kontrol <i>PID</i> Dengan V_{in} 20 V	36
Gambar 4.7 Pengujian Kontrol <i>PID</i> Dengan V_{in} 18 V	37
Gambar 4.8 Pengujian Kontrol <i>PID</i> Dengan V_{in} 16 V	37
Gambar 4.9 Pengujian Kontrol <i>PID</i> Dengan V_{in} 15 V	38
Gambar 4.10 Parameter <i>PID</i>	41
Gambar 4.11 Pengujian Sistem Tanpa Beban	44

Gambar 4.12 Pengujian Sistem Menggunakan Beban <i>ACCU</i>	46
Gambar 4.13 Karakteristik Arus Menggunakan Beban <i>ACCU</i>	47
Gambar 4.14 Karakteristik Daya <i>Input</i> dan <i>Output</i>	48
Gambar 4.15 Efisiensi Daya Beban <i>ACCU</i>	49
Gambar 4.16 Pengujian Sistem Menggunakan Beban <i>ACCU</i> + LED 7 Watt	51
Gambar 4.17 Karakteristik Arus <i>Input</i> dan <i>Output</i> Beban <i>ACCU</i> + LED 7 Watt	52
Gambar 4.18 Karakteristik Daya <i>Input</i> dan <i>Output</i>	53
Gambar 4.19 Efisiensi Daya Beban <i>ACCU</i> + LED 7 Watt.....	54
Gambar 4.20 Pengujian Sistem Menggunakan Beban + LED 9 Watt	56
Gambar 4.21 Karakteristik Arus <i>Input</i> dan <i>Output</i> Beban <i>ACCU</i> + LED 9 Watt	57
Gambar 4.22 Karakteristik Daya <i>Input</i> dan <i>Output</i>	58
Gambar 4.23 Efisiensi Daya Beban <i>ACCU</i> + LED 9 Watt.....	59

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pembangkit listrik tenaga surya merupakan salah satu pembangkit tenaga listrik alternatif yang banyak dikembangkan, panel surya (*solar panel*) sebagai jenis pembangkit listrik terbaharukan di masa datang akan semakin memiliki peranan penting sebagai pengganti energi fosil atau energi tak terbaharukan. Dalam aplikasinya secara konvensional panel surya memiliki banyak kekurangan terutama pada sisi efisiensi keluaran yang terbilang rendah, hal tersebut dikarenakan perbedaan karakteristik antara panel surya dengan beban. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya, seperti besarnya tingkat intensitas cahaya dan suhu kerja dari panel surya.

Selain itu, karakteristik V-I sel surya adalah *nonlinier* dan dapat berubah terhadap radiasi dan suhu pada permukaan solar sel. Dengan bantuan Konverter DC-DC yang digunakan untuk mengatur besarnya tegangan keluaran pada panel surya, agar dapat memaksa panel surya memperoleh daya maksimum pada berbagai kondisi dan tingkat intensitas cahaya. Dengan menganalisa masukan sumber hasil konversi panel surya dengan memanfaatkan kemampuan kapasitas puncak dari karakteristik panel, diharapkan efisiensi daya keluaran ke beban dapat maksimum (Babgei, 2011).

Konverter *Synchronous Buck* adalah salah satu jenis dc-dc konverter yang memiliki kelebihan *ripple* lebih kecil dan efisiensi lebih tinggi sekitar 5% (Instruments, 1998). Dalam topologi Konverter *synchronous buck*, ada dua buah power MOSFET Q1 dan Q2 yang dikendalikan oleh PWM, MOSFET Q2 menggantikan sebuah dioda dalam Konverter *buck*, jika tegangan keluaran turun di bawah tingkat regulasi, PWM akan menyalakan MOSFET Q1 dan mematikan Q2, ini secara bersamaan mengisi induktor L1 dan memberikan tegangan pada beban. Bila tegangan keluaran melebihi tingkat pengaturan, maka PWM mematikan Q1 dan menyalakan Q2, sehingga memberikan jalur alternatif melalui Q2 untuk memberikan arus pada induktor L1 dan ke beban, ini mempertahankan pengiriman daya terus menerus selama status *on* dan *off* dari Q1. PWM

memastikan bahwa MOSFET daya Q1 dan Q2 tidak pernah menyala secara bersamaan. Sehingga penggantian ini mengurangi drop dioda yang umumnya 0,5 V – 1 V menjadi sekitar 0,3 V atau kurang, yang menghasilkan perbaikan efisiensi rangkaian menjadi lebih tinggi.

Pada penelitian sebelumnya dilakukan oleh (Babgei, 2011) dengan judul “Rancang Bangun Maximum Power Point Tracker (MPPT) Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode *Fuzzy*” yang memiliki efisiensi *Buck* konverter sebesar 85.65%. Sebagai upaya meningkatkan efisiensi dari *Buck* converter maka dilakukan penelitian “Rancang Bangun Konverter *Synchronous Buck* Pada Daya Panel Surya Menggunakan Metode Kontrol *PID*”. Pada penelitian ini diharapkan konverter *synchronous buck* mampu untuk meningkatkan efisiensi daya keluaran dari panel surya ke beban menjadi lebih maksimal.

1.2 Rumusan Masalah

Dari permasalahan diatas, maka dapat disusun beberapa rumusan masalah yang menjadi focus penelitian ini, yang meliputi :

- a. Bagaimana mendesain Konverter *Synchronous Buck* dengan baik pada kondisi sumber tegangan dari panel surya?
- b. Bagaimana respon tegangan, dan efisiensi dari Konverter *Synchronous Buck* menggunakan metode kontrol *PID*?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian masalah tersebut, maka pembahasan pada skripsi ini dibatasi pada hal – hal sebagai berikut :

- a. Analisa hanya dititik beratkan pada efisiensi, dan tegangan keluaran pada konverter *Synchronous Buck*.
- b. Sinyal kendali pemicu pensaklaran konverter *synchronous buck* menggunakan sinyal kendali PWM (*Pulse Width Modulation*) dari arduino.
- c. Analisa efisiensi hanya mengacu pada daya masukan dan daya keluaran konverter *Synchronous Buck*.

- d. Tidak membahas temperatur suhu, kecepatan angin, ketinggian panel surya, dan posisi letak panel surya terhadap matahari.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui kinerja konverter *Synchronous Buck* menggunakan metode kontrol *PID* saat memperoleh masukan dari panel surya.
- b. Meningkatkan efisiensi konverter DC-DC dengan mengembangkan *Buck* konverter menjadi *Synchronous Buck* konverter.
- c. Menerapkan kontrol *PID* sehingga diperoleh kestabilan tegangan keluaran *Synchronous Buck* konverter.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Didapatkan solusi dalam mengatasi permasalahan tentang penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, yaitu memaksimalkan kerja dari penelitian yang hanya menggunakan jenis konverter lain.
- b. Memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya tentang pengoptimalan energi matahari.
- c. Skripsi ini dapat dijadikan pembelajaran dikemudian hari.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

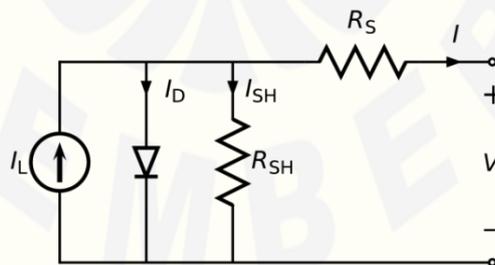
2.1 Panel Surya

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang dapat mengubah cahaya menjadi listrik. Mereka disebut surya atau matahari “sol” karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya biasa disebut sel *photovoltaic*, *photovoltaic* dapat diartikan sebagai “cahaya-listrik”, Sel surya atau sel PV bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi matahari kemudian menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan yang memiliki muatan berlawanan.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kerja dari sel surya agar dapat beroperasi secara maksimal :

- Suhu permukaan panel surya
- Radiasi solar matahari (iradiasi)
- Kecepatan angin bertiup
- Keadaan atmosfer bumi
- Orientasi panel atau *array*
- Posisi letak sel surya (*array*) terhadap matahari (*tilt angle*)

Untuk mendekati kinerja dari sel surya, suatu model matematik dikembangkan untuk dapat menirukan solar sel. Gambar 2.1 adalah rangkaian persamaan solar sel, dimana I dan V adalah arus dan tegangan solar sel, kemudian I_L adalah *cell's photocurrent*. R_p dan R_s adalah tahanan shunt dan tahanan seri dari solar sel.



Gambar 2.1 Rangkaian persamaan sel surya (Widodo, Rugianto, Asmuniv, & Sejati, 2009).

Persamaan dari rangkaian diatas adalah :

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

Dimana :

I_0 = arus saturasi *reverse* (Ampere)

n = faktor ideal dioda

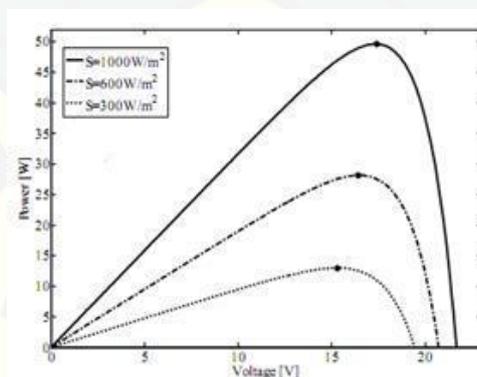
q = pengisian elektron ($1.602 \cdot 10^{-19}$ C)

k = konstanta *Boltzman* ($1.3806 \cdot 10^{-23}$ J. K^{-1})

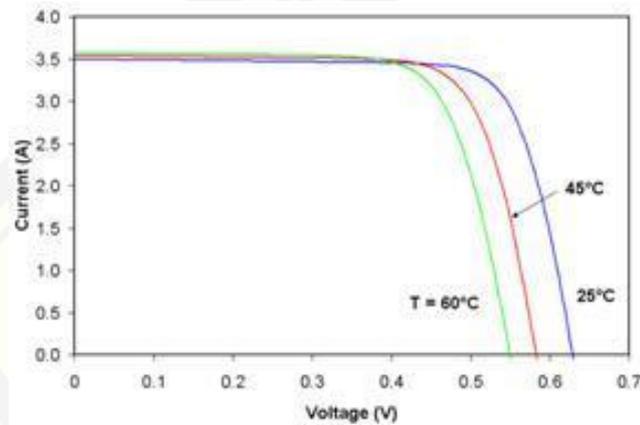
T = temperature solar sel (°K)

Persamaan diatas digunakan dalam simulasi menggunakan komputer untuk mendapatkan karakteristik keluaran solar sel, seperti pada gambar 2.2 dan 2.3. Kurva ini sangat jelas menunjukkan jika karakteristik keluaran solar sel adalah *nonlinier* dan sangat dipengaruhi oleh radiasi sinar matahari dan temperature. Secara umum terdapat titik yang unik pada kurva V-I atau kurva V-P, yang dinamakan *Maximum Power Point* (MPP). Dimana pada titik tersebut solar sel bekerja pada efisiensi maksimum dan menghasilkan daya keluaran yang paling besar.

Pada gambar 2.2 diperlihatkan pengaruh iradiasi terhadap daya dan tegangan keluaran dari solar sel, sedangkan pada gambar 2.3 diperlihatkan pengaruh dari suhu permukaan solar sel pada kurva I-V.



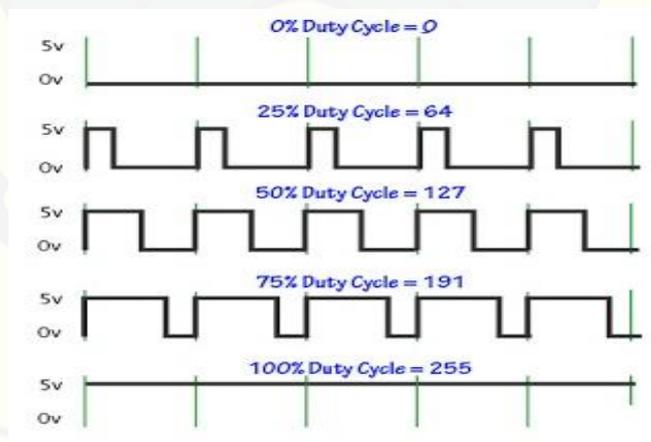
Gambar 2.2 Karakteristik P-V untuk level radiasi yang berbeda. Tiap titik mewakili MPP dari masing-masing kurva (Widodo, Rugianto, Asmuniv, & Sejati, 2009)



Gambar 2.3 Karakteristik I-V pada temperatur permukaan sel surya yang berbeda (Widodo, Rugianto, Asmuniv, & Sejati, 2009).

2.2 Pulse Width Modulation (PWM)

Kontrol pensaklaran mosfet pada konverter dc-dc adalah dengan memanfaatkan pensaklaran (*switching*) frekuensi tinggi menggunakan teknik modulasi lebar pulsa (PWM) pada sumber tegangan DC yang dijaga konstan, kemudian diambil rata – rata dari bentuk gelombang keluaran untuk mendapatkan komponen fundamental tegangan yang diatur magnitudnya. Teknik PWM memberikan keuntungan dimana komponen harmonisa urutan komponen rendah berkurang sehingga akan mengurangi jumlah harmonisa dan menyaring harmonisa. Semakin tinggi rasio frekuensi *switching* terhadap frekuensi fundamental maka semakin berkurang komponen harmonisa yang muncul.

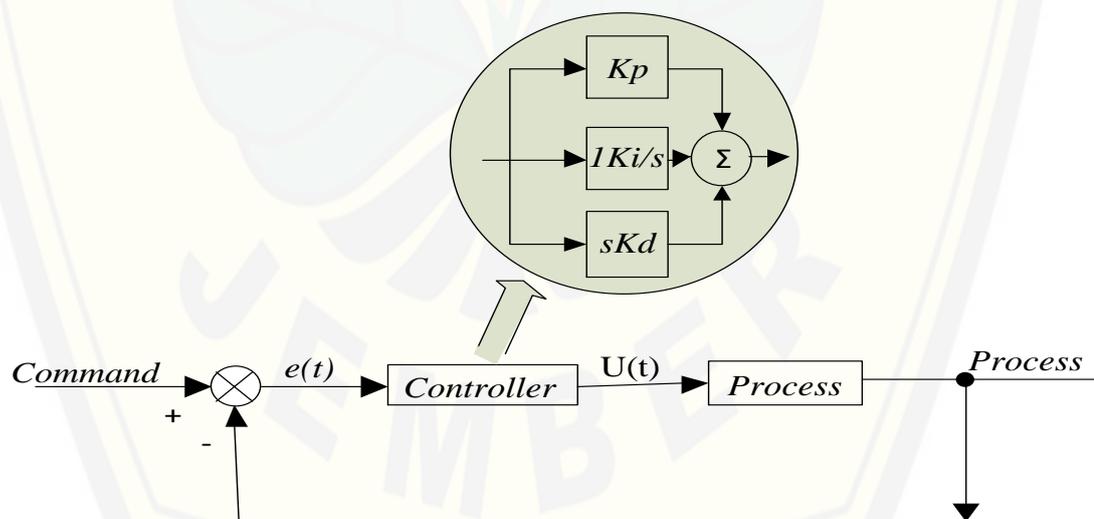


Gambar 2.4 Bentuk sinyal *duty cycle* (Dani, 2012)

Sinyal PWM dapat dibangun dengan banyak cara, dapat menggunakan metode analog dengan menggunakan rangkaian op-amp atau dengan menggunakan metode digital. Dengan metode analog setiap perubahan PWM-nya sangat halus, sedangkan menggunakan metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri, misalkan PWM digital 8 bit berarti PWM tersebut memiliki resolusi $2^8 = 256$, maksudnya nilai keluaran PWM ini memiliki 256 variasi, variasinya mulai dari 0 – 256 yang mewakili *duty cycle* 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut, pada perancangan driver ini, sinyal PWM akan diatur secara digital yang dibangkitkan oleh mikrokontroler.

2.3 Kontrol PID

Pengendali *PID* telah secara luas digunakan dalam industri, yaitu hampir sebesar 90% (Gunawan, 2009). Hal ini dikarenakan jika pengendali ini diatur dengan baik maka akan menghasilkan pengendalian *PID* yang sangat baik. Selain itu pengendali ini juga sederhana dan diimplementasikan dengan mudah. Skema pengendalian *PID* ditunjukkan oleh gambar 2.5. Pada gambar 2.5 menunjukkan bahwa pengendali *PID* merupakan jumlah dari tiga aksi kendali yaitu *propotional* yang ditunjukkan oleh K_p , *integral* yang ditunjukkan oleh K_i dan *derivative* yang ditunjukkan oleh K_d .



Gambar 2.5 Skema Pengendali *PID*

Masing – masing paramter dari *PID* ini memiliki fungsi dan perannya. *Propostional* akan mengurangi *rise time* dan akan mengurangi *steady state error*, *integral* dapat menghilangkan *steady state error*. Namun jika hanya kontrol *PI* saja yang digunakan maka akibatnya *transient response* akan bertambah buruk. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan parameter *derivative*. Peramater *D* ini akan memperbaiki *transient response* seperti *overshoot* dan *settling time*. Gabungan dari parameter – parameter ini disebut kontrol *PID* yang akan meningkatkan stabilitas sistem, mengurangi *overshoot* dan mempercepat *transient response*.

Bentuk kontrol *PID* dapat diimplementasikan dalam bentuk analog atau digital. Implementasi *PID* dalam bentuk analog secara dominan digunakan dalam bentuk komponen elektronika analog. Sedangkan bentuk *PID* digital diimplementasikan dalam bentuk digital, yaitu dengan *programming system* di dalam mikroprosesor atau *DSP*. *PID* analog dialam bentuk rangkaian elektronika analog ditunjukkan pada gambar 2.5, selain parameter *PID* dalam bentuk K_p , K_i dan K_d dapat juga dalam bentuk K_p , T_i , dan T_d . Untuk *tunning* parameter – parameter pada bentuk ini dapat dilakukan dengan mengatur nilai dari komponen pada rangkaian analog tersebut. Bentuk *PID* ini memiliki keunggulan murah, efisisen yang tinggi dan kinerja dinamik yang cukup baik (Gunawan, 2009). Dengan rumus sebagai berikut:

Nilai error = Setpoint - Tegangan

Out_P = $K_P \cdot \text{Error}$

Error I = Error + Error Sebelum I

Out I = $K_I \cdot \text{Error I} \cdot T_c$

Error sebelum I = Error I

Error D = Error – Error Sebelum D

Out D = $(K_D \cdot \text{Error D}) / T_c$

Error Sebelum D = Error D

Out PID = Out P + Out I + Out D

Menentukan Parameter *PID* atau *Tunning* kontrol *PID* ini bertujuan untuk menentukan parameter aksi kontrol *Proportional, Integratif, Derivatif* pada *plan*. Proses ini dapat dilakukan dengan cara *trial and error*. Keunggulan cara ini kita tidak perlu mengidentifikasi *plan*, membuat model matematis *plan*, menentukan parameter *plan* dengan grafis ataupun analitis, cukup dengan cara coba-coba memberikan konstanta P-I-D pada formula *PID* hingga di peroleh hasil yang di inginkan, dengan mengacu pada karakteristik masing – masing kontrol *P-I-D*.

Tabel 2.1 Karakteristik masing – masing kontrol *P-I-D*

<i>Respon loop tertutup</i>	<i>Rise time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling time</i>	<i>Error steady-state</i>
Kp	Mengurangi	Meningkatkan	Mengurangi	Mengurangi
Ki	Mengurangi	Meningkatkan	Meningkatkan	Menghilangkan
Kd	Perubahan Kecil	Mengurangi	Menurun	Perubahan Kecil

Rise time adalah ukuran waktu yang menyatakan keberadaan suatu respon, yang diukur mulai respon 5% - 95% dari respon *steady state*. *Overshoot* adalah nilai tertinggi dari *output* respon. *Settling time* adalah ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk 5% atau 2% dari respon *steady state*. *Error steady-state* adalah presentase kesalahan pada saat respon *steady state*.

2.4 Konverter DC-DC

DC-DC konverter adalah sebuah rangkaian elektronika daya yang dirancang untuk mengkonversi level tegangan DC ke level tegangan DC yang berbeda. Sebenarnya banyak sekali jenis DC-DC konverter salah satunya adalah *synchronous buck* konverter yang merupakan penyempurnaan efisiensi dari *buck* konverter.

2.4.1 Perhitungan *Buck* Konverter

Menurut (Hauke, 2011) perhitungan pada *Buck* Konverter di dapatkan beberapa langkah yaitu:

Langkah pertama untuk menghitung arus pensaklaran untuk menentukan *duty cycle* (D), untuk tegangan input maksimum. Tegangan input maksimum digunakan karena ini mengarah ke arus pensaklaran maksimum.

$$\text{Maximum Duty Cycle } D = \frac{V_{out}}{V_{in(max)} \times \eta} \quad (2.2)$$

$V_{in(max)}$ = Tegangan *input* maksimum

V_{out} = Tegangan *output*

η = Efisiensi pada konverter, estimasi 90 %

Efisiensi tersebut akan ditambahkan ke perhitungan *duty cycle* D, karena *converter* juga memberikan disipasi energi. Perhitungan ini memberikan *Duty cycle* yang lebih nyata dari pada hanya dengan perhitungan tanpa faktor efisiensi (Hauke, 2011).

Langkah berikutnya dalam menghitung arus pensaklaran maksimum adalah digunakan untuk menentukan arus *ripple* pada induktor. Di dalam *data sheet converter*, biasanya, sebuah induktor tertentu atau berbagai jenis induktor diberi nama untuk digunakan dengan IC. Jadi, gunakanlah nilai induktor dianjurkan untuk menghitung arus *ripple*, nilai induktor di tengah-tengah kisaran yang direkomendasikan, atau jika tidak ada dalam *data sheet*, maka hitung dengan menggunakan rumus arus *ripple* induktor sebagai berikut.

$$\text{Inductor ripple current : } \Delta I_L = \frac{(V_{in(max)} - V_{out}) \times D}{f_s \times L} \quad (2.3)$$

$V_{in(max)}$ = Tegangan *input* maksimum

V_{out} = Tegangan *output*

D = Perhitungan *Duty cycle*

f_s = Frekuensi minimum pensaklaran pada *converter*

L = Pemilihan hasil induktor

Langkah selanjutnya menentukan pemilihan IC harus dapat memberikan arus keluaran maksimum. Berikut ini merupakan persamaannya.

$$\text{Maximum output current of IC : } I_{maxout} = I_{limit(min)} - \frac{\Delta I_L}{2} \quad (2.4)$$

$I_{limit(min)}$ = Nilai minimum arus limit dari IC (didapatkan pada *datasheet*)

ΔI_L = Arus *ripple* induktor

Jika hasil perhitungan untuk arus maksimum pada IC (I_{maxout}) dibawah *output* arus maksimum sistem yang diinginkan, frekuensi pensaklaran harus dinaikkan untuk mengurangi arus riak atau menggunakan IC lain dengan batas arus pensaklaran yang lebih tinggi. Jika nilai yang dihitung untuk I_{maxout} hanya sedikit lebih kecil dari yang diperlukan, maka masih mungkin untuk menggunakan IC yang telah dipilih dengan sebuah induktor dengan induktansi yang lebih tinggi, jika masih dalam kisaran yang direkomendasikan. Induktansi yang lebih tinggi mengurangi arus riak dan meningkatkan arus keluaran maksimum dengan pemilihan IC. Jika nilai yang dihitung di atas arus *output* maksimum, arus pensaklaran maksimum pada sistem dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Specific maximum switch current} : I_{sw}(\max) = \frac{\Delta I_L}{2} + I_{out}(\max) \quad (2.5)$$

ΔI_L = Arus *ripple* induktor

$I_{out}(\max)$ = Arus keluaran maksimum dalam aplikasi

Ini merupakan arus puncak dimana induktor, IC dan dioda harus dapat menahan arus tersebut.

2.4.2 Pemilihan Induktor

$$L = \frac{V_{out} \times (V_{in} - V_{out})}{\Delta I_L \times f_s \times V_{in}} \quad (2.6)$$

V_{in} = Tegangan *input*

V_{out} = Tegangan *output* yang diinginkan

f_s = Frekuensi minimum pensaklaran pada *converter*

ΔI_L = Arus *ripple* induktor

Arus *ripple* pada induktor tidak dapat dihitung jika nilai induktor tidak diketahui. Dengan demikian maka estimasi arus *ripple* induktor yaitu 20% sampai 40% dari arus keluaran maksimum (Hauke, 2011).

$$\Delta I_L = (0,2 \text{ to } 0,4) \times I_{out}(\max) \quad (2.7)$$

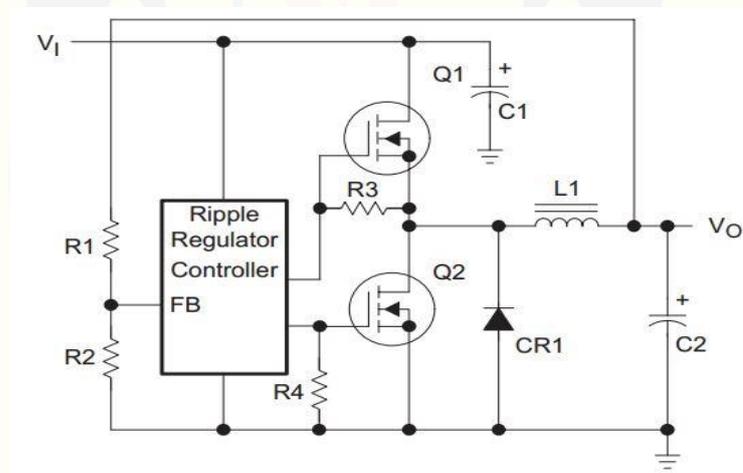
2.4.3 Pemilihan Kapasitor

$$C(\min) = \frac{\Delta I_L}{8 \times f_s \times \Delta V_{out}} \quad (2.8)$$

$C(\min)$	= Kapasitansi minimum
ΔI_L	= Estimasi arus <i>ripple</i> induktor
F_s	= Frekuensi minimum pensaklaran pada <i>converter</i>
ΔV_{out}	= Tegangan <i>ripple output</i> yang diinginkan

2.4.4 Synchronous Buck Konverter

Dalam *synchronous buck* konverter, sebuah MOSFET daya menggantikan sebuah dioda pada *buck* konverter. Pergantian dioda ke MOSFET ini mengakibatkan pengurangan drop dioda yang awalnya 0.5V-1V menjadi sekitar 0.3V atau kurang, sehingga menghasilkan peningkatan efisiensi rangkaian sekitar 5% dan lebih tinggi. Dasar dari rangkaian *synchronous buck* konverter mencakup sepasang MOSFET, filter keluaran, dan kontroler yang menyediakan fungsi peralihan sinkron. Gambar 5.11 menunjukkan diagram skematik dari *synchronous buck* konverter.



Gambar 2.6 Synchronous Buck Konverter (Instruments, 1998)

Dalam konverter *synchronous buck* yang ditunjukkan pada Gambar 2.8, *Ripple Regulator Controller* mengontrol tegangan keluaran. Jika tegangan keluaran turun di bawah level regulasi, *controller* menyalakan MOSFET Q1 dan mematikan Q2, ini sekaligus membuat induktor L1 mengalirkan daya ke beban. Bila tegangan keluaran melebihi tingkat regulasi, *controller* mematikan Q1 dan

menyalakan Q2 sehingga Q2 memberikan jalur alternatif untuk mengalirkan arus dalam induktor L1 dan ke beban, ini mempertahankan pengiriman daya terus menerus selama status *on* dan *off* dari Q1. *Controller* memastikan bahwa MOSFET daya Q1 dan Q2 tidak pernah menyala secara bersamaan. (Instruments, 1998).

Untuk mengetahui efisiensi yang dihasilkan oleh konverter *synchronous buck* adalah menggunakan persamaan berikut :

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.9)$$

$\eta\%$ = Efisiensi konverter

P_{out} = Daya keluaran konverter

P_{in} = Daya masukan konverter

$$P = V \times I \quad (2.10)$$

P = Daya

V = Tegangan

I = Arus

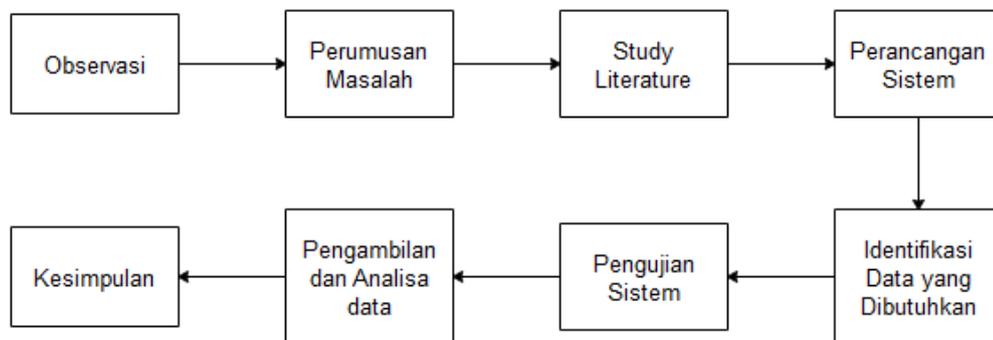
P_{out} adalah daya keluaran yang diperoleh dari tegangan keluaran konverter dikali dengan arus keluaran konverter ($V_{out} \times I_{out}$), sedangkan P_{in} adalah daya masukan konverter yang diperoleh dari tegangan masukan dikali arus masukan ($V_{in} \times I_{in}$).

BAB 3. METODE PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan beberapa hal pokok tentang penelitian yang akan dilaksanakan dari beberapa uraian yang telah dijelaskan sebelumnya yaitu waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, tahap penelitan, perancangan sistem, pemilihan komponen yang akan digunakan pada sistem, langkah-langkah dalam pengambilan data, serta pengolahan data.

3.1 Tahap Penelitian

Tahap penelitian “Rancang Bangun Konverter *Synchronous Buck* Pada Daya Panel Surya Menggunakan Metode Kontrol *PID*” mulai dari observasi yaitu pengamatan terhadap penelitian sebelumnya, perumusan masalah, studi literatur, perancangan sistem, identifikasi data yang dibutuhkan, pengujian sistem, pengambilan dan analisa data, kemudian menarik kesimpulan. Secara sederhana tahapan penelitian yang akan dilakukan dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

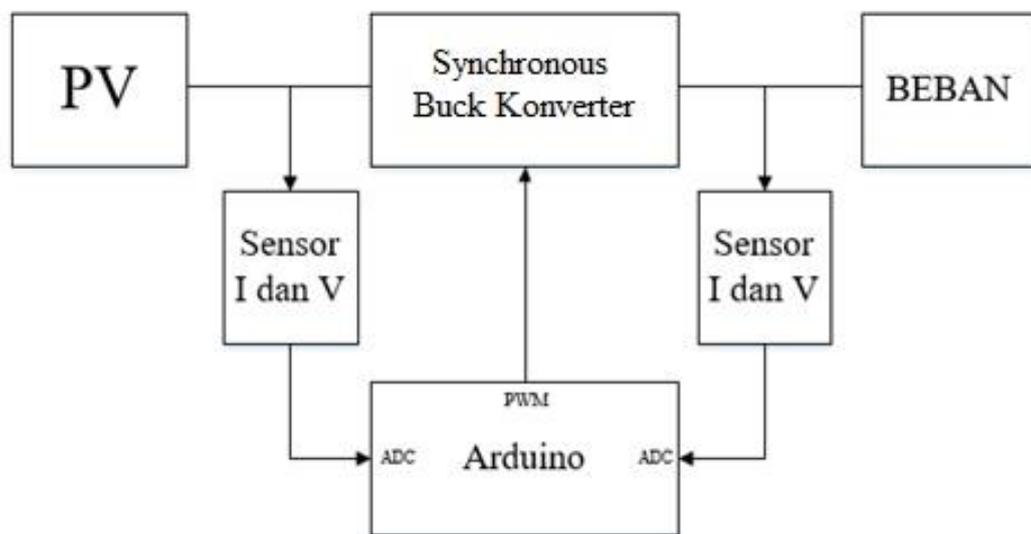
3.2 Rancangan Sistem

Rancangan dari “Rancang Bangun Konverter *Synchronous Buck* Pada Daya Panel Surya Menggunakan Metode Kontrol *PID*” terdiri dari diagram blok *hardware*, *flowchart* cara kerja sistem, desain mekanik, rancangan metode *tracking path*, dan rancangan kontrol *PID*.

3.2.1 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

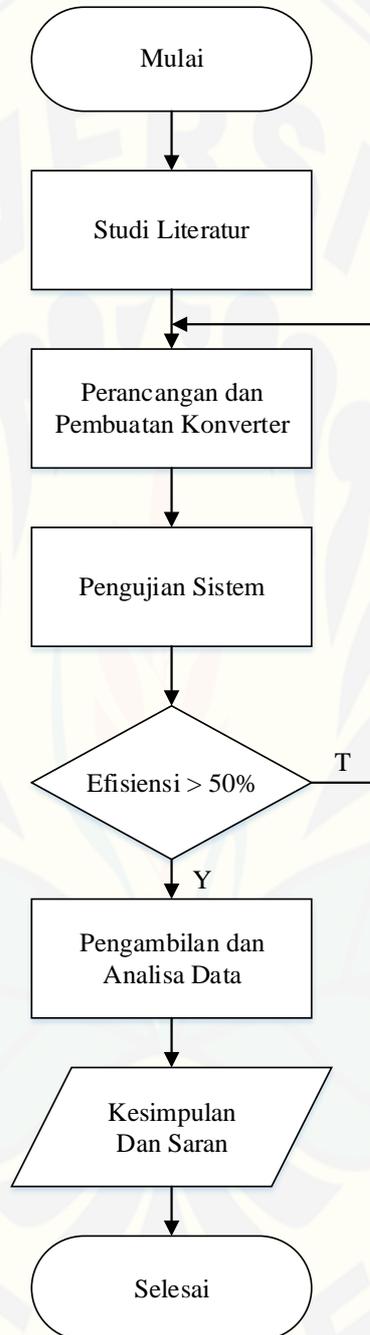
Sinyal PWM dapat dibangun dengan banyak cara, dapat menggunakan metode analog dengan menggunakan rangkaian op-amp atau dengan menggunakan metode digital. Dengan metode analog setiap perubahan PWM-nya sangat halus, sedangkan menggunakan metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri, misalkan PWM digital 8 bit berarti PWM tersebut memiliki resolusi $2 \text{ pangkat } 8 = 256$, maksudnya nilai keluaran PWM ini memiliki 256 variasi, variasinya mulai dari 0 – 256 yang mewakili *duty cycle* 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut, pada perancangan driver ini, sinyal PWM akan diatur secara digital yang dibangkitkan oleh mikrokontroller.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem

3.2.2 Flowchart Sistem

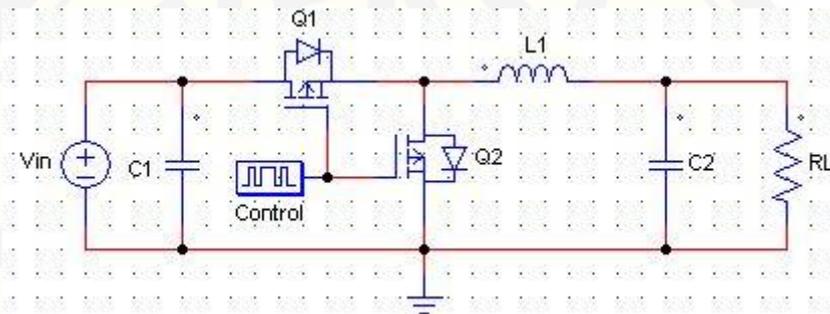
Flowchart cara kerja dari sistem yang akan dibuat adalah sebagai berikut:



Gambar 3.3 Flowchart Sistem

3.3 Perancangan DC-DC *Synchronous Buck Converter*

Pada penelitian ini digunakan DC-DC konverter dengan jenis *synchronous buck*. Hal ini didasarkan karena tegangan yang dihasilkan oleh panel surya harus di turunkan sebesar tegangan baterai yang digunakan. Perancangannya adalah sebagai berikut.



Gambar 3.4 Rangkaian DC-DC *Synchronous Buck Converter*

Pada gambar 3.4 merupakan gambar rangkaian dasar DC-DC *synchronous buck converter*, dalam rangkaian ini terdapat beberapa komponen dasar yaitu induktor, kapasitor, dioda dan mosfet. Untuk mendesain DC-DC *synchronous buck converter* diperlukan beberapa parameter utama, yaitu spesifikasi dari konverter tersebut. Spesifikasi tersebut disesuaikan dengan spesifikasi dari panel surya dan spesifikasi beban yang akan digunakan. Untuk menentukan tegangan masukan pada *synchronous buck converter* diperoleh dari spesifikasi panel surya yang direncanakan yaitu sebesar 15 – 20 V. Sedangkan untuk menentukan besar tegangan keluaran diperoleh dari data tegangan *charging* baterai yaitu kurang lebih 14 V. Sedangkan arus maksimal didapat dari besar arus *short circuit* pada panel surya yaitu sebesar 3.52 A. Namun yang digunakan sebagai referensi arus keluaran dari *synchronous buck converter* yaitu arus I_{mp} pada panel surya sebesar 2.97 A. Untuk frekuensi yang digunakan dalam proses *switching* pada DC-DC *synchronous buck converter* adalah 1 MHz. Dengan data tersebut maka langkah awal dalam pembuatan DC-DC *synchronous buck converter* yaitu menentukan spesifikasi terlebih dahulu. Berikut ini adalah spesifikasi DC-DC *synchronous buck converter* yang akan dibuat :

Tabel 3.1 Spesifikasi DC-DC *Synchronous Buck Converter*

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Masukan	15 – 20 Volt
Tegangan Nominal	14 Volt
Arus Keluaran Maksimum	2.97 Ampere
Frekuensi <i>Switching</i>	20 kHz
<i>Ripple</i>	< 0.2

Sebelum mendesain DC-DC *synchronous buck converter* terlebih dahulu menentukan spesifikasi dari konverter yang akan digunakan. Spesifikasi *synchronous buck converter* yang akan digunakan sesuai dengan tabel 3.2. Langkah selanjutnya yaitu melakukan perancangan besaran pada masing-masing komponen dengan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada tinjauan pustaka. Berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan, langkah selanjutnya yaitu menentukan komponen untuk membuat DC-DC *synchronous buck converter*. Langkah – langkah untuk menentukan besaran pada masing-masing komponen adalah sebagai berikut.

1. Menentukan *duty cycle* minimum dan maksimum

$$M_{vdc} \text{ maks} = \frac{V_o(\text{maks})}{V_i(\text{min})}$$

$$M_{vdc} \text{ maks} = \frac{14}{15} = 0.93$$

$$M_{vdc} \text{ min} = \frac{V_o(\text{maks})}{V_i(\text{maks})}$$

$$M_{vdc} \text{ min} = \frac{14}{20} = 0.7$$

Untuk menghitung *duty cycle* minimum dan maksimum maka penulis mengasumsikan efisiensi dari konverter sebesar 95%.

$$D \text{ maks} = \frac{M_{vdc} \text{ maks}}{\eta}$$

$$D \text{ maks} = \frac{0.93}{0.95} = 0.98$$

$$D \text{ min} = \frac{M_{vdc} \text{ min}}{\eta}$$

$$D \text{ min} = \frac{0.65}{0.9} = 0.77$$

Jadi pada perancangan DC-DC *synchronous buck converter* besar *duty cycle* yang di tentukan adalah 98% untuk *duty cycle* maksimum dan 77% untuk *duty cycle* minimum.

2. Pemilihan induktor

Estimasi *ripple* arus digunakan untuk mengetahui berapa arus keluaran minimum yang dapat di hasilkan oleh konverter. Berikut ini merupakan perhitungan $I_o(\min)$ (arus keluaran minimum) dengan mengestimasi *ripple* arus sebesar 20% sehingga dapat dihitung estimasi *ripple* arus (ΔI_L) yang melauai induktor sebagai berikut.

$$\Delta I_L = I_o(\text{maks}) \times 20\%$$

$$\Delta I_L = 6 \times 20\%$$

$$\Delta I_L = 1.2 \text{ A}$$

Setelah mendapatkan estimasi *ripple* arus maka selanjutnya menghitung $I_o(\min)$ sebagai berikut.

$$I_o(\min) = \frac{\Delta I_L}{2}$$

$$I_o(\min) = \frac{1.2}{2}$$

$$I_o(\min) = 0.6 \text{ A}$$

Dengan menggunakan hasil perhitungan arus keluaran minimum diatas maka dapat dicari nilai induktansi minimum untuk mendapatkan kondisi CCM pada DC-DC *synchronous buck converter* sebagai berikut.

Induktansi minimum:

$$L(\min) = \frac{V_o \times (1-D_{\min})}{2 \times f_s \times (I_{o\min})}$$

$$L(\min) = \frac{14 \times (1-0.77)}{2 \times 1000000 \times 0.6}$$

$$L(\min) = 2.7 \text{ uH}$$

Maka dari hasil perhitungan induktansi minimum didapatkan induktansi minimum sebesar 2.7 uH untuk mendapatkan kondisi CCM pada *synchronous buck converter*. Dari hasil perhitungan induktansi minimum maka dapat digunakan nilai induktansi yang lebih besar dari induktansi minimum agar *ripple* arus yang dihasilkan oleh konverter semakin kecil dan konverter dapat mengeluarkan arus

keluaran yang lebih rendah dari pada arus keluaran minimum (I_{omin}). Dengan demikian dipilih induktor dengan nilai induktansi sebesar 200 μH dengan tujuan agar *ripple* arusnya akan semakin kecil dan konverter akan dapat menghasilkan arus yang lebih rendah juga. Dengan menggunakan induktor yang bernilai 500 μH maka didapatkan *ripple* arus induktor maksimal adalah sebagai berikut.

$$\Delta I_L(\text{maks}) = \frac{V_o \times (1 - D_{\text{min}})}{f_s \times L}$$

$$\Delta I_L(\text{maks}) = \frac{14 \times (1 - 0.77)}{1000000 \times 200 \times 10^{-6}} = 0.016 \text{ A}$$

Jadi dengan menggunakan induktor yang bernilai 200 μH maka *ripple* arus maksimum pada desain *synchronous buck converter* hanya sebesar 0.016 A.

3. Pemilihan kapasitor

Pemilihan kapasitor dilakukan agar *ripple* tegangan dapat diminimalisir. Kapasitor ini berfungsi sebagai *filter* pada DC-DC *synchronous buck converter*. Berikut ini merupakan perhitungan untuk mendapatkan kapasitor minimum yang harus digunakan. Pada pemilihan kapasitor ini digunakan estimasi *ripple* tegangannya adalah 1%. Maka dapat dihitung *ripple* tegangan sebagai berikut.

$$V_r = 1 \% \times V_{out}$$

$$V_r = 1 \% \times 14$$

$$V_r = 0.14 \text{ V}$$

Dengan menggunakan nilai *ripple* tegangan 0,14 V tersebut maka dapat dihitung nilai ESR maksimum pada kapasitor sebagai berikut.

$$r_c(\text{maks}) = \frac{V_r}{\Delta I_L(\text{maks})}$$

$$r_c(\text{maks}) = \frac{0.14}{0.016} = 0.875 \text{ ohm}$$

Dari nilai ESR maksimum tersebut maka dapat dihitung nilai kapasitor minimum sebagai berikut.

$$C(\text{min}) = \frac{D(\text{maks})}{2 \times f_s \times r_c}$$

$$C(\text{min}) = \frac{0.98}{2 \times 1000000 \times 0.875} = 600 \text{ nF}$$

Jadi dari hasil perhitungan kapasitansi minimum dari *filter synchronous buck converter* adalah 600 nF.

4. Pemilihan mosfet

Memilih mosfet berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan yaitu sebagai berikut.

$$V_{\text{switch}} = V_{\text{input maks}} = 20 \text{ V}$$

Maka dapat digunakan mosfet N-Chanel IRF540N dengan spesifikasi sebagai berikut.

$$V_{\text{DSS}} = 100 \text{ V}$$

$$R_{\text{DS (on)}} = 44 \text{ m}\Omega$$

$$I_{\text{D}} = 33 \text{ A}$$

$$V_{\text{GS (th)}} = 2 \text{ V} - 4 \text{ V}$$

$$C_{\text{oss}} = 240 \text{ pF}$$

$$C_{\text{rss}} = 40 \text{ pF}$$

$$Q_{\text{g}} = 71 \text{ nC}$$

3.4 Rancangan Kontrol PID

Perancangan kontrol *PID* diperlukan algoritma program kontrol *PID* agar menjadi kontrol yang sesuai yang akan dimasukkan ke dalam program arduino. Pada gambar 3.5 merupakan *flowchart* dari algoritma program kontrol *PID* untuk rancang bangun kontrol *PID* pada tegangan *output* power supply.

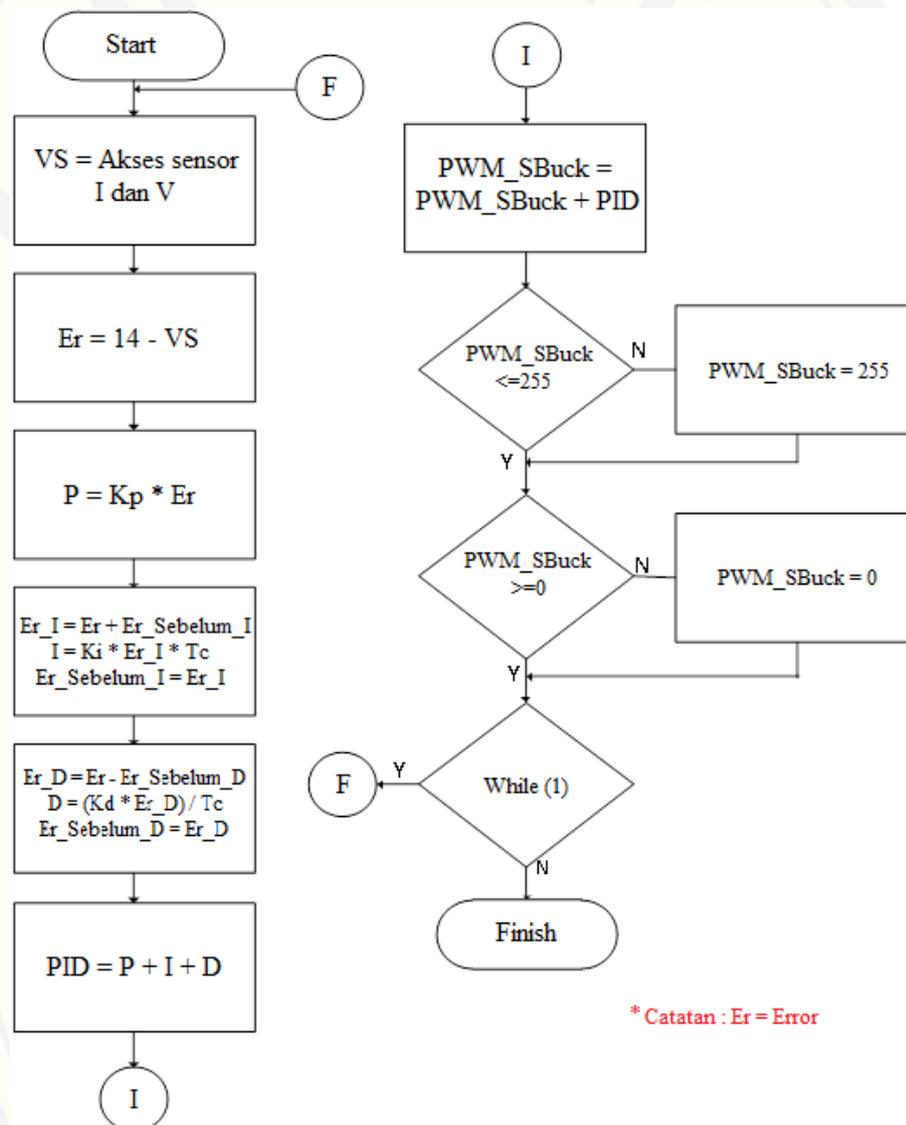
Yang paling penting dari kontrol *PID* adalah menentukan parameter K_p , K_i dan K_d . Pada penelitian ini untuk menentukan parameter – parameter *PID* digunakan metode *manual tuning* yaitu dengan cara *trial and error*.

Metode *manual tuning* adalah metode untuk mencari nilai parameter *PID* dengan cara *trial and error* dengan mengacu pada karakteristik dari setiap parameter yang dicari seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya. Pada penelitian ini dilakukan *manual tuning* parameter dengan langkah sebagai berikut :

1. Memberikan *gain* parameter *propotional* sehingga *plan* memberikan nilai *output* yang mencapai *setpoint*. Namun dengan memberikan parameter ini akan meningkatkan *overshoot* pada *output* dari *plan* dan *error steady-state* masih tinggi.

2. Memberikan nilai parameter *integral* sehingga nilai *error steady-state* dapat dikurangi. Namun pemberian parameter ini akan meningkatkan *overshoot* dan *settling time* meningkat.
3. Memberikan nilai parameter *derivative* sehingga nilai *overshoot* dan *settling time* dapat dikurangi. Namun untuk memberikan nilai parameter ini tidak diperbolehkan terlalu tinggi karena akan membuat sistem lebih tidak stabil.

3.4.1 Flowchart Program Kontrol PID



Gambar 3.5 Flowchart Program Kontrol PID

3.5 Perencanaan Baterai

Pada penelitian ini digunakan sebuah baterai jenis VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*). Karena baterai jenis ini merupakan salah satu jenis baterai yang tidak membutuhkan perawatan khusus. Hal ini karena konstruksi dari baterai yang tertutup oleh lapisan plastic sehingga tidak ada kebocoran cairan maupun gas pada baterai. Baterai yang digunakan pada penelitian ini menggunakan merk Panasonic Battery 12V dengan kapasitas 7.2 Ah. Berikut ini merupakan gambar bentuk fisik dari baterai tersebut.



Gambar 3.6 Bentuk fisik Baterai VRLA

Berikut adalah tabel spesifikasi lengkap dari baterai yang digunakan pada penelitian ini :

Tabel 3.2 Spesifikasi baterai

Spesifikasi	Keterangan
Merk	Panasonic Battery
Nominal voltage	12 V
Nominal capacity	7.2 Ah
Nominal charger voltage	14.5 V – 14.9 V
Length	151 mm
Width	64.5 mm
Height	94 mm
Approx. mass	2.5 kg

3.6 Perencanaan Panel Surya

Pada penelitian kali ini digunakan sebuah panel surya dengan *type polycrystalline* dengan gambar sebagai berikut :



Gambar 3.7 Bentuk fisik Panel Surya *Polycrystalline*

Berikut adalah tabel spesifikasi lengkap dari baterai yang digunakan pada penelitian ini :

Tabel 3.4 Spesifikasi panel surya

Spesifikasi	Keterangan
<i>Max. Power (P.Max)</i>	50Wp
<i>Type Cell</i>	<i>Polycrystalline</i>
<i>Voltage at P.Max (Vmp)</i>	17.5 V
<i>Current at P.max (Imp)</i>	2.07 A
<i>Short Circuit Current (Isc)</i>	3.52 A
<i>Open Circuit Voltage (Voc)</i>	21.7 V
<i>Number Of Cells</i>	36 Pcs
<i>Max. System Voltage</i>	600 Vdc

3.7 Desain Perencanaan Alat

Berikut adalah gambar dari desain perencanaan alat :



Gambar 3.8 Desain perencanaan alat

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Konverter Synchronous Buck Pada Daya Panel Surya Menggunakan Metode Kontrol *PID*” telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Konverter *Synchronous Buck* yang digunakan pada penelitian ini dapat meningkatkan efisiensi dalam menyalurkan daya dari panel surya ke beban karena dioda pada topologi *Buck* digantikan oleh sebuah mosfet sehingga mengurangi drop dioda yang umumnya 0,5 Volt sampai dengan 1 Volt menjadi sekitar 0,3 Volt atau kurang.
2. Pada keseluruhan data pengujian yang telah dilakukan diperoleh hasil nilai parameter kontrol *PID* yang dapat digunakan dalam konverter *synchronous buck* adalah $K_p = 22.5$, $K_i = 7.5$ dan $K_d = 0.15$ dengan nilai *rise time* 3s, nilai *settling time* 14 s, nilai *error steady-state* 0.12 %.
3. Dari 3 sampel data yang diperoleh pada pengujian konverter *Synchronous Buck*, konverter jenis ini dapat menghasilkan nilai efisiensi 98.6% pada saat diberikan beban berupa *ACCU* dan LED 7 Watt dengan daya maksimal yang dihasilkan oleh sistem sebesar 18.83 Watt. Sedangkan pada saat konverter *Synchronous Buck* diberikan beban berupa *ACCU* dan LED 9 Watt efisiensi yang dihasilkan paling besar hanya 93.5% dengan daya maksimal sebesar 23.8 Watt.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kekurangan yang perlu diperbaiki untuk penelitian selanjutnya diantaranya :

1. Konverter *Synchronous Buck* pada penelitian ini masih dapat diteliti dan dikembangkan lebih lanjut menggunakan metode kontrol lain atau juga menggunakan konverter jenis lain agar memperoleh nilai efisiensi daya panel surya yang lebih baik lagi.
2. Perlu penyempurnaan *converter* dengan pemilihan komponen elektronika yang memiliki rugi – rugi daya kecil sehingga dapat menghasilkan efisiensi *converter* yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aït, C. M., C., L., Tchoketch, K. G., & Zerguerras, A. (2007). Maximum power point tracking using a fuzzy logic control scheme. *Revue des Energies Renouvelables*, 10(3), 387-395.
- Babgei, A. F. (2011). RANCANG BANGUN MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) PADA PANEL SURYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY .
- Dani, F. N. (2012). *Robotic-Electric* . Dipetik July 1, 2017, dari <http://robotic-electric.blogspot.co.id/2012/11/pulse-width-modulation-pwm.html>
- Hauke, B. (2011). Basic Calculation of a Buck Converter's Power Stage. *TEXAS INSTRUMENTS, SLVA477B*.
- Instruments, T. (1998). *Synchronous Buck Converter Design Using TPS56xx Controllers in SLVP10x EVMs User's Guide*. Texas: Texas Instruments Incorporated.
- Syafrizal, I. (2016). RANCANG BANGUN KONVERTER BUCK-BOOST DENGAN KONTROL LOGIKA FUZZY. *Digital Repository Universitas Jember*.
- Widodo, R. T., Rugianto, Asmuniv, & Sejati, P. (2009). Maximum Power Point Tracker Sel Surya Menggunakan Algoritma Perturb And Observe. *Industrial Electronic Seminar (IES)* .

LAMPIRAN

Program Arduino :

```
#include <TimerOne.h>
#include <LiquidCrystal.h>
//sensor tegangan
int sensTeg = A1;
int sensTeg1 = A2;
float Vin, adc_rata, Vout, adc_rata1;
//sensor arus
float sensA = A4;
float sensA1 = A3;
float arus, arus1, adc_rat, adc_rat1;
int pwmVal = 0;
int setPoint = 14;
float KP = 8;
float KI = 0.04;
float KD = 0.15;
float error_sblm_I = 0;
float error_sblm_D = 0;
float Tc = 0.1;
int error;
int error_I;
int error_D;
float out_P;
float out_I;
float out_D;
float out_PID;
int pwm;
int con;
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
```

```
void kontrol_PID() {
    error = setPoint - Vout;
    if (error >= 200)
    {
        error = 200;
    }
    if (error <= (-200))
    {
        error = -200;
    }
    out_P = KP * error;
    error_I = error + error_sblm_I;
    out_I = KI * error_I * Tc;
    error_sblm_I = error_I;
    error_D = error - error_sblm_D;
    out_D = (KD * error_D) / Tc;
    error_sblm_D = error_D;
    out_PID = out_P + out_I + out_D;
}

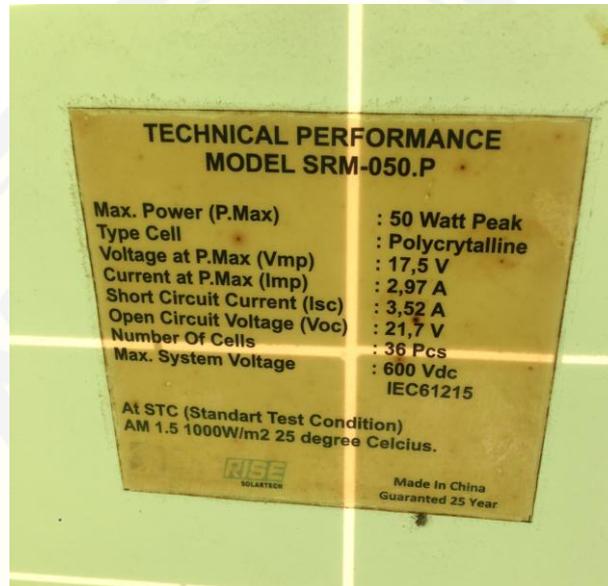
void kontrol() {
    pwmVal = pwmVal + out_PID;
    if (pwmVal >= 935 )
    {
        pwmVal = 935;
    }
    if (pwmVal <= 0)
    {
        pwmVal = 0;
    }
    Timer1.pwm(9, pwmVal);
}
```

```
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  lcd.begin(20, 4);
  Serial.begin(9600);
  Timer1.initialize(1000000);
  Timer1.start() ;
  Timer1.setPeriod(50) ;
  pinMode(9, OUTPUT);
}
void loop() {
  kontrol_PID();
  kontrol();
  //Timer1.pwm(9, pwmVal) ;
  bacaTegIn();
  lcd.setCursor(0, 0);lcd.print("Vi=");lcd.setCursor(4,
0);lcd.print(Vin);lcd.setCursor(9,0);lcd.print("V");
  bacaTegOut();
  lcd.setCursor(0, 2);lcd.print("Vo=");lcd.setCursor(4,
2);lcd.print(Vout);lcd.setCursor(9,2);lcd.print("V");
  bacaAI();
  lcd.setCursor(0, 1);lcd.print("Ii=");lcd.setCursor(4,
1);lcd.print(arus);lcd.setCursor(9,1);lcd.print("mA");
  bacaAO();
  lcd.setCursor(0, 3);lcd.print("Io=");lcd.setCursor(4,
3);lcd.print(arus1);lcd.setCursor(9,3);lcd.print("mA");
  lcd.setCursor(12, 0);lcd.print("~Pi=");lcd.setCursor(19, 0);lcd.print("W");
  lcd.setCursor(12, 1);lcd.print("~Po=");lcd.setCursor(19, 1);lcd.print("W");
  lcd.setCursor(12, 2);lcd.print("~Ef=");lcd.setCursor(19, 2);lcd.print("%");
  lcd.setCursor(12, 3);lcd.print(" fikri");
  //Serial.print(setPoint);Serial.print("\t");Serial.println(Vout);//Serial.print("\t");Ser
ial.println(pwmVal);
```

```
Serial.print(pwmVal);Serial.print(" | ");Serial.print(Vin);Serial.print(" |
");Serial.print(Vout);Serial.print(" | ");Serial.print(arus);Serial.print(" | ");
Serial.println(arus1);
// delay(500);
}
void bacaTegIn(){
  int Adc[1];
  adc_rata = 0;
  for (int x = 0; x < 5; x++) {
    Adc[x] = analogRead(sensTeg);
  }
  adc_rata = (Adc[0] + Adc[1] + Adc[2] + Adc[3] + Adc[4]) / 4.55;
  Vin = (adc_rata / 159.5) * 20 ;
}
void bacaTegOut(){
  int Adc[2];
  adc_rata = 0;
  for (int x = 0; x < 5; x++) {
    Adc[x] = analogRead(sensTeg1);
  }
  adc_rata = (Adc[0] + Adc[1] + Adc[2] + Adc[3] + Adc[4]) / 4.55;
  Vout = (adc_rata / 800) * 20 ;
}
void bacaAI(){
  float baca_sensor=0.0,sampling=0.0,rata2=0.0;//arus=0.0;
  for (int x = 00; x < 150; x++){
    sensA = (analogRead(A4));
    sampling = sampling + sensA;
    delay (1);
  }
  rata2=sampling/150.0;
```

```
    arus = ((rata2 * (5.0/1024.0)) - 2.5 )/0.185;
    arus *= -2000;
    if(arus <= 0){
        arus = 0;
    }
}
void bacaAO(){
    float baca_sensor=0.0,sampling=0.0,rata2=0.0;//arus1=0.0;
    for (int x = 00; x < 150; x++){
        sensA1 = (analogRead(A3));
        sampling = sampling + sensA1;
        delay (1);
    }
    rata2=sampling/150.0;
    arus1 = ((rata2 * (5.0/1024.0)) - 2.5 )/0.185;
    arus1 *= -2000;
    if(arus1 <= 0){
        arus1 = 0;
    }
}
```

Spesifikasi Panel Surya :



Pada Saat Pengambilan Data

