



**RANCANG BANGUN MPPT DENGAN DC-DC *BUCK CONVERTER* PADA  
PANEL SURYA DENGAN BEBAN POMPA AIR DC**

**SKRIPSI**

Oleh

**FENDIK HIDAYAT HASAN  
NIM 131910201022**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**



**RANCANG BANGUN MPPT DENGAN DC-DC *BUCK CONVERTER* PADA  
PANEL SURYA DENGAN BEBAN POMPA AIR DC**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**FENDIK HIDAYAT HASAN  
NIM 131910201022**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas kasih setia-Nya yang telah melimpahkan segala rahmat yang tak ternilai, sehingga saya bisa menyelesaikan penelitian ini.

Akhirnya, saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT yang Maha atas segalanya.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang menjadi suri tauladan bagi seluruh manusia.
3. Kedua Orangtua, Bapak Nurhasan dan Ibu Suswahyuni yang tidak pernah lelah memberikan doa, memberikan dukungan moril maupun materiil dan kasih sayang yang tidak pernah henti diberikan kepada saya.
4. Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. dan bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing menyelesaikan skripsi.
5. Semua guru-guru yang telah membimbing dan memberikan ilmu sejak SD hingga SMK.
6. Rekan-rekan satu DPU dan DPA pejuang skripsi.
7. Keluarga besar INTEL dan UKMS Kolang Kaling yang senantiasa menemani dan membantu dalam suka dan duka.
8. Almamater Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.

**MOTTO**

*“Sesungguhnya bersama kesukaran itu ada keringanan. Karena itu bila kau sudah selesai (mengerjakan yang lain). Dan berharaplah kepada Tuhanmu.”*

(Q.S Al Insyirah : 6-8)

*“Barang siapa yang mempermudah urusan orang yang mengalami kesulitan, maka Allah akan mempermudah urusannya di dunia dan di akhirat”*

(HR. Ibnu Majah)

*“Hai orang – orang mukmin, jika kamu menolong (agama) Allah, niscaya Dia akan menolongmu dan meneguhkan kedudukanmu”*

(QS Muhammad: 7)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fendik Hidayat Hasan

NIM : 131910201022

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ” Rancang Bangun MPPT dengan DC-DC *Buck Converter* pada Panel Surya dengan Beban Pompa Air DC ” 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 penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 20 September 2017

Yang menyatakan,

Fendik Hidayat Hasan

NIM 131910201022

**SKRIPSI**

**RANCANG BANGUN MPPT DENGAN DC-DC *BUCK CONVERTER*  
PADA PANEL SURYA DENGAN BEBAN POMPA AIR DC**

Oleh

Fendik Hidayat Hasan

NIM 131910201022

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Suprihadi Prasetyono, S.T. M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Azmi Saleh, S.T. M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Rancang Bangun MPPT dengan DC-DC *Buck Converter* pada Panel Surya dengan Beban Pompa Air DC” karya Fendik Hidayat Hasan telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Jumat

Tanggal : 22 September 2017

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji,

Ketua,

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.  
NIP 19700404 199601 1 001

Anggota II,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.  
NIP 19700826 199702 1 001

Anggota I,

Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.  
NIP 19710614 199702 1 001

Anggota III,

R.B. Moch. Gozali, S.T.,M.T.  
NIP 19690608 199903 1 002

Mengesahkan  
Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.  
NIP 19661215 199503 2 001

## RINGKASAN

**Rancang Bangun MPPT Dengan DC-DC *Buck Converter* pada Panel Surya Dengan Beban Pompa Air DC ; Fendik Hidayat Hasan, 131910201022; 2017; 109 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.**

Energi listrik merupakan energi utama yang sangat dibutuhkan manusia. Namun energi listrik pada umumnya dibangkitkan dari pusat-pusat pembangkit listrik seperti PLTU, PLTD dan lain sebagainya yang masih memanfaatkan bahan bakar fosil, dimana jika secara terus menerus digunakan bahan bakar fosil akan habis. Untuk mengatasi hal tersebut maka dicari sumber energi alternatif atau energi terbarukan, salah satu energi yang bisa dimanfaatkan untuk dijadikan energi listrik adalah energi matahari dengan menggunakan panel surya.

Air merupakan sumber kehidupan bagi makhluk hidup. Seperti halnya dalam proses irigasi sawah. Pada umumnya irigasi sawah saat ini masih mengandalkan air hujan dan sungai, hal ini menjadi masalah apabila terjadi pada musim kemarau. Dengan demikian dibutuhkan pompa air untuk mengangkat air dari sumber mata air. Pada umumnya pengangkatan air untuk irigasi sawah masih menggunakan cara konvensional yaitu menggunakan pompa air diesel sehingga masih memerlukan biaya untuk pembelian bahan bakar dan menimbulkan polusi yang mengakibatkan efek rumah kaca. Dengan demikian dilakukan penelitian ini sebagai alternatif pengganti pompa air diesel untuk proses irigasi sawah.

Daya panel surya sangat ditentukan oleh iradiasi matahari yang masuk ke permukaan panel surya tersebut. Daya keluaran panel surya akan berubah-ubah seiring dengan iradiasi matahari, maka diperlukan konverter dengan algoritma *maximum power point tracking* (MPPT) untuk mencari titik daya maksimum yang dapat dihasilkan panel surya pada suatu kondisi iradiasi matahari yang berbeda-beda. MPPT bekerja dengan mengatur nilai *duty cycle* dari konverter untuk mengatur nilai  $R_{in}$  konverter agar nilainya mendekati atau sama dengan nilai  $R_{mpp}$  pada panel surya sehingga panel surya dapat selalu bekerja pada daya maksimumnya tiap perubahan iradiasi matahari. Pada penelitian ini menggunakan

panel surya 100 WP, konverter dengan jenis *buck converter* (penurun tegangan) dengan menggunakan algoritma MPPT *perturb and observe*, baterai 18 Ah dan pompa air DC.

Pada penelitian ini melakukan pengujian karakteristik panel surya, performa konverter, pengujian baterai, pengujian MPPT, pengujian sistem keseluruhan dan pengujian *charging*. Hasil pengujian karakteristik panel surya dilakukan pada 4 kondisi iradiasi matahari yang berbeda-beda yaitu pada saat iradiasi  $\pm 215 \text{ W/m}^2$  panel surya mampu menghasilkan daya sebesar 22,33 W, iradiasi  $\pm 413 \text{ W/m}^2$  sebesar 37,20 W, iradiasi  $\pm 597 \text{ W/m}^2$  sebesar 56,13 W dan pada iradiasi  $\pm 817 \text{ W/m}^2$  sebesar 77,26 W. Hasil pengujian performa konverter menunjukkan bahwa rata-rata efisiensi yang dari konverter adalah diatas 65% dan dapat bekerja dengan baik untuk menurunkan tegangan. Hasil pengujian MPPT P&O sudah dapat bekerja untuk mencari daya maksimum pada panel surya dengan cara merubah nilai *dutycycle* pada konverter agar nilai Rin konverter nilainya mendekati atau sama dengan  $R_{mpp}$  panel surya tiap terjadi perubahan iradiasi matahari. Pengujian sistem keseluruhan dilakukan selama 75 menit untuk mengetahui performa sistem keseluruhan yang dirancang. Pengujian sistem keseluruhan ini MPPT dapat bekerja mencari titik daya maksimum panel surya tiap perubahan iradiasi matahari dengan beban baterai dan pompa air DC. Baterai pada sistem ini bekerja sebagai sumber cadangan dari panel surya untuk memenuhi kebutuhan daya pada pompa air DC. Pengujian sistem *charging* dilakukan dengan membandingkan metode *charging* menggunakan MPPT dan metode *direct charging*, untuk membandingkan performa *charging* tersebut digunakan tiga kondisi tegangan baterai yaitu 11,7 V, 12 V, dan 12,5 V dan iradiasi matahari yang sama. Pada keadaan baterai 11,7 V daya *charging* dari metode *direct charging* lebih unggul dari pada metode MPPT sedangkan ketika kondisi baterai 12 V dan 12,5 V daya *charging* dengan metode MPPT P&O nilainya lebih unggul dari metode *direct charging*. Pada ketiga kondisi baterai yang berbeda tersebut membuktikan bahwa MPPT P&O dapat mencari titik daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya ketika terjadi perubahan nilai beban.

## SUMMARY

**Design of MPPT with DC-DC Buck Converter at Solar Panel with Load DC Water Pump** ; Fendik Hidayat Hasan, 131910201022; 2017; 109 pages; Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Electrical energy is the main energy that is needed by humans. However, electrical energy is generally generated from power plants such as steam power plants, diesel and others that still utilize fossil fuels, which if continuously used fossil fuel will be exhausted. To overcome this then sought alternative energy sources or renewable energy, one of the energy that can be utilized to be used as electrical energy is solar energy by using solar panels.

Water is the source of life for sentient beings. As in the irrigation process of rice fields. In general, irrigated rice fields currently still rely on rainwater and rivers, this is a problem if it occurs in the dry season. Thus it takes a water pump to lift water from a spring. In general, the irrigated rice fields is still using conventional means of using diesel water pumps so that it still requires a fee for the purchase of fuel and causing pollution that leads to global warming. Thus, this research is done as an alternative to diesel water pump for irrigation process.

The power of solar panels is highly determined by the irradiation of the sun that enters the surface of the solar panel. Output Solar panel will vary with solar irradiation, so converter with maximum power point tracking algorithm (MPPT) is required to find the maximum power point from solar panels different solar irradiation conditions. MPPT works by adjusting the dutycycle of the converter to set the value of the internal resistance of converter ( $R_{in}$ ) so that its value is close to or equal to the  $R_{mpp}$  value in the solar panel so that the solar panel can always work at its maximum power at solar irradiation change. In this research using 100 WP solar panel, DC-DC buck converter , using the MPPT perturb and observe algorithm, 18 Ah battery and DC water pump.

In this study performs testing of the characteristics of solar panels, converter performance, battery testing, MPPT testing, overall system testing and charging testing. The results of testing of solar panel characteristics were performed on 4 different conditions of irradiation of the sun at irradiation  $\pm 215 \text{ W/m}^2$  solar panel capable of producing power of 22.33 W, irradiation  $\pm 413 \text{ W/m}^2$  of 37.20 W, irradiation  $\pm 597 \text{ W/m}^2$  of 56.13 W and at irradiation  $\pm 817 \text{ W/m}^2$  of 77.26 W. Performance of converter show that the average efficiency of the converter is above 65% and can work well to lower the voltage. MPPT P&O test results can work to find the maximum power in the solar panel by changing the duty cycle value of the converter so that the  $R_{in}$  value of the converter is close to or equal to  $R_{mpp}$  solar panel whenever there is a change of solar irradiation. The overall system test is performed for 75 minutes to determine the overall performance of the designed system. This whole system test MPPT can work to find the maximum solar power point of any solar irradiation change with DC battery and DC water load. Batteries in this system work as a backup source of solar panels to meet the power requirements of DC water pumps. The charging system test is done by comparing the charging method using MPPT and direct charging method, to compare the charging performance is used three battery voltage conditions that is 11,7 V, 12 V, and 12,5 V and the same solar irradiation. At 11.7 V battery state charging power from direct charging method is superior to the MPPT method whereas when the condition of 12 V battery and 12.5 V charging power with MPPT P&O method is superior to direct charging method. In these three different battery conditions prove that MPPT P & O can find the maximum power point by solar panel when the load value changes.

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang maha kuasa atas segalanya, karena dengan ridho, hidayah dan petunjukNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Rancang Bangun MPPT dengan DC-DC *Buck Converter* pada Panel Surya dengan Beban Pompa Air DC**”. Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak yang turut memberikan bantuan berupa motivasi, inspirasi, bimbingan, doa, fasilitas dan dukungan lainnya yang membantu memperlancar pengerjaan skripsi ini.

Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada.

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki, rahmat, hidayah dan karunia serta kasih sayang-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang telah menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Kedua Orangtua Bapak Nurhasan dan Ibu Suswahyuni serta Nenek Mistik yang telah membesarkan, mendidik, mendoakan tiada henti, memberi motivasi semangat, menitikkan air mata dan memberi kasih sayang yang tak pernah habis serta pengorbanannya selama ini, serta keluarga besar;
4. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
5. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
6. Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing menyelesaikan skripsi ini;
7. Bapak Dr. Tri Wahyu Hardianto, S.T., M.T. dan Bapak R.B Moch. Gozali, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang sudah memberikan saran untuk memperbaiki skripsi ini;
8. Keluarga besar INTEL'UJ 2013, terimakasih telah memberikan arti kekeluargaan yang luar biasa;

9. Keluarga besar UKMS Kolang Kaling yang telah memberikan banyak pelajaran hidup serta mengajarkan kekeluargaan yang begitu solid;
10. Meilinda Dayu Suci A. yang selalu memberikan motivasi dan inspirasi untuk menjadi pribadi yang lebih baik dan bermanfaat bagi sesama;
11. Keluarga besar Civitas Akademia Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro. Kritik dan saran yang membangun diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya;

Jember, 20 September 2017

Penulis

**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>MOTTO</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	Vi
<b>PENGESAHAN</b> .....	Vii
<b>RINGKASAN</b> .....	Viii
<b>SUMMARY</b> .....	ix
<b>PRAKATA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xVii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xxi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>1.5 Batasan Masalah</b> .....	4
<b>1.6 Sistematika Penulisan</b> .....	4
<b>1.7 Metodologi Penelitian</b> .....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
<b>2.1 Sel Surya</b> .....	7
2.1.1 Pinsip Kerja Sel Surya .....	8
2.1.2 Karakteristik Sel Surya .....	9
2.1.3 Jenis-jenis Sel Surya .....	14
<b>2.2 Buck Converter</b> .....	15
2.2.1 Kondisi ON .....	16

2.2.2 Kondisi OFF .....	16
2.2.3 Bentuk Gelombang .....	17
2.2.4 Perhitungan <i>Buck Converter</i> .....	17
2.2.5 <i>Power Losses</i> dan Efisiensi <i>Buck Converter</i> .....	19
<b>2.3 Sinyal PWM</b> .....	20
<b>2.4 <i>Maximum Power Point Tracking</i></b> .....	21
<b>2.5 Algoritma <i>Perturb and Observe (P&amp;O)</i></b> .....	23
<b>2.6 Pompa Air</b> .....	24
2.6.1 Prinsip Kerja Pompa Air .....	24
2.6.2 Jenis Pompa Air .....	25
<b>2.7 Baterai</b> .....	25
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	28
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian</b> .....	28
3.1.1 Tempat Penelitian .....	28
3.1.2 Waktu Penelitian .....	28
<b>3.2 Alat dan Bahan</b> .....	29
<b>3.3 Tahap Penelitian</b> .....	30
<b>3.4 Desain Sistem</b> .....	31
3.4.1 Perencanaan Panel Surya .....	32
3.4.2 Perencanaan DC-DC <i>Buck Converter</i> .....	33
3.3.3 Perencanaan Pompa Air DC .....	37
3.3.4 Flowchart MPPT <i>Perturb and Observe (P&amp;O)</i> .....	39
3.3.5 Perencanaan Baterai .....	40
<b>3.5 Desain Rancang Bangun Sistem Keseluruhan</b> .....	42
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	44
<b>4.1 Analisa Pengujian Karakteristik Panel Surya 100 WP</b> .....	44
<b>4.2 Analisa <i>Buck Converter</i></b> .....	48
4.2.1 Analisa Pengujian PWM .....	49
4.2.2 Pengujian <i>Driver Mosfet</i> .....	49
4.2.3 Pengujian <i>Buck Converter</i> tanpa Beban .....	51
4.2.4 Pengujian <i>Buck Converter</i> dengan Beban .....	53

<b>4.3 Pengujian MPPT</b> .....	61
4.3.1 Analisis Algoritma MPPT .....	61
4.3.2 Analisis Performa MPPT .....	64
<b>4.4 Analisis Pengujian Baterai</b> .....	68
<b>4.5 Pengujian Sistem Keseluruhan</b> .....	72
<b>4.6 Pengujian Sistem Charging</b> .....	82
4.6.1 Pengujian Metode <i>Direct Charging</i> .....	82
4.6.2 Pengujian Metode <i>Charging</i> MPPT P&O .....	84
4.6.3 Analisa Perbandingan Metode <i>Direct Charging</i> dengan Metode MPPT P&O dan Analisa <i>Power Losses</i> .....	86
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	91
5.1 Kesimpulan .....	91
5.2 Saran .....	91
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	92
<b>LAMPIRAN</b> .....	95

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Sel Surya .....	7
Gambar 2.2 Proses pelepasan elektron pada silikon .....	9
Gambar 2.3 Rangkaian pengganti sel surya .....	10
Gambar 2.4 Kurva I-V sel surya yang menunjukkan arus hubung singkat ....	11
Gambar 2.5 Kurva I-V sel surya yang menunjukkan tegangan <i>open circuit</i> ...	11
Gambar 2.6 Kurva karakteristik V-I pada panel surya .....	12
Gambar 2.7 Kurva pengaruh suhu terhadap panel surya .....	13
Gambar 2.8 Kurva pengaruh radiasi matahari terhadap panel surya .....	13
Gambar 2.9 Gambar rangkaian <i>buck converter</i> .....	15
Gambar 2.10 <i>Buck converter</i> kondisi <i>on</i> .....	16
Gambar 2.11 <i>Buck converter</i> kondisi <i>off</i> .....	16
Gambar 2.12 Bentuk gelombang <i>buck converter</i> .....	17
Gambar 2.13 Rangkaian <i>buck converter</i> dengan resistansi parasit .....	19
Gambar 2.14 Kurva <i>maximum power point</i> panel surya .....	21
Gambar 2.15 Kurva algoritma P&O .....	23
Gambar 2.16 Pompa air DC .....	24
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	30
Gambar 3.2 Blok diagram sistem .....	31
Gambar 3.3 Rangkaian DC-DC <i>buck converter</i> .....	33
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> algoritma <i>perturb and observe</i> (P&O) .....	39
Gambar 3.5 Bentuk fisik baterai VRLA .....	41
Gambar 3.6 Perancangan sistem keseluruhan .....	42
Gambar 4.1 Karakteristik I-V pada panel surya .....	46
Gambar 4.2 Karakteristik daya terhadap tegangan (P-V) pada panel surya ...	47
Gambar 4.3 <i>Board buck converter</i> .....	48
Gambar 4.4 Pengujian PWM .....	49
Gambar 4.5 Rangkaian <i>Driver</i> Mosfet .....	50
Gambar 4.6 Keluaran <i>Driver</i> Mosfet .....	50
Gambar 4.7 Perbandingan $V_o$ dengan $V_{teori}$ tanpa beban .....	52

Gambar 4.8 Perbandingan tegangan <i>output</i> dengan <i>dutycycle</i> berdasarkan variasi beban .....	55
Gambar 4.9 perbandingan arus <i>output</i> dengan <i>dutycycle</i> berdasarkan variasi beban .....	55
Gambar 4.10 Perbandingan daya <i>output</i> dengan <i>dutycycle</i> berdasarkan variasi beban .....	56
Gambar 4.11 Perbandingan efisiensi <i>buck converter</i> dengan <i>dutycycle</i> berdasarkan variasi beban .....	57
Gambar 4.12 Persentase rugi-rugi daya tiap komponen .....	60
Gambar 4.13 Sistem keseluruhan .....	61
Gambar 4.14 Skema pengujian algoritma MPPT .....	62
Gambar 4.15 Grafik Performa MPPT .....	67
Gambar 4.16 Perbandingan tegangan terhadap kapasitas baterai .....	71
Gambar 4.17 Skema pengujian sistem keseluruhan .....	72
Gambar 4.18 Perbandingan daya <i>output</i> konverter dengan MPPT dan konverter non MPPT .....	74
Gambar 4.19 Grafik daya keluaran panel dan daya keluaran konverter .....	76
Gambar 4.20 Grafik karakteristik panel surya saat iradiasi matahari $\pm 817 \text{ W/m}^2$ .....	77
Gambar 4.21 Grafik cara kerja sistem keseluruhan .....	78
Gambar 4.22 Dokumentasi pengambilan data sistem keseluruhan .....	81
Gambar 4.23 Skema pengujian metode <i>direct charging</i> .....	82
Gambar 4.24 Grafik pengujian <i>direct charging</i> .....	83
Gambar 4.25 Skema pengujian sistem <i>charging</i> MPPT P&O .....	84
Gambar 4.26 Grafik proses <i>charging</i> metode MPPT P&O .....	86
Gambar 4.27 Grafik perbandingan metode <i>charging</i> yang berbeda .....	87

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penelitian .....	28
Tabel 3.2 Spesifikasi Panel Surya .....	32
Tabel 3.3 Spesifikasi DC-DC <i>Buck Converter</i> .....	34
Tabel 3.4 Spesifikasi Pompa Air DC .....	38
Tabel 3.5 Spesifikasi baterai .....	41
Tabel 4.1 Data hasil pengujian karakteristik panel surya dengan iradiasi $\pm 215 \text{ W/m}^2$ dan $\pm 413 \text{ W/m}^2$ .....	44
Tabel 4.2 Data hasil pengujian karakteristik panel surya dengan iradiasi $\pm 597 \text{ W/m}^2$ dan $\pm 817 \text{ W/m}^2$ .....	45
Tabel 4.3 Spesifikasi komponen <i>Buck converter</i> .....	48
Tabel 4.4 Data pengujian PWM dengan <i>driver</i> mosfet .....	51
Tabel 4.5 Pengujian <i>buck converter</i> tanpa beban .....	51
Tabel 4.6 Hasil pengujian <i>Buck converter</i> dengan beban 3,4 ohm .....	53
Tabel 4.7 Hasil pengujian <i>Buck converter</i> dengan beban 4,4 ohm .....	53
Tabel 4.8 Hasil pengujian <i>buck converter</i> dengan beban 5,6 ohm .....	54
Tabel 4.9 spesifikasi komponen <i>buck converter</i> .....	57
Tabel 4.10 Data pengujian Algoritma MPPT .....	62
Tabel 4.11 Algoritma MPPT P&O .....	63
Tabel 4.12 Karakteristik panel surya pada saat iradiasi $597 \text{ W/m}^2$ .....	65
Tabel 4.13 Hasil perhitungan nilai Rin konverter .....	66
Tabel 4.14 Data pengujian baterai .....	68
Tabel 4.15 Perbandingan tegangan dengan sisa kapasitas baterai .....	70
Tabel 4.16 Data pengujian sistem keseluruhan dengan <i>power supply</i> dengan MPPT .....	73
Tabel 4.17 Data pengujian sistem keseluruhan dengan <i>power supply</i> tanpa MPPT .....	73
Tabel 4.18 Data pengukuran sistem keseluruhan .....	75
Tabel 4.19 Data pengujian sistem keseluruhan pada sisi keluaran konverter .	77
Tabel 4.20 Daya rata-rata sistem keseluruhan .....	78

Tabel 4.21 Data pengujian <i>Direct charging</i> .....	83
Tabel 4.22 Data pengujian sistem <i>charging</i> dengan metode MPPT P&O .....	85
Tabel 4.23 Hasil perbandingan daya <i>charging</i> .....	87
Tabel 4.24 Data konverter saat proses <i>charging</i> .....	88
Tabel 4.25 Efisiensi dan <i>power losses buck converter</i> saat proses <i>charging</i> ..	89



**DAFTAR LAMPIRAN**

LAMPIRAN 1. <i>Listing</i> Program .....	95
LAMPIRAN 2. <i>Datasheet</i> Panel Surya .....	105
LAMPIRAN 3. Dokumentasi Penelitian .....	106



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi listrik sangat berguna karena dapat dengan mudah diatur dan disalurkan. Energi listrik umumnya dibangkitkan di pusat-pusat pembangkit listrik seperti contoh PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas), PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir), PLTD (Pembangkit listrik Tenaga Diesel) dan lain sebagainya. Namun sumber energi yang dihasilkan saat ini persediaannya semakin terbatas, dengan demikian pada saat ini mulai dicari sumber energi terbarukan seperti energi matahari, energi angin dan energi lainnya.

Energi matahari merupakan energi terbarukan yang sangat cocok untuk dikembangkan di Indonesia. Karena negara Indonesia merupakan negara yang memiliki iklim tropis. Selain itu energi matahari merupakan energi yang tidak habis dipakai, energi matahari juga tidak menimbulkan polusi sehingga energi matahari sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pengganti minyak, batu bara, dan lain sebagainya. Pada kenyataannya energi matahari tidak dapat dimanfaatkan secara langsung untuk menghasilkan energi listrik, untuk memanfaatkan energi matahari tersebut menjadi energi listrik maka masih diperlukan peralatan konversi energi yang biasa disebut sebagai sel surya.

Konversi energi merupakan suatu proses perubahan energi dimana bentuk energi dari yang satu menjadi bentuk energi lain yang dibutuhkan. Sel surya merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Energi listrik tersebut didapatkan dari sel surya yang terkena radiasi matahari sehingga memunculkan efek fotovoltaiik. Efek fotovoltaiik pertama kali ditemukan oleh ilmuwan fisika yang bernama Edmond Becquerel pada tahun 1839. Dengan menggunakan energi matahari ini sebagai sumber energi listrik maka dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan manusia sebagai contoh untuk mencatu daya pada pompa air. Air merupakan sumber kehidupan. Selain itu air juga sangat diperlukan oleh masyarakat misalkan pada irigasi sawah. Pada umumnya sistem irigasi sawah masih bergantung pada hujan ataupun pada sungai. Hal ini menjadi

masalah apabila terjadi musim kemarau. Dengan demikian maka digunakanlah pompa air untuk mengangkat air dari sumber mata air tersebut. Namun kebanyakan pada saat ini untuk mengangkat air masih memerlukan banyak biaya seperti contohnya menggunakan pompa air diesel yang harus membeli bahan bakar untuk mengoperasikannya, selain itu dengan menggunakan pompa air diesel ini dapat mencemari lingkungan karena terjadi proses pembakaran bahan bakar yang digunakan.

Berdasarkan masalah tersebut, maka perlu mempertimbangkan alternatif lain guna mengatasi masalah yang ada dengan cara membuat strategi baru untuk mendapatkan energi listrik dengan menggunakan panel surya sebagai sumber listrik pompa air. Pada penelitian sebelumnya dilakukan oleh I Wayan Arta Wijaya dkk. (2014) dengan judul “Pemanfaatan Energi Surya Untuk Menggerakkan Pompa Motor DC Yang Dikontrol Mikrokontroler Atmega8535” dan penelitian yang dilakukan oleh Ali Hmidet, dkk (2015) dengan judul “*Experimental Studies and Performance Evaluation of MPPT Control Strategies for Solar-Powered Water Pump*”. Pada penelitian yang dilakukan oleh I Wayan Arta Wijaya dkk. tersebut sistem yang digunakan dalam panel surya untuk menggerakkan pompa air DC tersebut tidak menggunakan baterai dan masih menggunakan regulator 12 V dan mikrokontroler hanya digunakan sebagai kontroler level air dan sistem pengolahan data dari sistem. Hal ini menjadi kekurangan dari penelitian tersebut karena daya yang dihasilkan oleh panel surya tidak dapat bekerja pada titik daya maksimumnya dan apabila terjadi cuaca mendung maka pompa air tidak dapat mengangkat air karena tidak ada sistem *backup* yang dilakukan oleh baterai. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Ali Hmidet, dkk sistem pompa air dengan panel suryanya sudah menggunakan *boost converter* dengan MPPT, namun pada penelitian tersebut beban pompa air yang digunakan adalah pompa air AC 3 fasa dan menggunakan inverter 3 fasa. Hal ini akan berdampak pada biaya penggunaan sistem pompa air tenaga surya tersebut. Karena masih memerlukan biaya untuk konverter.

Dengan demikian skripsi ini mengambil judul “Rancang Bangun MPPT dengan DC-DC *Buck Converter* Pada Panel Surya Dengan Beban Pompa Air DC”

sebagai upaya pengembangan dari kolaborasi penelitian sebelumnya tersebut untuk memperoleh energi alternatif pada sistem pompa air tenaga surya. Pada Penelitian ini digunakanlah MPPT dengan DC-DC *buck converter* agar panel surya dapat bekerja pada titik daya maksimumnya sehingga dapat menyalurkan dayanya ke beban yang digunakan secara optimal. Penelitian ini diharapkan agar masyarakat dapat memanfaatkan energi matahari dengan panel surya secara optimal dengan menggunakan MPPT untuk mencatu daya pompa air DC dan dapat membantu mengurangi efek *global warming*.

### 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana rancang bangun dan performa dari DC-DC *buck converter*.
2. Bagaimana desain MPPT dengan DC-DC *buck converter*.
3. Bagaimana kinerja sistem keseluruhan pompa air tenaga surya dengan menggunakan implementasi MPPT.
4. Bagaimana perbandingan metode *direct charging* dengan metode MPPT.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat membuat rancang bangun DC-DC *buck converter* dan menganalisa performa dari DC-DC *buck converter*.
2. Dapat membuat desain dan menganalisa MPPT dengan DC-DC *buck converter*.
3. Dapat menganalisa kinerja sistem keseluruhan pompa air tenaga surya dengan menggunakan implementasi MPPT.
4. Mengetahui perbandingan metode *direct charging* dengan metode MPPT P&O.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mampu memberikan informasi kepada masyarakat tentang sumber energi listrik tenaga surya sebagai energi listrik terbarukan.
2. Dapat menambah wawasan masyarakat tentang sistem pengangkatan air menggunakan pompa air DC dengan panel surya.
3. Dapat menambah wawasan tentang penggunaan MPPT pada panel surya.
4. Dapat membantu mengurangi efek *global warming*.
5. Dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai pompa air berbasis tenaga surya.

#### 1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka pembahasan skripsi dibatasi oleh :

1. Perancangan dan pembuatan alat ini menggunakan panel surya berkapasitas daya 100 Wp.
2. DC-DC *converter* menggunakan tipe *Buck Converter*.
3. Metode MPPT menggunakan metode *Perturb and Observe* (P&O).
4. Sistem digunakan pada siang hari.
5. Tidak membahas tentang segi ekonomisnya.
6. Tidak membahas tentang sistem *charging control* pada baterai.
7. Tidak membahas tentang perubahan suhu pada panel surya.
8. Tidak membahas kontrol beban pompa air.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Pada penulisan skripsi ini tersusun secara sistematis serta terdiri dari beberapa bagian yang saling berhubungan dengan harapan agar mudah untuk dipahami dan dapat diambil manfaatnya. Adapun uraian singkat mengenai sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut.

## BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini mencakup konsep dasar serta teori-teori dan rujukan penelitian lain yang mendasari dalam pembuatan skripsi.

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan, tahap penelitian, dan desain penelitian. Desain penelitian mencakup tentang *flowchart* penelitian, desain perancangan alat, blok diagram sistem serta *flowchart* MPPT.

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab akan ini dibahas dan dianalisis hasil keluaran dari alat rancang bangun MPPT dengan DC-DC *buck converter* pada panel surya dengan beban pompa air DC sehingga dapat diketahui hasil analisis pada alat yang telah dibuat.

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini terdiri atas kesimpulan dan saran dari hasil pengujian serta analisis keluaran dari alat yang telah dibuat.

### **1.7 Metodologi Penelitian**

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan Skripsi ini antara lain:

#### 1. Perumusan masalah

Merumuskan masalah dari beberapa masalah yang terdapat dalam kehidupan sehari-hari yang berhubungan dengan panel surya sebagai sumber energi pompa air DC yang akan dijadikan fokus masalah pada penelitian ini.

#### 2. Studi Literatur

Tahap pertama yang dilakukan adalah pengumpulan literatur yang berhubungan dengan topik skripsi. Literatur-literatur yang digunakan berasal dari buku, jurnal, prosiding dan *text book* atau *e-book*.

### 3. Perancangan Alat

Melakukan perancangan alat rancang bangun MPPT dengan DC-DC *buck converter* pada panel surya dengan beban pompa air DC.

### 4. Pengambilan Data

Data yang diambil merupakan pengukuran intensitas radiasi matahari, tegangan panel surya, arus panel surya, daya panel surya, tegangan keluaran konverter, arus keluaran konverter, daya keluaran konverter, tegangan baterai, arus baterai, daya baterai, tegangan pompa, arus pompa dan daya pompa.

### 5. Analisis Hasil dan Kesimpulan

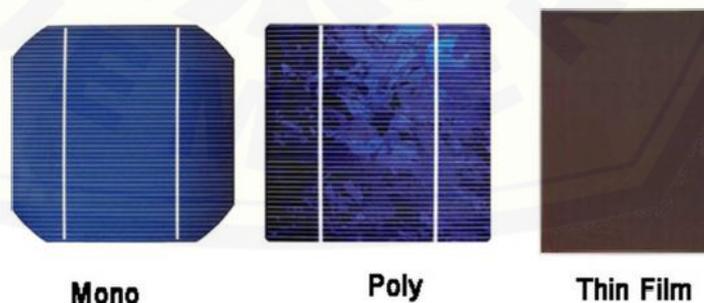
Analisis dilakukan berdasarkan data yang telah diperoleh dari rancang bangun MPPT dengan DC-DC *buck converter* pada panel surya dengan beban pompa air DC.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sel Surya

Sel surya merupakan suatu perangkat yang apabila disinari matahari dapat melepaskan muatan listrik sehingga mereka bisa bergerak bebas dalam sebuah semikonduktor dan akhirnya mengalir melalui beban listrik, seperti pada bola lampu atau motor. Fenomena memproduksi tegangan dan arus dengan cara ini dikenal sebagai efek fotovoltaik (Hu & White, 1983).

Fotovoltaik atau sel surya merupakan piranti semikonduktor yang dapat merubah cahaya matahari secara langsung menjadi arus listrik searah (DC) dengan menggunakan kristal silikon (Si) yang tipis. Sebuah kristal silindris silikon (Si) di peroleh dengan cara memanaskan silikon tersebut dengan tekanan yang diatur sehingga silikon tadi berubah menjadi penghantar. Bila kristal silindris itu dipotong setebal 0,3 mm, maka akan terbentuklah sel-sel silikon yang tipis atau sering disebut dengan sel surya (*photovoltaic*). Beberapa sel silikon itu disusun dengan posisi sejajar/seri dalam sebuah panel yang terbuat dari aluminium atau baja anti karat dan dilindungi oleh kaca atau plastik. Kemudian pada tiap-tiap sambungan sel diberi sambungan listrik. Bila sel-sel itu terkena sinar matahari maka pada sambungan sel itu akan mengalir arus listrik. Besarnya arus listrik/daya listrik itu tergantung pada jumlah energi cahaya matahari yang mencapai silikon itu dan luas permukaan sel surya (Salman, Tanpa Tahun).



Gambar 2.1 Sel surya (Bagher dkk,2015)

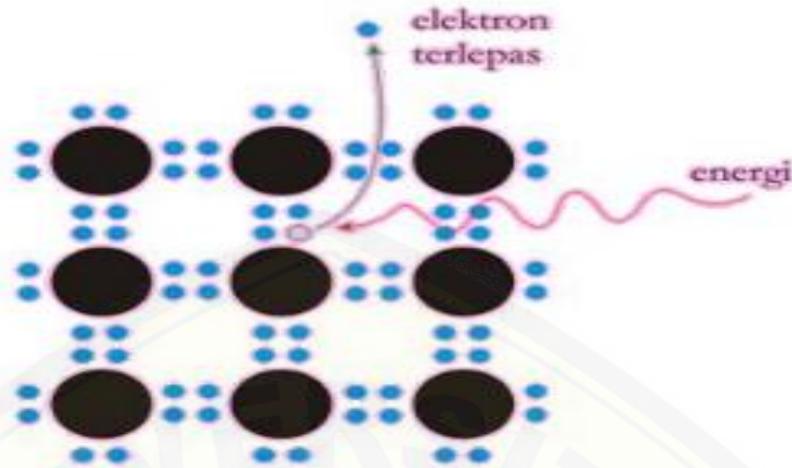
Fotovoltaik adalah suatu sistem atau cara langsung (*direct*) untuk mentransfer radiasi matahari atau energi cahaya menjadi energi listrik. Sistem *photovoltaic* bekerja dengan prinsip efek fotovoltaik . Efek fotovoltaik adalah

fenomena dimana suatu sel fotovoltaik dapat menyerap energi cahaya dan merubahnya menjadi energi listrik. Efek fotovoltaik didefinisikan sebagai suatu fenomena munculnya tegangan listrik akibat kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat disinari di bawah energi cahaya matahari. Energi solar atau radiasi cahaya terdiri dari biasanya foton-foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat energi dari foton cahaya inilah yang akan menentukan panjang gelombang dari spektrum cahaya. Foton yang terserap oleh sel surya inilah yang akan memicu timbulnya energi listrik (Wijaya,dkk,2014).

### 2.1.1 Prinsip Kerja Sel Surya

Sel surya merupakan suatu piranti yang terbuat dari bahan semikonduktor yang mana memiliki elektron yang terikat lemah pada suatu pita energi yang disebut pita valensi. Ketika energi yang lebih besar dari batas *threshold* diberikan kepada elektron dipita valensi tersebut, maka ikatan elektron tersebut akan putus. Dengan demikian elektron tersebut bergerak bebas pada suatu pita energi baru yang disebut pita konduksi. Elektron bebas pada pita konduksi dapat menghasilkan listrik. Energi yang dibutuhkan untuk membebaskan elektron ini dapat berasal dari foton yang didapat dari cahaya matahari (Hu & White, 1983).

Energi dari cahaya matahari yang disebut sebagai foton. Ketika foton diserap oleh material semikonduktor maka energi foton akan membentur elektron di dalam semikonduktor dengan demikian beberapa elektron ini akan mendapatkan energi yang cukup untuk meninggalkan pita valensi dan berpindah ke pita konduksi. Ketidakhadiran elektron pada pita valensi akibat perpindahan elektron ke pita konduksi tersebut akan menghasilkan ikatan kovalen yang tidak lengkap yang sering disebut hole atau lubang seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses Pelepasan elektron pada silikon (Nugroho dkk,2014).

Ikatan kovalen yang tidak lengkap yang berisi *hole* atau lubang akan membuat elektron valensi suatu atom relatif lebih mudah untuk meninggalkan ikatan kovalennya dan mengisi *hole* ini. Suatu elektron valensi yang meninggalkan ikatan kovalennya untuk mengisi *hole* akan membentuk *hole* pada ikatan kovalen yang ditinggalkan dan ikatan ini akan diisi oleh elektron dari atom lain yang berpindah untuk mengisi *hole* yang kosong dan membentuk *hole* lain sehingga pembentukan *hole* pada suatu atom akan berpindah berlawanan dengan gerak elektron. Pergerakan *hole* dari suatu titik merupakan proses pemindahan muatan negatif dalam arah yang berlawanan. *Hole* pada suatu atom merupakan muatan positif yang besarnya sama dengan elektron sehingga arus dapat dihasilkan melalui dua hal yaitu pergerakan elektron bebas pada pita konduksi dan pergerakan elektron akibat pembentukan *hole* pada pita valensi. Pergerakan elektron dari kedua pita energi akan mengakibatkan timbulnya arus pada terminal sel surya yang terhubung dengan beban (Nugroho dkk,2014).

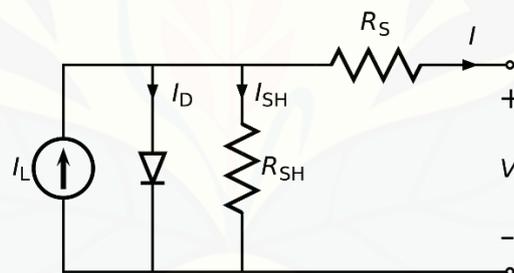
### 2.1.2 Karakteristik Sel Surya

Persamaan eksponensial untuk memodelkan sel *photovoltaic* diturunkan dari hukum fisika untuk pn junction dan secara umum diterima sebagai representasi karakteristik sel surya ditunjukkan oleh persamaan 2.1 sebagai berikut (Tito,2012).

$$I = I_{ph} - I_s \left( \exp \frac{q(V+I r_s)}{NKT} - 1 \right) - \frac{(V+I r_s)}{R_{sh}} \dots \dots \dots (2.1)$$

- Dimana :
- $I_{ph}$  = arus hubung singkat
  - $I_s$  = arus *reverse saturation diode*
  - $q$  = muatan electron ( $1,602 \times 10^{-19}$  C)
  - $V$  = tegangan diode
  - $K$  = konstanta Boltzman ( $1,381 \times 10^{-23}$  C)
  - $T$  = suhu *junction* dalam kelVin
  - $N$  = faktor ideal dari dioda
  - $R_s$  = tahanan seri dari dioda
  - $R_{sh}$  = tahanan *shunt* dari dioda

Dari persamaan 2.1 maka didapatkan rangkaian pengganti sel surya seperti pada gambar



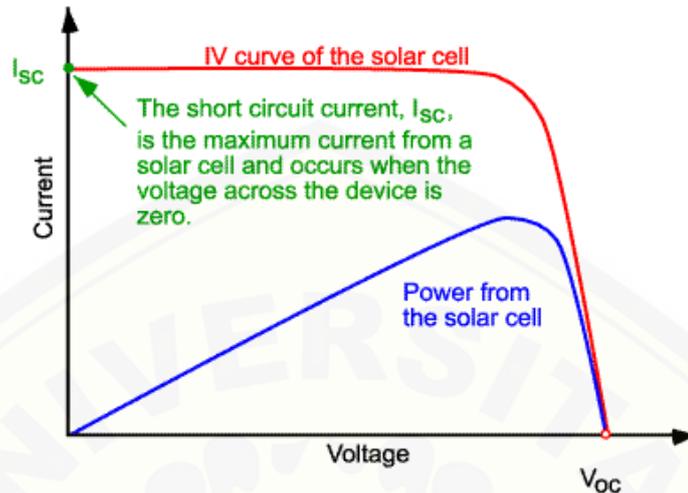
Gambar 2.3 Rangkaian pengganti sel surya

Beberapa karakteristik penting sel surya terdiri dari tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ), arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ), efek perubahan intensitas cahaya matahari, efek perubahan temperatur serta karakteristik tegangan-arus (*V-I characteristic*) pada sel surya (Satwiko,2012).

#### 1. Arus *short circuit*

Arus *short circuit* atau arus hubung singkat merupakan arus yang diukur ketika tegangan pada keluaran sel surya bernilai nol dan sel surya dalam keadaan dihubung singkatkan. Ini terjadi ketika sejumlah pembawa elektron yang dikumpulkan pada PN-junction bergerak kerangkaian luar atau beban, sehingga

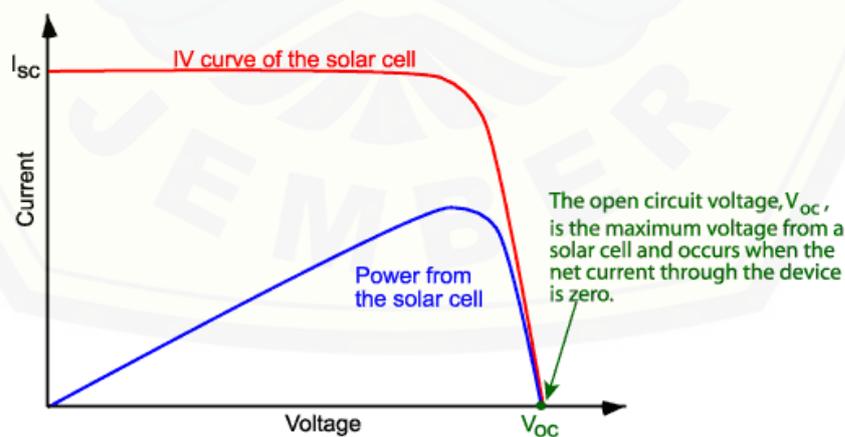
bisa dikatakan bahwa arus hubung singkat merupakan arus maksimum yang dapat dihasilkan oleh sel surya (Adityawan,2010).



Gambar 2.4 Kurva I-V sel surya yang menunjukkan arus hubung singkat (Adityawan,2010)

## 2. Tegangan *open circuit*

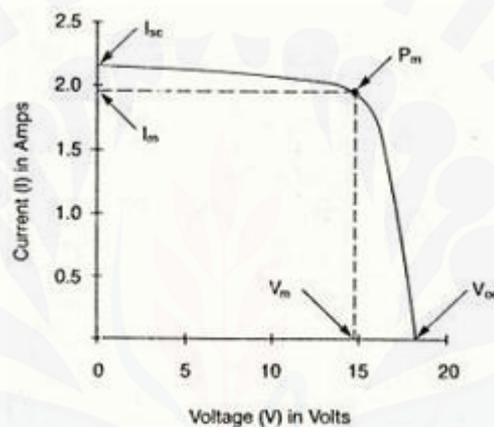
Tegangan *open circuit* merupakan tegangan yang diukur ketika rangkaian sel surya dalam keadaan terbuka, sehingga tidak ada arus yang mengalir kerangkaian luar atau beban dengan demikian arus bernilai nol. Tegangan open circuit ini merupakan tegangan terbesar yang dapat dibangkitkan oleh sel surya (Adityawan,2010).



Gambar 2.5 Kurva I-V sel surya yang menunjukkan tegangan open circuit (Adityawan,2010).

### 3. Karakteristik Tegangan-Arus

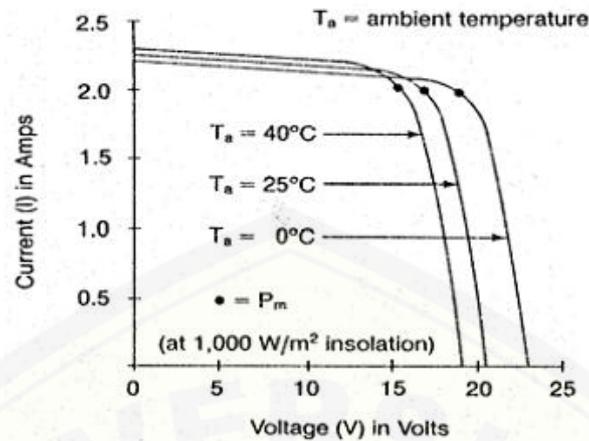
Penggunaan tegangan pada sel surya bergantung dari bahan semikonduktor yang digunakan. Jika menggunakan bahan silikon, maka tegangan yang dihasilkan pada setiap sel surya berkisar 0,5 V. Panel surya merupakan gabungan dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri dan parallel. Tegangan yang dihasilkan dari sel surya bergantung pada radiasi cahaya matahari. Untuk arus yang dihasilkan dari sel surya bergantung dari luminasi (kuat cahaya) matahari. Karakteristik tegangan dan arus ditunjukkan seperti pada Gambar 2.6 (Satwiko, 2012).



Gambar 2.6 Kurva karakteristik V-I pada panel surya (Satwiko, 2012)

### 4. Pengaruh Suhu Pada Sel Surya

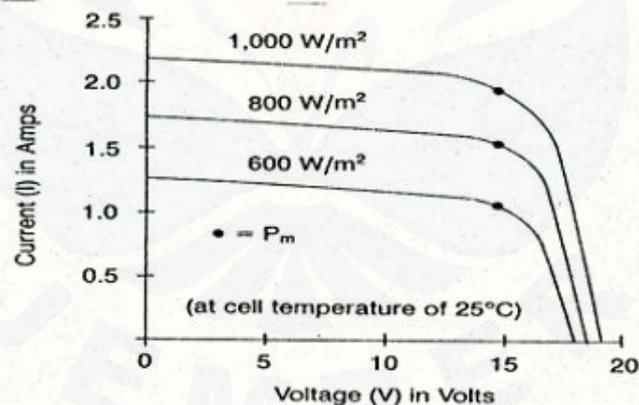
Sel surya akan bekerja secara optimum pada suhu konstan yaitu  $25^{\circ}\text{C}$ . Jika suhu disekitar sel surya meningkat melebihi  $25^{\circ}\text{C}$ , maka akan mempengaruhi *fill factor* sehingga tegangan akan berkurang seperti Gambar 2.6. Selain itu, efisiensi sel surya juga akan menurun beberapa persen. Sedangkan sebaliknya, arus yang dihasilkan akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pada sel surya (Satwiko, 2012).



Gambar 2.7 Kurva pengaruh suhu terhadap panel surya (Satwiko, 2012)

##### 5. Pengaruh Irradiance Pada Sel Surya

Apabila jumlah energi cahaya matahari yang diterima oleh sel surya berkurang atau intensitas cahayanya melemah, maka besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan juga akan menurun. Penurunan tegangan relatif lebih kecil dibandingkan penurunan arus listriknya. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Kurva pengaruh radiasi matahari terhadap panel surya

Keluaran dari sel surya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, yaitu radiasi matahari dan suhu sel surya. Dari persamaan (2.1), arus yang dibangkitkan oleh foton,  $I_{ph}$ , berhubungan dengan radiasi matahari  $\lambda$ , ditunjukkan pada persamaan berikut (Tito, 2012).

$$I_{ph} = [I_{sc} + k_1 (T - 298)] \frac{\lambda}{100} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dari persamaan 2.2  $k_1$  merupakan koefisien suhu arus hubung singkat,  $I_{sc}$  merupakan arus hubung singkat pada suhu 25°C,  $T$  merupakan suhu sel surya dan  $\lambda$  merupakan radiasi matahari dalam satuan kW/m<sup>2</sup>.

### 2.1.3 Jenis-jenis sel surya

Menurut Muchammad dan Yohana (2010), jenis-jenis sel surya dibagi menjadi sebagai berikut :

#### 1. *Single crystalline*

*Single crystalline* merupakan kristal yang mempunyai satu jenis macamnya, tipe ini dalam perkembangannya mampu menghasilkan efisiensi yang sangat tinggi. Jenis *single crystalline* antara sebagai berikut:

##### a. *Gallium Arsenide Cell*

*Gallium arsenide cell* merupakan jenis yang sangat efisien dari semua sel, tetapi harganya sangat mahal. Efisiensi dari sel surya ini mampu mencapai hingga 25 persen.

##### b. *Cadmium Sulfide Cell*

*Cadmium sulfide cell* ini merupakan suatu bahan yang dapat dipertimbangkan dalam pembuatan sel surya, karena harga yang murah dan mudah dalam proses pembuatannya.

#### 2. *Polycrystalline cell*

*Polycrystalline cell* merupakan kristal yang banyak macamnya, jenis ini terbuat dari kristal silikon dengan efisiensi 10-12 persen.

#### 3. *Amorphous Silikon Cell*

*Amorphous* berarti tidak memakai struktur kristal atau *non* kristal, bahan yang digunakan pada jenis ini berupa proses film yang tipis dengan efisiensi sekitar 4-6 persen.

#### 4. Copper indium diselenide (CIS) cells

Bahan semikonduktor yang aktif dalam sel surya CIS adalah *copper indium diselenide*. Senyawa CIS sering juga merupakan paduan dengan *gallium* dan / atau *belerang*. Efisiensi 9 persen sampai 11 persen.

#### 5. Cadmium telluride (CdTe) cells

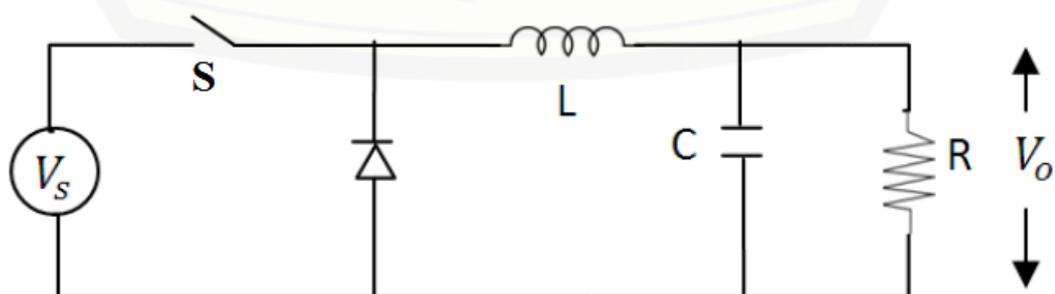
Sel surya CdTe merupakan jenis yang diproduksi pada substrat kaca dengan lapisan konduktor TCO transparan biasanya terbuat dari *indium tin oxide* (ITO) sebagai kontak depannya. Efisiensi dari jenis ini adalah 1 persen hingga 8,5 persen per efisiensi modul.

#### 6. Dye sensitized

Pada jenis *Dye sensitized* ini memiliki prinsip kerja yaitu menyerap cahaya dalam pewarna organik mirip dengan cara di mana tanaman menggunakan klorofil untuk menangkap energi dari sinar matahari dengan cara fotosintesis.

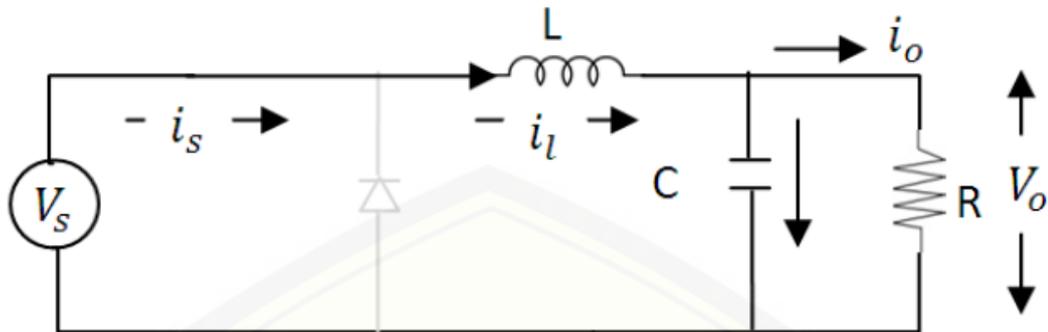
### 2.2 Buck Converter

Topologi *buck converter* merupakan jenis konverter yang paling banyak digunakan pada aplikasi manajemen daya dan mikroprosesor regulator tegangan. Aplikasi ini membutuhkan frekuensi tinggi dan respon transien pada rentang arus beban yang lebar. Mereka dapat mengkonversi tegangan tinggi ke pengaturan tegangan rendah. *Buck converter* dapat digunakan di komputer dan di manapun kita memerlukan tegangan untuk turunkan (Kiran&Raja,2014). Gambar rangkaian *buck converter* ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Gambar rangkaian *buck converter* (Kiran&Raja,2014)

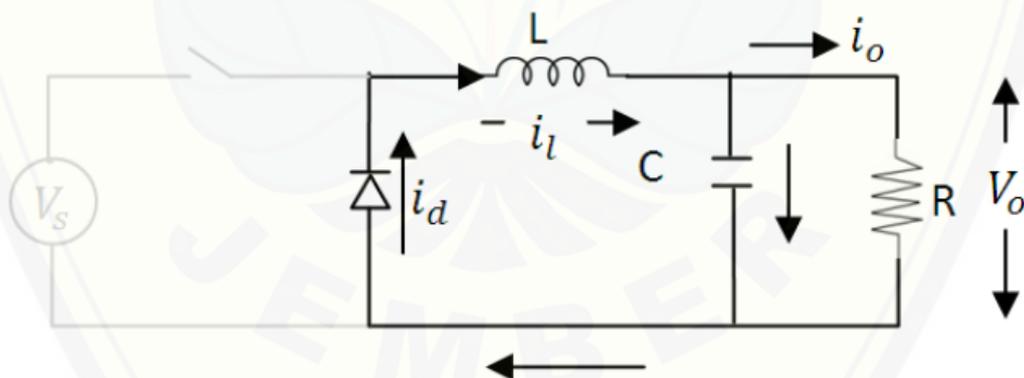
## 2.2.1 Kondisi ON



Gambar 2.10 Buck converter kondisi on (Kiran&amp;Raja,2014)

Ketika berada pada *state ON*, *switch* akan berfungsi sebagai saklar yang menutup (terhubung) selama interval waktu  $dt$ , maka arus dari tegangan sumber  $V_s$  akan mengalir melalui induktor  $L$  kemudian ke beban dan kembali lagi ke sumber. Karena tegangan yang diberikan kepada induktor konstan, maka arus yang melewati induktor akan meningkat secara *linier* (Sodikin dkk,2015).

## 2.2.2 Kondisi OFF

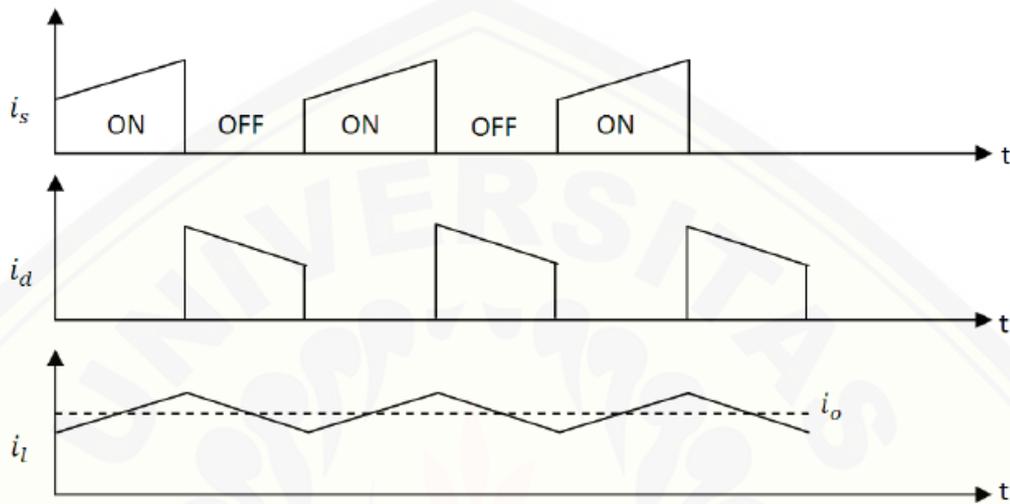


Gambar 2.11 Buck converter kondisi off (Kiran&amp;Raja,2014)

Ketika berada pada kondisi *OFF*, *switch* akan terbuka, mengakibatkan arus dari sumber tegangan tidak dapat mengalir melewati *switch* ini. Sehingga sumber dari tegangan *output* sekarang berasal dari induktor dan kapasitor dimana dioda akan menjadi *forward bias*. Arus mengalir dari induktor  $L$  ke beban melalui dioda dan kembali menuju induktor  $L$ . Karena tegangan induktor menjadi lebih kecil

dibandingkan saat *state ON* dan konstan, maka arus yang melewati induktor akan menjadi turun secara *linier* (Sodikin dkk,2015).

### 2.2.3 Bentuk Gelombang



Gambar 2.12 Bentuk gelombang *buck converter* (Kiran&Raja,2014)

Hubungan antara tegangan input, tegangan output dan pensaklaran *duty cycle* 'D' dapat berasal dari gelombang VL. Menurut hukum Faraday, tegangan second product pada induktor selama periode operasi steady state adalah nol (Kiran&Raja,2014).

### 2.2.4 Perhitungan *Buck Converter*

Menurut Kazimierczuk (2008) perhitungan pada *buck converter* di dapatkan beberapa langkah yaitu sebagai berikut.

1. Menentukan *duty cycle* minimum dan maksimum

Sebelum menentukan *duty cycle* maksimum dan minimum maka menentukan fungsi alih tegangan DC terlebih dahulu dengan persamaan sebagai berikut.

$$M_{VDC \max} = \frac{V_{o \max}}{V_{i \min}} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$M_{VDC \min} = \frac{V_{o \max}}{V_{i \max}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Setelah mendapatkan fungsi alih tegangan DC tersebut maka dapat dihitung *dutycycle* minimum dan *dutycycle* maksimum dengan persamaan berikut.

$$D_{\min} = \frac{M_{VDC \min}}{\eta(\text{efisiensi})} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$D_{\max} = \frac{M_{VDC \max}}{\eta(\text{efisiensi})} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dalam persamaan tersebut efisiensi dapat diasumsikan sebesar 0,9 atau lebih.

## 2. Pemilihan induktor

Perhitungan selanjutnya dilakukan untuk menentukan besar induktor yang akan digunakan dalam *buck converter* pada mode CCM. Estimasi *ripple* arus digunakan untuk mengetahui berapa arus keluran minimum yang dapat di hasilkan oleh konverter. Berikut ini merupakan persamaan perhitungan  $I_{o \min}$  (arus keluaran minimum) dengan mengestimasi *ripple* arus sebesar 20 %.

$$\Delta i_{L \max} = I_{o \max} \times 20\% \dots\dots\dots (2.7)$$

$$I_{o \min} = \frac{\Delta i_{L \max}}{2} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan menggunakan estimasi arus riak (*ripple*) diatas maka dapat dicari nilai induktansi minimum untuk mendapatkan kondisi CCM pada *buck converter*.

Induktansi minimum:

$$L_{\min} = \frac{D_{\min} \times (V_{i \max} - V_o)}{2 \times f_s \times (I_{o \min})} \dots\dots\dots (2.9)$$

Maksimum *ripple* arus pada induktor dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$\Delta i_{L \max} = \frac{V_o \times (1 - D_{\min})}{f_s \times L} \dots\dots\dots (2.10)$$

## 3. Pemilihan Kapasitor

Pemilihan kapasitor ini digunakan untuk menekan *ripple* tegangan pada DC-DC *buck converter*. Sebelum melakukan perhitungan pemilihan kapasitor, maka dapat dihitung nilai *ripple* tegangan sebagai berikut.

$$V_r = \frac{V_o}{100} \dots\dots\dots (2.11)$$

Setelah mendapatkan nilai *ripple* tegangan selanjutnya menghitung nilai ESR maksimum pada kapasitor yang digunakan sebagai filter.

$$r_{Cmax} = \frac{V_r}{\Delta i_{Lmax}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Perhitungan kapasitor minimum yang digunakan.

$$C_{min} = \frac{D_{max}}{2 fs \times r_{Cmax}} \dots\dots\dots (2.13)$$

4. Pemilihan dioda dan mosfet

Pemilihan dioda dan mosfet ini dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

Stress tegangan mosfet dan dioda

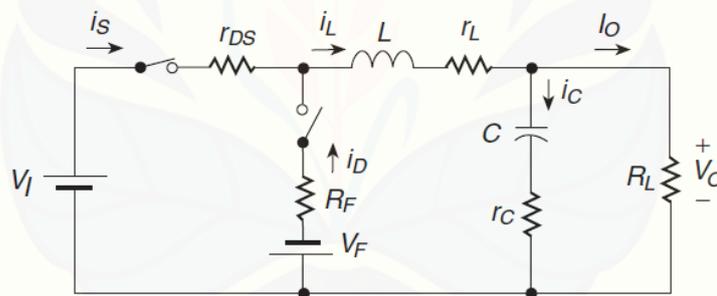
$$V_{SMmax} = V_{DMmax} = V_{i max} \dots\dots\dots (2.14)$$

stress arus mosfet dan dioda

$$I_{SMmax} = V_{DMmax} = I_{o max} + \frac{\Delta i_{Lmax}}{2} \dots\dots\dots (2.15)$$

2.2.5 Power Losses dan Efisiensi Buck Converter

Dalam sebuah rangkaian *buck converter* terdapat resistansi parasit pada tiap komponen. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.13 rangkaian *buck converter* dengan resistansi parasit

Dari gambar 2.13 tersebut dapat dilihat bahwa pada komponen mosfet terdapat resistansi parasit berupa  $r_{DS}$ , pada komponen dioda terdapat resistansi parasit yang disebut  $R_F$ , pada induktor terdapat ESR yang disebut  $r_L$  sedangkan pada kapasitor terdapat ESR yang disebut  $r_C$ . Dari resistansi parasit tersebut akan mengakibatkan terjadinya *power losses* pada *buck converter*. Berikut ini merupakan perhitungan *power losses* pada *buck converter*.

a. Daya yang terbuang pada mosfet

$$P_{SW} = 10 \times fs \times (C_{oss} - C_{rss}) \sqrt{V_i^3} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$P_{rDS} = D_{max} \times r_{DS} \times I_o^2 \dots\dots\dots (2.17)$$

Total daya yang terbuang pada mosfet

$$P_{FET} = P_{rDS} + P_{SW} \dots\dots\dots (2.18)$$

b. Total daya yang terbuang pada dioda

$$P_{VF} = (1 - D) \times V_F \times I_o \dots\dots\dots (2.19)$$

$$P_{RF} = (1 - D) \times R_F \times I_o^2 \dots\dots\dots (2.20)$$

Total daya yang terbuang pada dioda

$$P_D = P_{VF} + P_{RF} \dots\dots\dots (2.21)$$

c. Total daya yang terbuang pada induktor

$$P_{rL} = r_L \times I_o^2 \dots\dots\dots (2.22)$$

d. Total daya yang terbuang pada kapasitor

$$P_{rC \text{ out}} = \frac{rC \text{ out} \times (\Delta i_{L \text{ max}})^2}{V_i} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$P_{rC \text{ in}} = \frac{rC \text{ in} \times (\Delta i_{L \text{ max}})^2}{V_i} \dots\dots\dots (2.24)$$

Total daya yang terbuang pada kapasitor

$$P_{rC} = P_{rC \text{ out}} + P_{rC \text{ in}} \dots\dots\dots (2.25)$$

e. Total daya yang terbuang pada *buck converter*

$$P_{LS} = P_{FET} + P_{VF} + P_{RF} + P_{rL} + P_{rC} \dots\dots\dots (2.26)$$

Setelah mendapatkan nilai *power losses* maka dapat dihitung efisiensi dari *buck converter* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\eta \text{ (teori)} = \frac{P_o \text{ (teori)}}{P_o \text{ (teori)} + P_{LS}} \dots\dots\dots (2.27)$$

### 2.3 Sinyal PWM

*Pulse Width Modulation (PWM)* adalah sinyal yang umum digunakan untuk mengendalikan daya pada divais elektronik. *PWM* menggunakan sebuah gelombang persegi panjang yang lebar pulsanya dimodulasi sehingga menghasilkan variasi pada nilai rata-rata gelombang tersebut. Cara paling sederhana untuk membuat sinyal *PWM* adalah dengan metode *intersective*. Metode *intersective* yaitu menggunakan bentuk sinyal segitiga atau sinyal gigi gergaji (*saw tooth*) sebagai gelombang modulasi dan komparator. Ketika sinyal

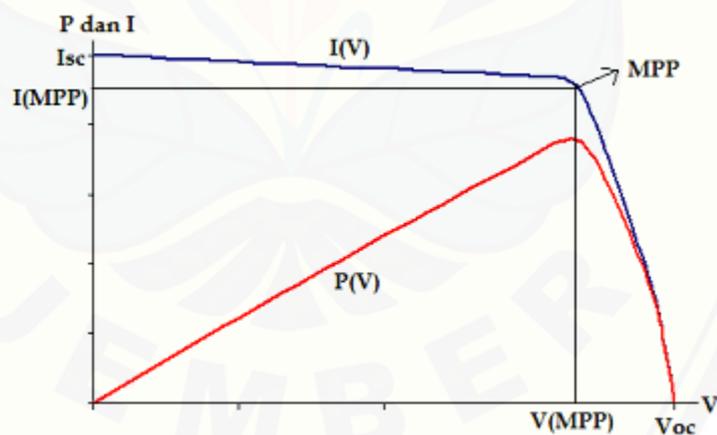
referensi (DC) lebih besar dari pada gelombang modulasi, maka sinyal *PWM* berada pada kondisi *High*, dan sebaliknya ketika sinyal referensi lebih kecil daripada gelombang modulasi, maka sinyal *PWM* berada pada kondisi *Low* (Tito,2012).

Variabel yang menunjukkan perbandingan antara lebar kondisi *High* dengan periode 1 gelombang dari sinyal *PWM* disebut dengan *Duty cycle (D)*, atau dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$D = \frac{t_{High}}{T} \dots\dots\dots (2.28)$$

#### 2.4 Maximum Power Point Tracking

*Maximum power point tracking* merupakan suatu sistem elektronik yang mengontrol sistem panel surya sehingga dapat beroperasi pada daya maksimum. MPPT (*maximum power point tracking*) bukan merupakan sistem pelacakan mekanis, namun merupakan kontrol elektronis yang terkonsentrasi pada titik karakteristik tegangan dan arus pada panel surya.



Gambar 2.14 Kurva *maximum power point* panel surya (Setiono & Pratomo, Tanpa Tahun)

Seperti diketahui bahwa banyak sekali faktor yang mempengaruhi panel surya dalam beroperasi misalnya temperatur yang mempengaruhi nilai tegangan, intensitas cahaya matahari yang mempengaruhi titik kerja arus yang dihasilkan dan lain sebagainya. Maka dari itu sistem MPPT memungkinkan kondisi yang variabel itu dapat dilacak daya maksimumnya pada waktu dan saat tertentu.

Umumnya MPPT terdiri dari panel surya, DC-DC *converter* dan kontrol digital. Dikarenakan kontrolnya berupa digital maka ada algoritma untuk mengontrolnya (Sugiharto,2010).

Sistem panel surya dapat dihubungkan grid (berinteraksi dengan jaringan listrik lokal) atau bekerja sebagai sistem yang berdiri sendiri (Otonom). Aplikasi yang paling penting dalam sistem standalone adalah instalasi pompa air (sangat penting dalam mengembangkan Negara). Oleh karena itu, efisiensi pelacakan titik daya maksimum atau MPPT sangat diperlukan untuk melacak MPP pada semua kondisi lingkungan dan kemudian memaksa sistem panel surya untuk beroperasi pada titik MPP. MPPT adalah bagian penting dari sistem panel surya. Ada beberapa metode MPPT yang telah banyak diterapkan dan dibahas dalam literatur. Teknik-teknik ini bervariasi diantara banyak aspek, termasuk kesederhanaan, kecepatan konvergensi, implementasi *hardware*, memerlukan sensor, biaya, keefektifan MPPT dan diperlukan untuk parameterisasi (Hmidet dkk, 2015).

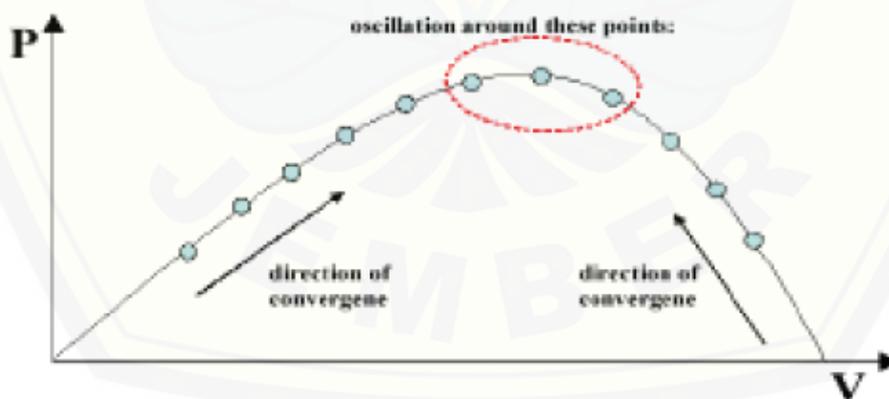
Sistem MPPT bekerja dengan cara memaksa panel surya agar bekerja pada titik daya maksimumnya, sehingga daya yang mengalir pada beban merupakan daya maksimal. Pada umumnya digunakan DC-DC *converter* dalam sebuah sistem MPPT untuk menggeser daya operasi dari panel surya menjadi titik daya maksimalnya (Babgei, tanpa tahun).

Menurut Hmidet dkk (2015) metode MPPT tergolong menjadi dua kategori yaitu metode *direct* dan metode *indirect*. Metode *direct* termasuk metode-metode yang digunakan untuk pengukuran tegangan dan / atau pengukuran arus pada panel surya. Metode ini meliputi metode *perturb and observe* (P&O), *incremental conductance* (IC), *feedback voltage (current)*, *intelligent* dan *fuzzy logic*. Metode *indirect* didasarkan pada penggunaan *database* yang meliputi parameter dan data seperti, misalnya, kurva khas generator panel surya untuk perbedaan irradiasi dan suhu, atau penggunaan fungsi matematika yang diperoleh dari data empiris untuk memperkirakan MPP. Metode berikut ini meliputi metode *Short-Circuit Current* (SCC), *Open-Circuit Voltage* (OCV), *Constant Voltage* (CV) dan *Temperature dan Irradiation* (TI).

## 2.5 Algoritma *Perturb and Observe* (P&O)

Algoritma P&O juga disebut "*hill-climbing*", sementara kedua nama mengacu pada algoritma yang sama tergantung pada bagaimana sistem ini diterapkan. *Hill-Climbing* terdiri dari *perturbation* (penggangguan) pada *dutycycle* dari konverter daya dan P&O *perturbation* dioperasikan pada tegangan DC diantara panel surya dengan konverter daya. Dalam kasus *Hill-climbing*, gangguan dari *dutycycle* pada konverter daya digunakan untuk memodifikasi tegangan DC diantara panel surya dan konverter daya, sehingga kedua nama tersebut mengacu pada teknik yang sama (Patel dkk,2013).

Dalam algoritma metode *Perturb and Observe* (P&O) disajikan untuk susunan rencana dan sesuatu yang ingin dicapai dari proses penggangguan (*perturbation*) tegangan dan variasi daya dari panel surya. Jika perubahan daya sesuai dengan metode *perturb and observe* maka gangguan (*perturbation*) dilanjutkan di arah yang sama. Setelah MPP disentuh maka berikutnya gangguan (*perturbation*) menjadi berlawanan. Ketika menyentuh kondisi stabil, teknik P&O akan beresilasi disekitar titik daya maksimum (MPP). Hal ini di tunjukkan pada Gambar 2.15 (Bharti & Mandal, 2014).



Gambar 2.15 Kurva algoritma P&O (Bharti & Mandal, 2014)

## 2.6 Pompa Air

Pompa air merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengalirkan, memindahkan dan mensirkulasikan zat cair *incompressible* dengan cara menaikkan tekanan dan kecepatan dari suatu tempat ke tempat lain, atau dengan kata lain pompa adalah alat yang merubah energi mekanik dari suatu alat penggerak menjadi energi potensial yang berupa head, dengan demikian zat cair tersebut memiliki tekanan sesuai dengan head yang dimilikinya (Wijaya dkk,2014).



Gambar 2.16 Pompa air DC (Ariawan dkk,2013)

### 2.6.1 Prinsip Kerja Pompa Air

Prinsip kerja pompa adalah menghisap dan melakukan penekanan terhadap fluida. Pada sisi hisap pompa atau biasa disebut suction, elemen pompa akan menurunkan tekanan dalam ruang pompa sehingga akan terjadi perbedaan tekanan antara ruang pompa dengan permukaan fluida yang dihisap. Dengan demikian fluida akan mengalir ke ruang pompa. Oleh elemen pompa fluida ini akan didorong atau diberikan tekanan sehingga fluida akan mengalir ke dalam saluran tekan (*discharge*) melalui lubang tekan. Klasifikasi Pompa menurut prinsip dan cara kerjanya dapat diklasifikasikan menjadi 2 yaitu pompa kerja positif (*positive displacement pump*) dan pompa kerja dinamis (*non positive displacement pump*).

### 2.6.2 Jenis Pompa Air

Berdasarkan pada letak penempatan pompa air tersebut dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu pompa turbin vertikal (*Vertical Turbine Pump*) dan pompa benam atau celup (*Submersible Pump*) Pompa benam atau celup merupakan pompa air sentrifugal yang melekat dengan motor listrik dan beroperasi dengan cara terendam didalam air. Motor listrik dipasang pada satu poros bersamaan dengan impeller. Kapasitas pompa air ini ditentukan oleh lebarnya baling-baling impeller dan tekanan ditentukan oleh jumlah impeller (Wijaya dkk,2013).

### 2.7 Baterai

Menurut (Buwono,2010), Baterai atau akumulator merupakan sebuah sel listrik yang didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (dapat berbalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Proses elektrokimia reversibel ialah proses didalam baterai yang dapat berlangsung mengubah energi kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi energi kimia atau pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai.

Reaksi kimia internal baterai yang terjadi antara elektrolit dan elektroda metal negatif akan menghasilkan elektron bebas yang berkumpul pada terminal negatif baterai, sedangkan reaksi kimia yang terjadi antara elektrolit dengan elektroda positif akan menghasilkan ion positif yang berkumpul pada terminal positif baterai.

Berikut ini merupakan empat komponen baterai :

1. Anoda atau elektroda positif merupakan elektroda reduksi, elektroda ini menghubungkan elektron dengan rangkaian eksternal dan teroksidasi selama proses *discharging*. Biasanya anoda menggunakan metal atau campuran akan tetapi hydrogen juga digunakan.
2. Katoda atau elektroda negatif adalah elektroda oksidasi. Katoda ini menerima elektron dari rangkaian eksternal dan direduksi selama proses *discharging*. Biasanya menggunakan *metallic oxide* atau sulfide tetapi juga menggunakan oksigen.

3. Elektrolit (konduktor ionik), komponen ini menyediakan media untuk transfer muatan sebagai ion-ion didalam *cell* antara anoda dengan katoda. Elektrolit dapat berupa sebuah *non-conductor* dari elektron untuk menghindari proses *self discharge* dari *cell* baterai. Elektrolit ini biasanya menggunakan larutan asam belerang (*Sulfuric Acid* =  $H_2SO_4$ ) untuk baterai asam (*Lead Acid Storage Battery*) dan untuk baterai alkali menggunakan larutan alkali (*Potassium Hydroxide*) yang terdiri dari: *Nickel-Iron Alkaline Battery* (*Ni-Fe battery*) dan *Nickel-Cadmium Alkaline Battery* (*Ni-Cd battery*).

4. Pemisah/*separator*, merupakan suatu bahan isolator yang digunakan untuk memisahkan ekektroda positif (+) dan elektroda negatif (-) agar tidak terjadi hubung singkat antara kedua elektroda tersebut. Pada separator ini terdapat lubang-lubang dan alur yang halus untuk memberi jalan terhadap sirkulasi elektrolit bahan separator biasanya dari *ebonit* dan serat gelas.

Menurut (Adityawan,2010), Kapasitas baterai merupakan ukuran muatan yang disimpan dalam suatu baterai, hal ini ditentukan oleh masa aktif material didalamnya. Kapasitas menggambarkan sejumlah energi maksimum yang dapat dikeluarkan dari sebuah baterai dalam kondisi tertentu. Namun kemampuan penyimpanan baterai dapat berbeda dari kapasitas nominalnya, diantaranya karena kapasitas baterai bergantung pada umur dan keadaan baterai, parameter *charging*, *discharging* dan temperatur. Satuan dari kapasitas baterai ini sering dinyatakan dalam satuan Ampere hours (walaupun kadang dalam Wh), yang mana satuan tersebut ditentukan sebagai waktu dalam jam yang dibutuhkan baterai untuk mengalirkan arus atau nilai discharge pada tegangan nominal baterai secara kontinyu. Satuan Ah sering digunakan ketika tegangan baterai bervariasi selama siklus *charging* atau *discharging*. Kapasitas Wh dapat diperkirakan dengan mengalikan kapasitas Ah dengan tegangan nominal baterai. Misalnya, baterai 12 V dengan kapasitas 100 Ah dapat memberikan energi yang tersimpan sekitar 100 Ah x 12 V yaitu sebesar 1.200 Wh atau 1,2 KWh. Pada kebanyakan baterai, energi yang disimpan baterai tidak dapat dikeluarkan semuanya, karena akan memiliki dampak negatif berupa kerusakan dari baterai. Depth of discharge ini menentukan daya maksimum yang dapat digunakan dari baterai. Jadi dari

kapasitas yang tersedia dari spesifikasinya, tidak semuanya dapat digunakan. Hal ini terjadi karena pengambilan seluruh kapasitas baterai dapat mengurangi umur baterai. Jadi DOD dapat dikatakan energi yang dapat digunakan dari baterai dan ditetapkan oleh manufaktur.



**BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Tempat dan waktu pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

**3.1.1 Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.

**3.1.2 Waktu Penelitian**

Waktu penelitian dilaksanakan selama kurang lebih empat bulan, berikut adalah tabel jadwal kegiatan penelitian.

Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penelitian

No	Kegiatan	Bulan															
		I				II				III				IV			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur	■	■	■	■												
3	Desain dan Pembuatan Alat					■	■	■	■	■	■	■	■				
4	Pengambilan Data													■	■	■	■
5	Analisis dan pembahasan																
6	Pembuatan Laporan																

### 3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

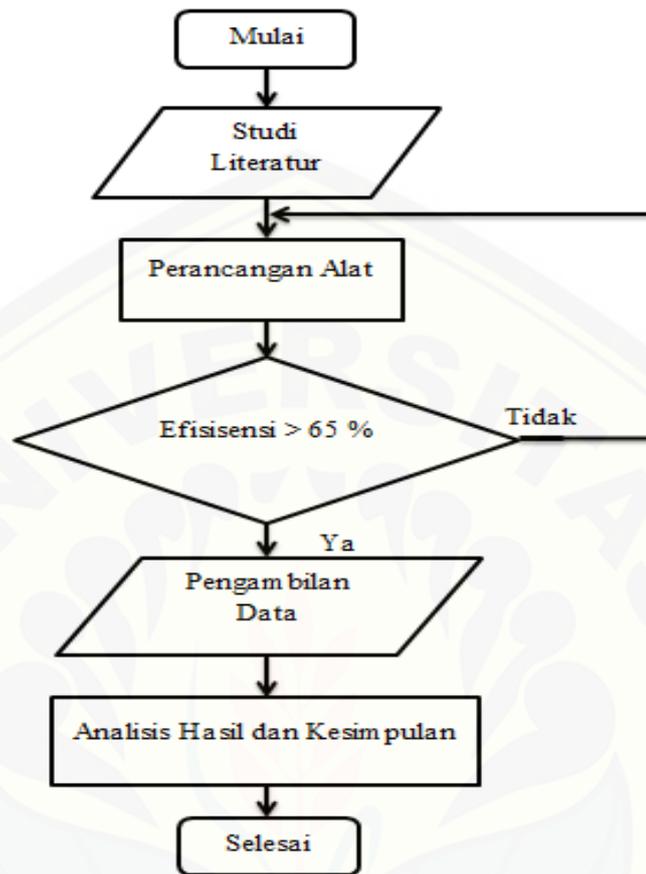
#### 3.2.1 Alat

- |                      |        |
|----------------------|--------|
| 1. Laptop            | 1 unit |
| 2. <i>Toll Kit</i>   | 1 unit |
| 3. Multimeter        | 2 unit |
| 4. Ampere meter      | 2 unit |
| 5. Solar power meter | 1 unit |
| 6. LCR meter         | 1 unit |
| 7. Power supply      | 1 unit |

#### 3.2.2 Bahan

- |                               |          |
|-------------------------------|----------|
| 1. <i>Bracket</i> panel surya | 1 unit   |
| 2. Panel surya 100 Wp         | 1 unit   |
| 3. Kapasitor                  | 4 buah   |
| 4. Induktor                   | 1 buah   |
| 5. Mosfet                     | 1 buah   |
| 6. Dioda                      | 2 buah   |
| 7. Arduino UNO R3             | 1 unit   |
| 8. Pompa air DC 12 V          | 1 unit   |
| 9. Selang air                 | 2 meter  |
| 10. Kabel                     | 10 meter |
| 11. Sensor arus ACS712 20 A   | 2 unit   |
| 12. Sensor tegangan           | 2 unit   |
| 13. LCD 4 x 20                | 1 unit   |
| 14. Baterai VRLA 18 Ah        | 1 unit   |

### 3.3 Tahap Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Adapun tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perumusan masalah

Merumuskan masalah dari beberapa masalah yang terdapat dalam kehidupan sehari-hari yang berhubungan sel surya sebagai sumber energi pompa air DC yang akan dijadikan fokus masalah pada penelitian ini.

2. Studi Literatur

Setelah menemukan perumusan masalah maka selanjutnya yang dilakukan adalah pengumpulan literatur yang berhubungan dengan topik skripsi. Literatur-literatur yang digunakan berasal dari buku, jurnal, prosiding dan *text book* atau *e-book*.

### 3. Perancangan Alat

Melakukan perancangan alat rancang bangun MPPT dengan DC-DC *buck converter* pada panel surya dengan beban pompa air DC.

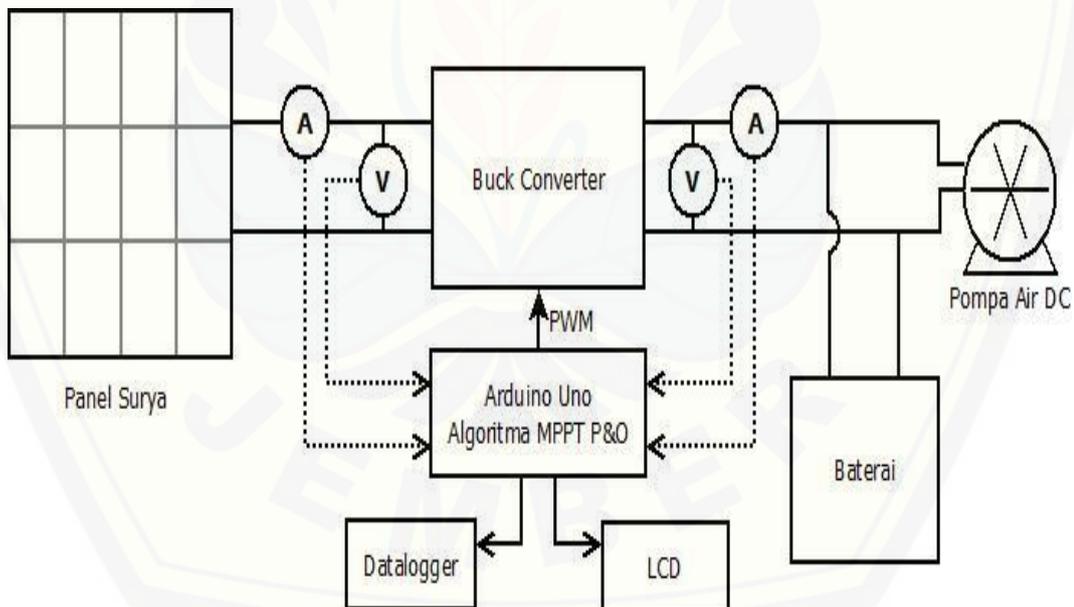
### 4. Pengambilan Data

Data yang diambil merupakan pengukuran intensitas radiasi matahari, tegangan panel surya, arus panel surya, daya panel surya, tegangan keluaran konverter, arus keluaran konverter, daya keluaran konverter, tegangan baterai, arus baterai, daya baterai, tegangan pompa, arus pompa dan daya pompa.

### 5. Analisis Hasil dan Kesimpulan

Analisis dilakukan berdasarkan data yang telah di peroleh dari rancang bangun MPPT dengan DC-DC *buck converter* pada panel surya dengan beban pompa air DC.

#### 3.4 Desain Sistem



Gambar 3.2 Blok diagram sistem

Pada gambar 3.2 menunjukkan diagram blok sistem kerja dari rancang bangun MPPT dengan DC-DC *buck converter* pada panel surya dengan beban pompa air DC. Ketika panel surya mulai menerima foton dari sumber cahaya matahari, maka pada panel surya akan menghasilkan tegangan dan arus. Ketika

muncul tegangan dan arus, maka akan dilakukan beberapa pengukuran pada keluaran panel surya, yaitu pengukuran tegangan menggunakan sensor tegangan, pengukuran arus dengan sensor arus ACS712 20 A. Pengukuran arus maupun tegangan ini akan digunakan untuk parameter masukan algoritma MPPT. Algoritma MPPT akan menentukan besar *duty cycle* (D) untuk mengontrol pensaklaran pada mosfet yang ada di *buck converter*.

Algoritma MPPT P&O (*Perturb & Observe*) yang ditanamkan pada Arduino bertugas untuk mencari titik daya maksimum dari panel surya. Pelacakan titik MPP digunakan untuk mengatur nilai *duty cycle* yang akan dikirimkan pada DC-DC *buck converter* agar dapat mencapai titik daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya. Sensor tegangan dan arus pada keluaran konverter digunakan sebagai *monitoring* untuk mengukur tegangan dan arus pada keluaran konverter. Pada sistem keluaran dari DC-DC *buck converter* akan dihubungkan ke baterai untuk dilakukan proses pengisian (*charging*) pada baterai dan selanjutnya dari baterai tersebut dihubungkan ke beban berupa pompa air DC 12 V. Pada sistem ini digunakan baterai 12 V dengan kapasitas 18 Ah. Hal ini bertujuan agar sistem pompa air ini ketika cuaca sedang mendung sistem pompa air ini masih bisa digunakan karena masih ada pasokan tenaga listrik yang disimpan pada baterai.

#### 3.4.1 Perencanaan Panel Surya

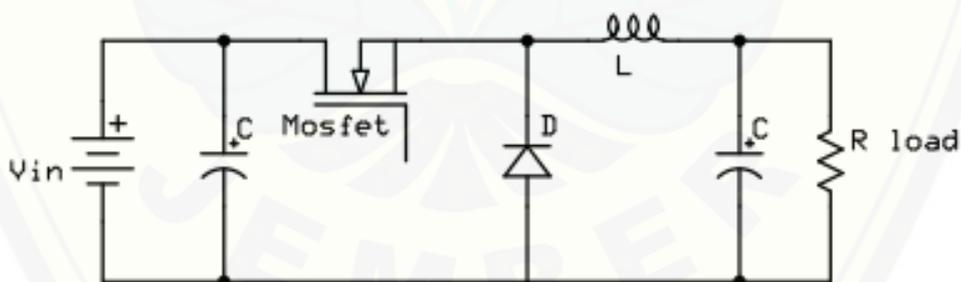
Panel surya yang digunakan dalam penelitian ini merupakan panel surya jenis *polycrystalline* dengan kapasitas 100 Wp. Berikut ini merupakan spesifikasi dari panel surya yang digunakan.

Tabel 3.2 Spesifikasi Panel Surya

Spesifikasi	
Merk	Greentek
Model Type	PSP-100M
Dimension	1020 x 670 x 30 mm
Maximum Power Peak (Pmax)	100 Wp
Open Circuit Voltage (Voc)	22,0 V
Short Circuit Current (Isc)	6,06 A
Voltage at Pmax (Vmp)	17,2 V
Current at Pmax (Imp)	5,70 A
Test Condition	1000W/m <sup>2</sup> , 25°C
Power Tolerance	+3%

### 3.4.2 Perancangan DC-DC *Buck Converter*

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

Gambar 3.3 Rangkaian DC-DC *buck converter*

Pada gambar 3.3 merupakan gambar rangkaian dasar DC-DC *buck converter*, dalam rangkaian ini terdapat beberapa komponen dasar yaitu induktor, kapasitor, dioda dan mosfet. Untuk mendesain DC-DC *buck converter* diperlukan beberapa parameter utama, yaitu spesifikasi dari *converter* tersebut. Spesifikasi tersebut disesuaikan dengan spesifikasi dari panel surya dan spesifikasi beban yang akan digunakan. Untuk menentukan tegangan masukan pada *buck converter*

diperoleh dari spesifikasi panel surya yang direncanakan yaitu sebesar 15 - 20 V. Sedangkan untuk menentukan besar tegangan keluaran didapat dari data tegangan *charging* baterai yaitu kurang lebih 14 V. Sedangkan arus maksimal didapat dari besar arus *short circuit* pada panel surya yaitu sebesar 6,06 A. Namun yang nanti digunakan sebagai referensi arus keluaran dari *buck converter* yaitu arus  $I_{mp}$  pada panel surya sebesar 5,70 A. Untuk frekuensi yang digunakan dalam proses *switching* pada DC-DC *buck converter* adalah 50 kHz. Dengan data tersebut maka langkah awal dalam pembuatan DC-DC *buck converter* yaitu menentukan spesifikasi terlebih dahulu. Berikut ini spesifikasi DC-DC *buck converter* yang akan dibuat :

Tabel 3.3 Spesifikasi DC-DC *Buck Converter*

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Masukan	14,5 - 18 volt
Tegangan Nominal	12 Volt
Arus Keluaran Maksimum	6 A
Frekuensi Switching	50 kHz
Ripple tegangan	< 2 %

Sebelum mendesain DC- DC *buck converter* terlebih dahulu menentukan spesifikasi dari *converter* yang akan digunakan. Spesifikasi *buck converter* yang akan digunakan sesuai dengan tabel 3.3. 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 *buck converter*. Langkah – langkah untuk menentukan besaran pada masing-masing komponen adalah sebagai berikut.

1. Menentukan *dutycycle* minimum dan maksimum

$$M_{VDC \max} = \frac{V_{o \max}}{V_{i \min}}$$

$$M_{VDC \max} = \frac{12}{14,5} = 0,83$$

$$M_{VDC \min} = \frac{V_{o \max}}{V_{i \max}}$$

$$M_{VDC \min} = \frac{12}{18} = 0,67$$

Untuk menghitung *duty cycle* minimum dan maksimum maka penulis mengasumsikan efisiensi dari konverter sebesar 90 %.

$$D_{\min} = \frac{M_{VDC \min}}{\eta}$$

$$D_{\min} = \frac{0,67}{0,90} = 0,75$$

$$D_{\max} = \frac{M_{VDC \max}}{\eta}$$

$$D_{\max} = \frac{0,83}{0,90} = 0,93$$

Jadi pada perancangan DC-DC *buck converter* besar *duty cycle* yang di tentukan adalah 75 % untuk *duty cycle* minimum dan 93 % untuk *duty cycle* maksimum.

## 2. Pemilihan induktor

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

$$\Delta i_L = I_{o \max} \times 20\%$$

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

$$\Delta i_L = 1,2 \text{ A}$$

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 *buck converter* sebagai berikut.

Induktansi minimum:

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

$$L_{\min} = \frac{12 \times (1 - 0,75)}{2 \times 50000 \times 0,6}$$

$$L_{\min} = 50 \text{ uH}$$

Maka dari hasil perhitungan induktansi minimum didapatkan induktansi minimum sebesar 50 uH untuk mendapatkan kondisi CCM pada *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 *output* yang lebih rendah dari pada arus *output* minimum ( $I_{o \min}$ ). Dengan demikian dipilih induktor dengan nilai induktansi sebesar 551 uH dengan tujuan agar *ripple* arusnya akan semakin kecil dan konverter akan dapat menghasilkan arus yang lebih rendah juga. Dengan menggunakan induktor yang bernilai 551 uH maka didapatkan *ripple* arus induktor maksimal adalah sebagai berikut.

$$\Delta i_{L \max} = \frac{V_o \times (1 - D_{\min})}{f_s \times L}$$

$$\Delta i_{L \max} = \frac{12 \times (1 - 0,75)}{50000 \times 551 \times 10^{-6}} = 0,108 \text{ A}$$

Jadi dengan menggunakan induktor yang bernilai 551 uH maka *ripple* arus maksimum pada desain *buck converter* hanya sebesar 0,108 A.

### 3. Pemilihan kapasitor

Pemilihan kapasitor dilakukan agar *ripple* tegangan dapat diminimalisir. Kapasitor ini berfungsi sebagai filter pada DC-DC *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.

$$V_r = 1 \% \times V_o$$

$$V_r = 1 \% \times 12$$

$$V_r = 0,12 \text{ V}$$

Dengan menggunakan nilai *ripple* tegangan 0,12 V tersebut maka dapat dihitung nilai ESR maksimum pada kapasitor sebagai berikut.

$$r_{C_{\max}} = \frac{V_r}{\Delta i_{L_{\max}}}$$

$$r_{C_{\max}} = \frac{0,12}{0,108} = 1,12 \text{ ohm}$$

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

$$C_{\min} = \frac{D_{\max}}{2 f_s \times r_{C_{\max}}}$$

$$C_{\min} = \frac{0,93}{2 \times 50000 \times 1,12} = 8,30 \text{ uF}$$

Jadi dari hasil perhitungan kapasitansi minimum dari filter *buck converter* adalah 8,30 uF.

#### 4. Pemilihan dioda dan mosfet

Memilih mosfet berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan yaitu sebagai berikut.

$$V_{\text{switch}} = V_{\text{dioda}} = V_i \text{ maks} = 20 \text{ V}$$

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

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

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

$$I_D = 33 \text{ A}$$

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

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

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

$$Q_g = 71 \text{ nC}$$

Pada pemilihan dioda pada DC-DC *buck converter* ini dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$I_{DM \max} = I_{o \max} + \frac{\Delta i_{L \max}}{2}$$

$$I_{DM \max} = 6 + \frac{0,137}{2} = 6,0685 \text{ A}$$

Maka dari perhitungan tersebut dapat digunakan dioda MUR 860 dengan spesifikasi sebagai berikut.

$$V_R = 600 \text{ V} \quad V_F = 1,50 \text{ V}$$

$$I_F = I_{DM} = 8 \text{ A} \quad R_F = 0,187 \text{ ohm}$$

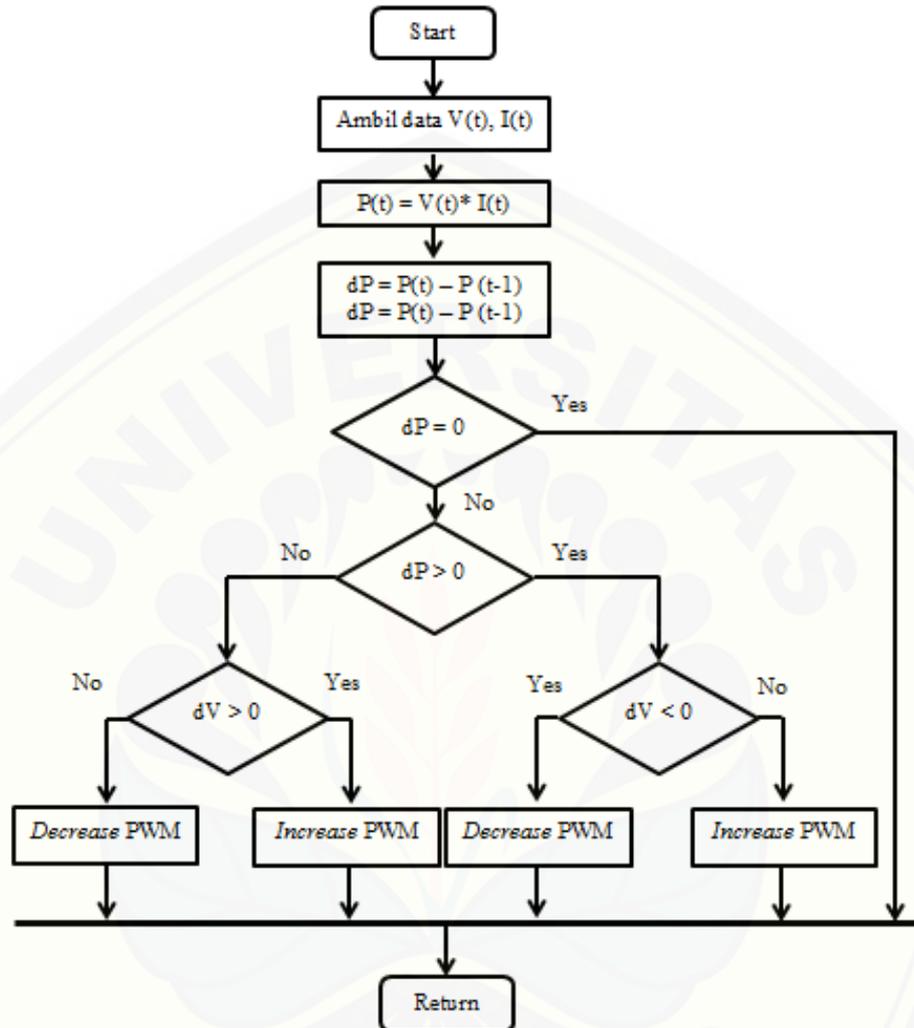
### 3.4.3 Perencanaan Pompa Air DC

Penelitian ini menggunakan pompa air DC sebagai beban. Pompa air DC pada sistem ini dihubungkan secara langsung dengan keluaran dari DC-DC *buck converter*. Secara garis besar prinsip kerja dari pompa air ini telah ditunjukkan pada tinjauan pustaka. Berikut ini merupakan spesifikasi dari pompa air DC yang digunakan.

Tabel 3.4 Spesifikasi Pompa Air DC

Spesifikasi	Keterangan
Model	YRK-BL2512
Jenis pompa air	Pompa air celup
Tegangan	DC 12 V
Arus rata-rata	6 A
Temperatur air	0-60 C
RPM	5800 rpm
Ketinggian maksimum	4 m
Kapasitas air maksimum	25 l/menit
Diameter pipa	25 mm

## 3.4.4 Flowchart MPPT Perturb and Observe (P&amp;O)

Gambar 3.4 Flowchart algoritma *perturb and observe* (P&O)

Pada *flowchart* algoritma P&O ini diawali dari pengambilan data tegangan dan arus oleh sensor tegangan dan arus. Data arus dan tegangan yang diambil tersebut merupakan data arus dan tegangan dari keluaran panel surya. Data tersebut kemudian, akan dihitung untuk menghasilkan  $P(t)$ . kemudian dilakukan perhitungan selisih daya yang di inisialisasi variabel  $dP$  dan selisih tegangan yang diinisialisasi  $dV$ . Dimana nilai  $dP$  merupakan pengurangan dari daya baru dengan daya sebelumnya ( $P(t) - P(t-1)$ ) sedangkan  $dV$  merupakan pengurangan tegangan baru dengan tegangan sebelumnya ( $dV = V(t) - V(t-1)$ ). Setelah melakukan

perhitungan selisih daya dan selisih tegangan maka selanjutnya proses pengambilan keputusan apakah nilai selisih daya sama dengan nol, jika selisih daya ( $dP$ ) sama dengan nol maka sistem akan kembali dari awal (*return*). Namun jika selisih daya ( $dP$ ) tidak sama dengan nol maka sistem akan melakukan pengambilan keputusan lagi yaitu jika selisih daya ( $dP$ ) lebih dari nol dan selisih tegangan ( $dV$ ) juga lebih dari nol maka harus *decrease* PWM, jika selisih daya ( $dP$ ) lebih dari nol dan selisih tegangan ( $dV$ ) kurang dari nol maka keluaran harus *increase* PWM. Kemudian jika selisih daya ( $dP$ ) kurang dari nol dan selisih tegangan ( $dV$ ) lebih dari nol maka keluaran harus *increase* PWM dan jika selisih daya ( $dP$ ) dan selisih tegangan ( $dV$ ) kurang dari nol maka keluaran harus *decrease* PWM. Kemudian setelah selesai melakukan perbandingan tersebut dan mendapatkan hasil keluaran maka sistem akan dikembalikan lagi (*return*) pada kondisi *start*. Sistem ini digunakan untuk menentukan *dutycycle* PWM yang akan dikirimkan ke DC-DC *buck converter*.

#### 3.4.5 Perencanaan Baterai

Penelitian ini menggunakan baterai dengan jenis VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*). Karena baterai VRLA ini merupakan salah satu jenis baterai yang tidak memerlukan perawatan khusus. Hal ini dikarenakan konstruksi dari baterai ini yaitu tertutup oleh lapisan plastik sehingga tidak ada kebocoran cairan atau gas pada *body* baterai. Pada penelitian ini menggunakan baterai dengan merk Zanetta Battery 12 V dengan kapasitas 18 Ah. Berikut ini merupakan gambar bentuk fisik dari baterai tersebut.



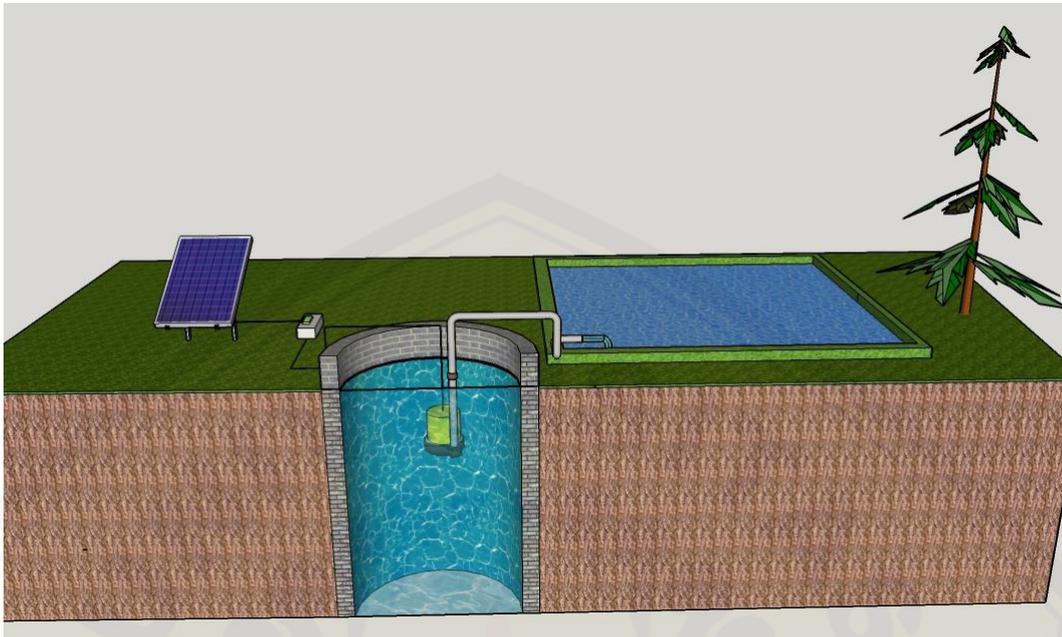
Gambar 3.5 Bentuk fisik baterai VRLA

Berikut ini merupakan tabel spesifikasi lengkap dari baterai yang digunakan tersebut.

Tabel 3.5 Spesifikasi baterai

Spesifikasi	Keterangan
Merk	Zanetta Battery
<i>Nominal Voltage</i>	12 V
<i>Capacity Ah</i>	18 Ah
<i>Initial Current</i>	5.4 A
<i>Length</i>	180 mm
<i>Width</i>	75 mm
<i>Height</i>	165 mm

### 3.5 Desain Rancang Bangun Sistem Keseluruhan



Gambar 3.6 Perancangan sistem keseluruhan

Pada gambar 3.6 merupakan desain perancangan sistem keseluruhan. Pada perancangan sistem secara keseluruhan ini terdapat komponen utama, yaitu panel surya yang berfungsi untuk menghasilkan listrik DC, *buck converter* dengan algoritma MPPT yang berfungsi mencari titik daya maksimum yang dihasilkan panel surya, baterai yang berfungsi sebagai sumber cadangan sekaligus berfungsi sebagai beban dan pompa air DC yang berfungsi untuk mengangkat air dari sumber mata air. Pada desain perancangan sistem ini sumber mata air didapatkan dari sumur atau didapatkan dari sumber mata air lainnya dan kemudian air yang diangkat oleh pompa air DC akan digunakan sebagai sistem irigasi di sawah.

Pada penelitian ini menggunakan *prototype* sawah dengan ukuran  $3 \times 3$  meter. Sedangkan ketinggian air yang diinginkan adalah 10 cm. Dengan estimasi resapan air yang masuk kedalam tanah sebesar 10 cm. Sehingga ketinggian air dianggap 20 cm. Dengan demikian maka dapat dihitung kebutuhan air sebagai irigasi sawah adalah sebagai berikut.

$$\text{Volume} = p \times l \times t$$

$$\text{Volume} = 3 \times 3 \times 0,2$$

$$\text{Volume} = 1,8 \text{ m}^3$$

Berdasarkan nilai volume tersebut maka dapat di konversi kedalam satuan liter yaitu sebesar 1800 liter air yang dibutuhkan. Pompa air DC yang digunakan setelah dilakukan pengujian memiliki spesifikasi dengan debit air rata-rata sebesar 25 liter per menit maka dapat dihitung kebutuhan waktu untuk mengairi sawah tersebut sebagai berikut.

$$\text{Waktu mengairi} = \frac{\text{Kebutuhan air (liter)}}{\text{Debit rata – rata Pompa (liter/menit)}}$$

$$\text{Waktu mengairi} = \frac{1800}{25} = 72 \text{ menit.}$$

Karena arus rata-rata yang diserap oleh pompa air DC adalah sebesar 6 A dan tegangan rata-rata 12 V. Dengan demikian dapat dihitung kebutuhan baterai yang harus digunakan sebagai sumber cadangan adalah sebagai berikut.

$$\text{Daya rata-rata pompa} = I(\text{pompa}) \times V(\text{pompa})$$

$$\text{Daya rata-rata pompa} = 6 \times 12 = 72 \text{ W.}$$

Dengan demikian maka dapat dihitung kebutuhan energi pompa DC yang digunakan sebagai berikut.

$$\text{Energi rata – rata pompa} = \frac{P \times t}{\text{hour}}$$

$$\text{Energi rata – rata pompa} = \frac{72 \text{ W} \times 72 \text{ menit}}{60} = 86,4 \text{ Wh}$$

Dengan demikian apabila dijadikan kedalam bentuk Ah adalah sebagai berikut.

$$\text{Ah} = \frac{\text{Energi rata – rata pompa (Wh)}}{\text{Tegangan pompa (V)}}$$

$$\text{Ah} = \frac{86,4}{12} = 7,2 \text{ Ah}$$

Sehingga didapatkan nilai kapasitas baterai minimum sebesar 7,2 Ah. Dengan demikian penelitian ini menggunakan baterai diatas nilai baterai minimum yaitu baterai 18 Ah dengan jenis VRLA dikarenakan sistem pompa air tenaga surya masih bergantung pada kondisi cuaca dan intensitas radiasi matahari, sehingga baterai dapat berperan sebagai sumber cadangan ketika daya yang dihasilkan panel surya tidak mencukupi untuk memenuhi daya pompa air DC.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. *Buck Converter* yang dirancang mampu mengeluarkan tegangan yang lebih rendah daripada tegangan masukan yang diberikan tergantung pada nilai *dutycycle*. Efisiensi dari *Buck Converter* nilainya semakin meningkat mengikuti peningkatan nilai *dutycycle* yang diberikan beserta penggunaan beban.
2. Implementasi algoritma MPPT P&O dengan *buck converter* dapat mencari titik daya maksimum yang dapat disalurkan oleh panel surya dengan merubah nilai *dutycycle* untuk mengatur Rin konverter sehingga nilai Rin konverter nilainya sama dengan atau mendekati  $R_{mpp}$  pada panel surya.
3. Dari hasil penelitian sistem keseluruhan, baterai dapat berperan sebagai sumber atau beban, apabila daya yang dihasilkan oleh panel surya melebihi dari kebutuhan beban utama maka sisa daya tersebut akan disalurkan ke baterai sebagai daya *charging* namun apabila daya yang dihasilkan oleh panel surya tidak dapat memenuhi kebutuhan beban utama maka baterai secara otomatis menyalurkan kekurangan daya dari panel surya ke beban utama.
4. Berdasarkan hasil pengujian *charging*, metode MPPT daya *charging* yang dikirimkan ke baterai lebih besar pada saat kondisi tegangan baterai 12 V dan 12,5 V. Namun ketika tegangan baterai 11,7 metode *direct charging* lebih unggul dengan selisih daya 1,29 W hal ini ditunjukkan pada tabel 4.23.

### 5.2 Saran

Dalam perancangan konverter hal yang perlu diperhatikan yaitu pemilihan komponen yang akan digunakan sehingga akan mengurangi power losses pada konverter dan akan meningkatkan efisiensi. Untuk sistem pompa air DC tenaga surya ini diperlukan perbaikan nilai efisiensi pada konverter agar baterai lebih sering menerima daya *charging*.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Adityawan, E. 2010. Studi Karakteristik Pencatuan Solar Cell Terhadap Kapasitas Sistem Penyimpanan Energi Baterai. *Skripsi*. Depok : Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Ariawan, A. T., dkk. 2013. Perbandingan Penggunaan Motor DC dengan AC Sebagai Penggerak Pompa Air Yang Disuplai Oleh Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). *Prosiding Convergence on Smart-Green Technology in Electrical and Information Systems*. 14-15 November 2013.
- Ashari, M. 2013. Sistem Konverter DC Desain Rangkaian Elektronika Daya. Surabaya : ITS Press.
- Babgei, A. F. Tanpa Tahun. Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode Fuzzy. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Bagher, A. M., dkk. 2015. Types of Solar Cells an Application. *American Journal of Optic and Photonics*. 3(5):94-113.
- Bharti, R. N., dan R. K. Mandal. 2014. Modeling and Simulation of Maximum Power Point Tracking for Solar PV System Using Perturb and Observe Algorithm. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 3(4): 675-681.
- Buwono, M. C. 2010. Ancang Bangun Sistem Pengendali Pengisian Aus Sel Surya dengan Rekonfigurasi Seri-Pararel. *Skripsi*. Depok : Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Hauke, B. 2015. Basic Calculation of a Buck Converter's Power Stage. *Texas Instruments Inc*.
- Hmidet, A., dkk. 2015. Experimental Studies and Performance Evaluations of MPPT Control Strategies for Solar-Powered Water Pump. *IEEE*.
- Hu, C. dan R. M. White. 1983. *Solar Cells: From Basics to Advance Systems*. Berkeley: McGraw-Hill Inc.
- Kazimierczuk, M. K. 2008. Pulse-width Modulated DC-DC Power Converters. Dayton : Willey.

- Kiran, N., dan C. V. N. Raja. 2014. Improved Dynamic Response of Buck Converter Using Fuzzy Controller. *Buletin Teknik Elektro dan Informatika*. 3(1):25-36.
- Muchammad dan E. Yohana. 2010. Pengaruh Suhu Permukaan *Photovoltaic Module 50 Watt Peak* Terhadap Daya Keluaran Yang Dihasilkan Menggunakan Reflektor Dengan Variasi Sudut Reflektor  $0^{\circ}, 50^{\circ}, 60^{\circ}, 70^{\circ}, 80^{\circ}$ . *Rotasi*. 12(4):14-18.
- Nugroho, R. A., dkk. 2013. Memaksimalkan Daya Keluaran Sel Surya Dengan Menggunakan Cermin Pemantul Sinar Matahari (*Reflektor*). *Tansien*. 3(3):409-414.
- Patel, U. S., dkk. 2013. Maximum Power Poin Tracking Using Perturb & Observe Algorithm and Compare With another Algorithm. *International Journal of Digital Application & Contemporary research (IJDACR)*.2(2).
- Salman, R. Tanpa Tahun. Analisis Perencanaan Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Perumahan (*Solar Home System*).
- Satwiko, S. 2012. Uji Karakteristik Sel Surya Pada Sistem 24 Volt DC sebagai Catudaya pada Sistem Pembangkit Tenaga Hybrid. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY*. 14 April 2012.
- Setiono, F. Y., dan L. H. Pratomo. Tanpa Tahun. Memaksimalkan Daya Photovoltaic Sebagai Charge Controller. *Universitas Katolik Soegijapranata Semarang*.
- Sodikin, N. H., dkk. 2015. Rancang Bangun Prototype Emulator Sel Surya Menggunakan Buck Converter Berbasis Arduino. *Jurnal Rekayasa dan Teknik Elektro*. 9(3):172-180.
- Sugiharto, D. N. 2010. Implementasi Algoritma *Maximum Power Point Tracking* Pada Panel *Photovoltaic* Menggunakan Metode *Perturb and Observe*. *Skripsi*. Depok : Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Tito, B. 2012. Metode *MPPT* Baru untuk Sel Surya Berdasarkan Pengendali *PI*. *Skripsi*. Depok : Program Studi Teknik Elektro Universitas Indonesia.

Wijaya, I. W. A., dkk. 2014. Pemanfaatan Energi Surya Untuk Menggerakkan Pompa Motor DC Yang Dikontrol Mikrokontroler Atmega8535. *Seminar dan Expo Teknik Elektro*.



## LAMPIRAN

### LAMPIRAN A. Listing Program

```
#include <Wire.h>
#include <TimerOne.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SD.h>
#include "RTClib.h"
RTC_DS1307 rtc;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
#define AVG_NUM 15
#define PWM_FULL 1023
#define PWM_MAX 93
#define PWM_MIN 76
#define PWM_START 90
#define ONE_SECOND 50000
//-----
//BIT MAP ARRAY
//-----
byte solar[8] = //icon panel surya
{
    0b11111, 0b10101, 0b11111, 0b10101, 0b11111, 0b10101, 0b11111, 0b00000
};
byte battery[8]= // icon baterai
{
    0b01110, 0b11011, 0b10001, 0b10001, 0b11111, 0b11111, 0b11111, 0b11111,
};
byte _PWM [8]= // icon PWM
```

```
{
    0b11101, 0b10101, 0b10101, 0b10101, 0b10101, 0b10101, 0b10101, 0b10111,
};
byte pump[8] = //icon Pompa
{
    0b01110, 0b10001, 0b10101, 0b11111, 0b10001, 0b11111, 0b01010, 0b01110
};
//-----
//Variable Umum
//-----
int Second, dt=1;
long No = 1; // angka store id
const int chipSelect = 10;
float VoltPV=0;
float VoltOUT=0;
double VoltagePV;
double VoltageOUT;
double IPV = 0;
double IOUT = 0;
float Pin=0;
float Pout=0;
int pwm = 0;
int pwm_rasio = 0;
int duty = 1;
float daya_sekarang = 0;
float daya_sebelum = 0;
float tegangan_sekarang = 0;
```

```
float tegangan_sebelum = 0;
float dP;
float dV;
unsigned int seconds = 0;
unsigned int prev_seconds = 0;
unsigned int interrupt_counter = 0;
unsigned long time = 0;
//-----
//SETUP
//-----
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  //INISIALISASI LCD
  lcd.begin(20, 4);
  lcd.print("ASSALAMUALAKUM...");
  lcd.backlight();
  lcd.createChar(1, solar);
  lcd.createChar(2, battery);
  lcd.createChar(3, _PWM);
  lcd.createChar(4, pump);
  //INISIALISASI DATA LOGGER
  pinMode(10, OUTPUT);
  digitalWrite(10, HIGH);
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    lcd.print("Card Failed or not present");return;}
  else {lcd.print("Card Initialized.");}
  delay(2000);
```

```
lcd.clear();  
File logfile = SD.open("cas.txt", FILE_WRITE);  
if (logfile)  
{  
String header  
="No, Tahun, Bulan, Hari, Jam, Menit, Detik, Vin, Iin, Pin, Vout, Iout, Pout, dP, dV, P  
WM";  
logfile.println(header);  
logfile.close();  
}  
else  
{  
Serial.println ("couldn't open log file");  
}  
Wire.begin();  
rtc.begin();  
if (! rtc.isrunning()) {  
lcd.print("RTC NOT Running");  
lcd.clear();  
}  
delay(500);  
Timer1.initialize(20);  
Timer1.setPeriod(20);  
Timer1.pwm(9, 0);  
Timer1.attachInterrupt(callback);  
pwm = PWM_START;  
}  
void loop() {  
baca_data();
```

```
tulis_pwm();
lcd_display();
perbandingan();
mppt();
LogToSD();
}

int read_adc(int channel){
    int sum = 0;
    int temp;
    int i;
    for (i=0; i<AVG_NUM; i++) {
        temp = analogRead(channel);
        sum += temp;
        delayMicroseconds(50);
    }
    return(sum / AVG_NUM);
}

void baca_data(void)
{
    VoltagePV = (read_adc(2)/1023.0)*5000;
    IPV = ((VoltagePV - 2495)/100);
    if(IPV<0){IPV=0;}
    else {IPV=IPV;}

    VoltPV=(read_adc(3)*0.004858145*5.03);
    VoltageOUT = (read_adc(0)/1023.0)*5000;
    IOUT = ((VoltageOUT - 2495)/100);
    if(IOUT<0){IOUT=0;}
```

```
else {IOUT=IOUT;}
VoltOUT=(read_adc(1)*0.004858145*5);
Pin =(IPV*VoltPV);
Pout =(IOUT*VoltOUT);
}
void callback()
{
  if (interrupt_counter++ > ONE_SECOND) {
    interrupt_counter = 0;
    seconds++;
  }
}
void lcd_display()
{
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("PV");
  lcd.setCursor(3, 0);
  lcd.write(1);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(VoltPV);
  lcd.print("V ");
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print(IPV);
  lcd.print("A ");
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print(Pin);
  lcd.print("W ");
```

```
lcd.setCursor(7, 0);
lcd.print("BAT");
lcd.setCursor(11, 0);
lcd.write(2);
lcd.setCursor(7, 1);
lcd.print(VoltOUT);
lcd.print("V ");
lcd.setCursor(7, 2);
lcd.print(IOUT);
lcd.print("A ");
lcd.setCursor(7, 3);
lcd.print(Pout);
lcd.print("W ");
lcd.setCursor(14, 0);
lcd.print("PWM");
lcd.setCursor(18, 0);
lcd.write(3);
lcd.setCursor(14, 1);
lcd.print(pwm);
lcd.print("%");
delay(0);
}
void tulis_pwm(void) {
    if (pwm > PWM_MAX) {
        pwm = PWM_MAX;
    }
    if (pwm < PWM_MIN) {
```

```
    pwm = PWM_MIN;
}

pwm_rasio = (1023-(PWM_FULL * (long) pwm / 100));
Timer1.pwm(9, (pwm_rasio));
}

void perbandingan (void) {
    tegangan_sekarang = VoltPV;
    daya_sekarang = Pin;
    dP = daya_sekarang - daya_sebelum;
    dV = tegangan_sekarang - tegangan_sebelum;
}

void mppt(void) {
    if (dP == 0) {
        return;
    }

    if (dP > 0) {
        if (dV > 0) {
            pwm -= duty;
            tegangan_sebelum = VoltPV;
            daya_sebelum = Pin;
            tulis_pwm();
            return;
        }

        if (dV <= 0) {
            pwm += duty;
            tegangan_sebelum = VoltPV;
            daya_sebelum = Pin;
        }
    }
}
```

```
        tulis_pwm();
        return;
    }
}
if (dP < 0) {
    if (dV > 0) {
        pwm += duty;
        tegangan_sebelum = VoltPV;
        daya_sebelum = Pin;
        tulis_pwm();
        return;
    }
    if (dV <= 0) {
        pwm -= duty;
        tegangan_sebelum = VoltPV;
        daya_sebelum = Pin;
        tulis_pwm();
        return;
    }
}
}
//-----
//DATA LOGGER
//-----
void LogToSD() {
    File logfile = SD.open("cas.txt", FILE_WRITE);
    DateTime now = rtc.now();
```

```
if ((Second%dt)==0) {  
    logfile.print(No);logfile.print(',');    logfile.print(now.year());  
logfile.print(','); logfile.print(now.month());  
  
    logfile.print(',');    logfile.print(now.day());  
logfile.print(',');logfile.print(now.hour());    logfile.print(',');  
logfile.print(now.minute());  
  
    logfile.print(',');    logfile.print(now.second());  
logfile.print(',');logfile.print(VoltPV);  
  
logfile.print(',');logfile.print(IPV);logfile.print(',');logfile.print(P  
in);logfile.print(',');  
  
logfile.print(VoltOUT);logfile.print(',');logfile.print(IOUT);logfile.pr  
int(',');logfile.print(Pout);  
  
logfile.print(',');logfile.print(dP);logfile.print(',');logfile.print(dV  
);logfile.print(',');  
    logfile.print(pwm);  
    logfile.println();  
    logfile.close();  
}else{  
    Serial.println("Couldn't open log file");  
}  
No++;  
delay(250);  
}
```

**LAMPIRAN B. Datasheet Panel Surya**

**PSP-100W High Efficiency, High Quality PV Module**

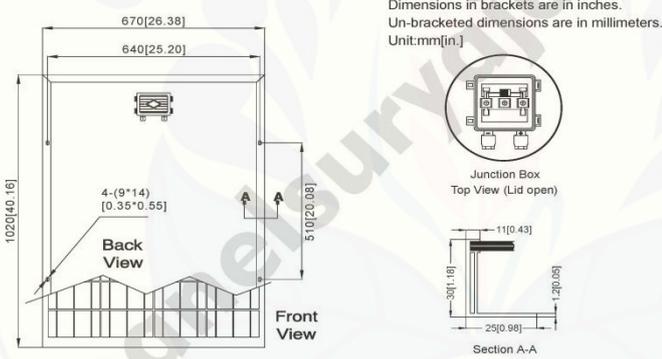


Electrical Characteristics	PSP-100W
Maximum power (Pmax)	100W
Voltage at Pmax (Vmp)	17.6V
Current at Pmax (Imp)	5.70A
Open-circuit voltage (Voc)	22.0V
Short-circuit current (Isc)	6.06A
Temperature coefficient of Voc	$-(0.40 \pm 0.05)\%/^{\circ}\text{C}$
Temperature coefficient of Isc	$(0.065 \pm 0.01)\%/^{\circ}\text{C}$
Temperature coefficient of power	$-(0.5 \pm 0.05)\%/^{\circ}\text{C}$
NOCT (Air 20°C, Sun 0.8kW/m <sup>2</sup> wind 1m/s)	47±2°C
Operating temperature	-40°C to 85°C
Maximum system voltage	600V DC
Power tolerance	+ 3%
Cells	polycrystalline silic on solar cell
No. of cells and connections	36(4X9)
Module Dimension	670mm[26.38in.]x1020mm[40.16in.]x30mm[1.18in.]
Weight	7.70kg[16.94lbs]



\* STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, AM1.5 spectrum, module temperature 25°C  
 \* Specifications are subject to change without notice at any time.

**Module Diagram**



**Key Features:**

- High module efficiency and stable power output
- Based on leading process technology
- Outstanding electrical performance under high temperature conditions or low irradiance conditions
- Easy of installation and all-weather applications
- 5 years product warranty(materials and workmanship)
- 20 years module power output warranty
- Peak power of single module is guaranteed in +3% power tolerance
- Strong framed module, passing loaded test of 5400 Pa (IEC61215 2nd)
- The manufacture is certified for ISO 9001:2000

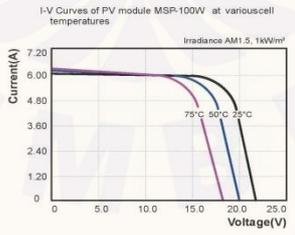
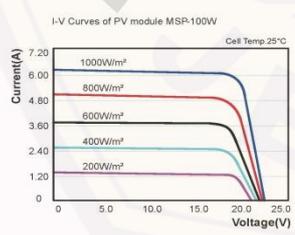
**Product's Guarantee**

- 10 years products life warranty
- 15 years module power output no less 90%
- 20 years module power output no less 80%

**Applications**

- Off grid residential roof-tops
- Off grid commercial/industrial roof-tops
- Rural area applications
- Solar power system
- Other off-grid applications

**I-V Curves**



**LAMPIRAN C. Dokumentasi Penelitian**



Gambar *Bracket* Panel Surya



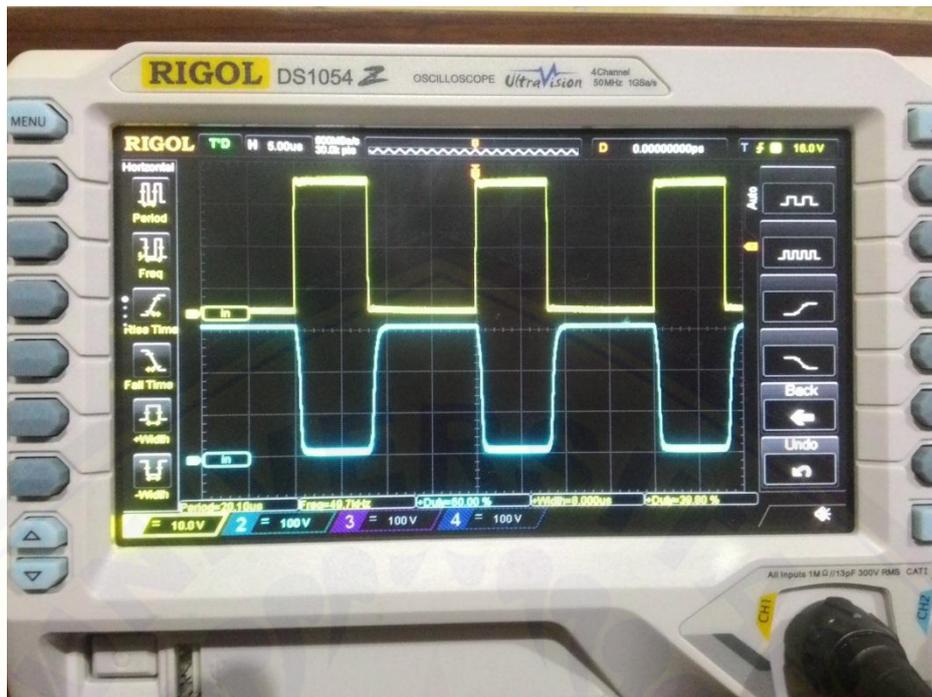
Gambar Pengukuran Intensitas Radiasi Matahari



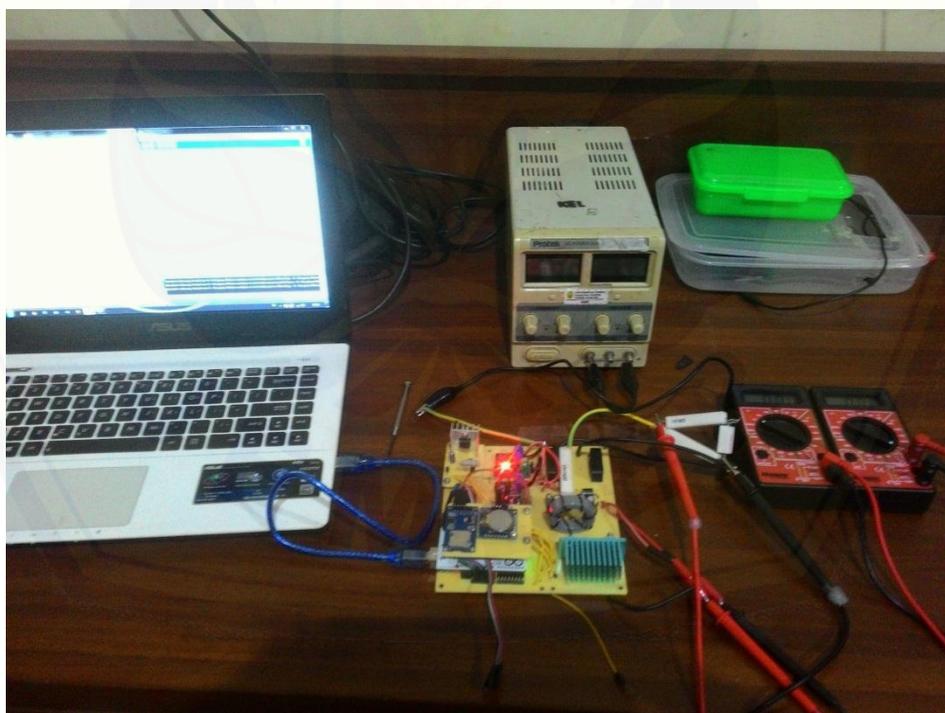
Gambar Perancangan Sistem



Gambar Pengukuran Induktor



Gambar Pengujian Driver Mosfet



Gambar Pengujian Konverter



Gambar Pengujian Konverter

