



**OPTIMASI DAYA SOLAR CELL MENGGUNAKAN MPPT UNTUK  
CHARGING BATERAI VRLA (VALVE REGULATED LEAD ACID)  
MELALUI SYNCHRONOUS BUCK CONVERTER**

**SKRIPSI**

Oleh

**Pungky Habib Bachtiar**

**NIM 161910201025**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO SRATA 1**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**



**OPTIMASI DAYA SOLAR CELL MENGGUNAKAN MPPT UNTUK  
CHARGING BATERAI VRLA ( VALVE REGULATED LEAD ACID)  
MELALUI *SYNCHRONOUS BUCK CONVERTER***

**SKRIPSI**

Oleh

**Pungky Habib Bachtiar**

**NIM 161910201025**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO SRATA 1**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT, atas segala limpahan rahmat nikmat, hidayah dan inayah-Nya sehingga berkesempatan menimba ilmu di Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Rasulullah Muhammad SAW, sebagai *uswah* terbaik sepanjang masa;
3. Kedua orangtuaku tercinta, Bapak Heru Sepiono, Ibunda Siti Rohmah, dan Saudara tercinta Anggi Hasan Achmad atas segala kasih sayang, motivasi, nasehat, dan bimbingan, serta doa setulus hati yang tiada henti diberikan sampai saat ini;
4. Guru-guru dan dosen saya dari taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi yang selalu menemani dan memberi semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
5. Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Andi Setiawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan dan motivasi dengan penuh kesabaran sehingga skripsi ini terselesaikan.
6. Sahabat-sahabat saya yang selalu menemani dan memberi semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
7. Semua dulur-dulur Ikatan Dulur Teknik Elektro 2016, Kakak tingkat, dan Adik tingkat yang telah berjuang bersama-sama di Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember tercinta ini;
8. Almamater Teknik Elektro Fakultas Teknik Univeristas Jember.

**MOTTO**

“Lakukan segala sesuatu berdasarkan dengan rasa kasih dan sayang ”

(Penulis)

“Tanpa Cinta, kecerdasan itu berbahaya. Dan tanpa kecerdasan Cinta itu tidak cukup”

(Mr. Crack)

“Orang boleh pandai setinggi langit, tapi selama ia tidak menulis, ia akan hilang di dalam masyarakat dan dari sejarah”

(Pramoedya Ananta Toer)

“Aku lebih menghargai orang beradab daripada berilmu”

(Syech Abdul Qodir Jaelani)

“Sesungguhnya sesudahnya kesulitan ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah: 6)

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Pungky Habib Bachtiar

NIM : 161910201025

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul: “Optimasi Daya *Solar Cell* Menggunakan MPPT Untuk *Charging* Baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) Melalui *Synchronous Buck Converter* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun serta bukan karya plagiasi. Saya bertanggung jawab 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, 2 Juli 2020

Yang menyatakan,

Pungky Habib Bachtiar

NIM 1619120201025

**SKRIPSI**

**OPTIMASI DAYA SOLAR CELL MENGGUNAKAN MPPT UNTUK  
CHARGING BATERAI VRLA ( VALVE REGULATED LEAD ACID)  
MELALUI SYNCHRONOUS BUCK CONVERTER**

Oleh

Pungky Habib Bachtiar

NIM 161910201025

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT

NIP. 197008261997021001

Dosen Pembimbing Anggota : Andi Setiawan S.T., M.T

NIP. 196910101997021001

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Laporan tugas akhir berjudul “Optimasi Daya *Solar Cell* Menggunakan MPPT Untuk *Charging* Baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) Melalui *Synchronous Buck Converter* oleh Pungky Habib Bachtiar NIM 161910201025 telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Elektro Universitas Jember pada;

Hari : Kamis  
Tanggal : 2 Juli 2020  
Tempat : Fakultas Teknik, Universitas Jember

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

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

Andi Setiawan S.T., M.T.  
NIP. 196910101997021001

**LEMBAR PENGESAHAN**

Skripsi berjudul ” Optimasi Daya *Solar Cell* Menggunakan MPPT Untuk *Charging*  
Baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) Melalui *Synchronous Buck Converter*  
Telah diuji dan disahkan pada :

Hari, Tanggal : Kamis, 2 Juli 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Ketua,

Dr. Triwahju Hardianto S.T., M.T.  
NIP. 19700826199702 1 001

Anggota II,

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.  
NIP. 196312011994021002

Anggota I,

Andi Setiawan S.T., M.T  
NIP. 19691010199702 1 001

Anggota III,

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.  
NIP. 197104022003121001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Jember,

Dr. Triwahju Hardianto S.T., M.T.  
NIP. 19700826199702 1 001



## RINGKASAN

Optimasi Daya *Solar Cell* Menggunakan MPPT Untuk *Charging* Baterai VRLA ( *Valve Regulated Lead Acid*) Melalui *Synchronous Buck Converter*, Enteky Habib Bachtiar; 161910201025; 149 halaman Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Berlimpahnya energi surya yang diterima wilayah Negara Indonesia, dapat menjadi solusi untuk menggantikan sumber energi listrik konvensional seperti batu bara dan energi fosil lainnya menjadi energi terbarukan. Panel surya dapat mengonversi energi matahari menjadi energi listrik. Kekurangan sumber energi dari matahari yaitu bergantung pada kondisi cuaca. MPPT merupakan metode yang dapat digunakan untuk mengekstrak daya maksimum untuk mengoptimalkan produksi energi listrik Synchronous buck converter menghasilkan tegangan yang lebih rendah dari tegangan masukan dan dapat menghasilkan arus tinggi sambil meminimalkan kehilangan daya, dengan efisiensi yang cukup baik untuk mengubah tegangan dari panel surya yang sesuai untuk pengisian baterai Synchronous buck converter terdiri dari dua MOSFET daya, induktor output dan kapasitor output. Baterai yang digunakan untuk penyimpanan daya yaitu baterai VRLA dengan kapasitas 12V 12Ah. baterai jenis ini mampu menghasilkan arus listrik yang stabil dan memiliki siklus pengisian yang lebih lama. Hasil pengujian yang dilakukan panel surya 50WP jenis polly crsistalline menggunakan kontrol MPPT dengan Synchronous buck converter mampu menghasilkan daya yang masuk pada baterai sebesar 9,8 Ah dengan rata rata efisiensi total sebesar 90,35% dengan rentang waktu pengisian 6 jam mulai pukul 08.00 WIB sampai dengan 14.00 WIB.

## SUMMARY

*Solar Cell Power Optimization Using MPPT for Charging VRLA (Valve Regulated Lead Acid) Batteries Through a Synchronous Buck Converter* Pujiyanto, Habib Bachtiar; 161910201025; 149 pages of the Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember

The abundance of solar energy that is received by the territory of Indonesia can be a solution to replace conventional electricity sources such as coal and oil fossil fuels into renewable energy. Solar panels can convert solar energy into electrical energy. Lack of energy sources from the sun that is dependent on weather conditions. MPPT is a method that can be used to extract maximum power to optimize the production of electrical energy. Synchronous buck converter produces a voltage lower than the input voltage and can produce high currents while minimizing power loss, with a good enough efficiency to change the voltage of the solar panel that is suitable for Synchronous buck converter battery charging. The battery used for power storage is the VRLA battery with a 12Ah 12V capacity. This type of battery is capable of producing a stable electric current and has a long charging cycle. The results of tests conducted by 50WP solar panel type Polycrystalline using MPPT control with Synchronous buck converter can produce incoming power to the battery by 9.8 Ah with an average total efficiency of 90.3% with a charging period of 6 hours starting at 08.00 WIB until at 14.00 WIB

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi Daya *Solar Cell* Menggunakan MPPT Untuk *Charging* Baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) Melalui *Synchronous Buck Converter*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, karena berkat kuasa dan kehendak-Nya penulis diberi kekuatan jasmani dan rohani, kesabaran, ketabahan, kelancaran, dan kemudahan;
2. Orang tua tercinta, Bapak Heru Sepiono dan Ibu Siti Rohmah, dan juga Saudara saya Anggi Hasan Achmad, yang tidak pernah berhenti memberikan segala macam dukungan, kasih sayang, do’a, dan semangat dalam penyelesaian skripsi ini;
3. Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
4. Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Andi Setiawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan dan motivasi dengan penuh kesabaran sehingga skripsi ini terselesaikan, serta Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Penguji I dan Dr. Ir. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan nasehat selama ini;
6. Dulur-dulur angkatan INDUKTRO 16 atas segala kebersamaan dan kerja samanya selama  $\pm$  4th;
7. Rekan rekan UKM Menwa, UKM Reog serta UKM Robotika;

8. Teman Lab Sistem Tenaga: Indra Riyan, Agam Patria, Faisal Husein yang telah membantu penelitian saya sehingga terselesaikannya skripsi ini;
9. Kawan-kawan KKN Gubrih Bondowoso yang telah memberikan semangat dan dukungan kepada saya;
10. Semua pihak yang terlibat baik langsung maupun tidak langsung yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 2 Juli 2020

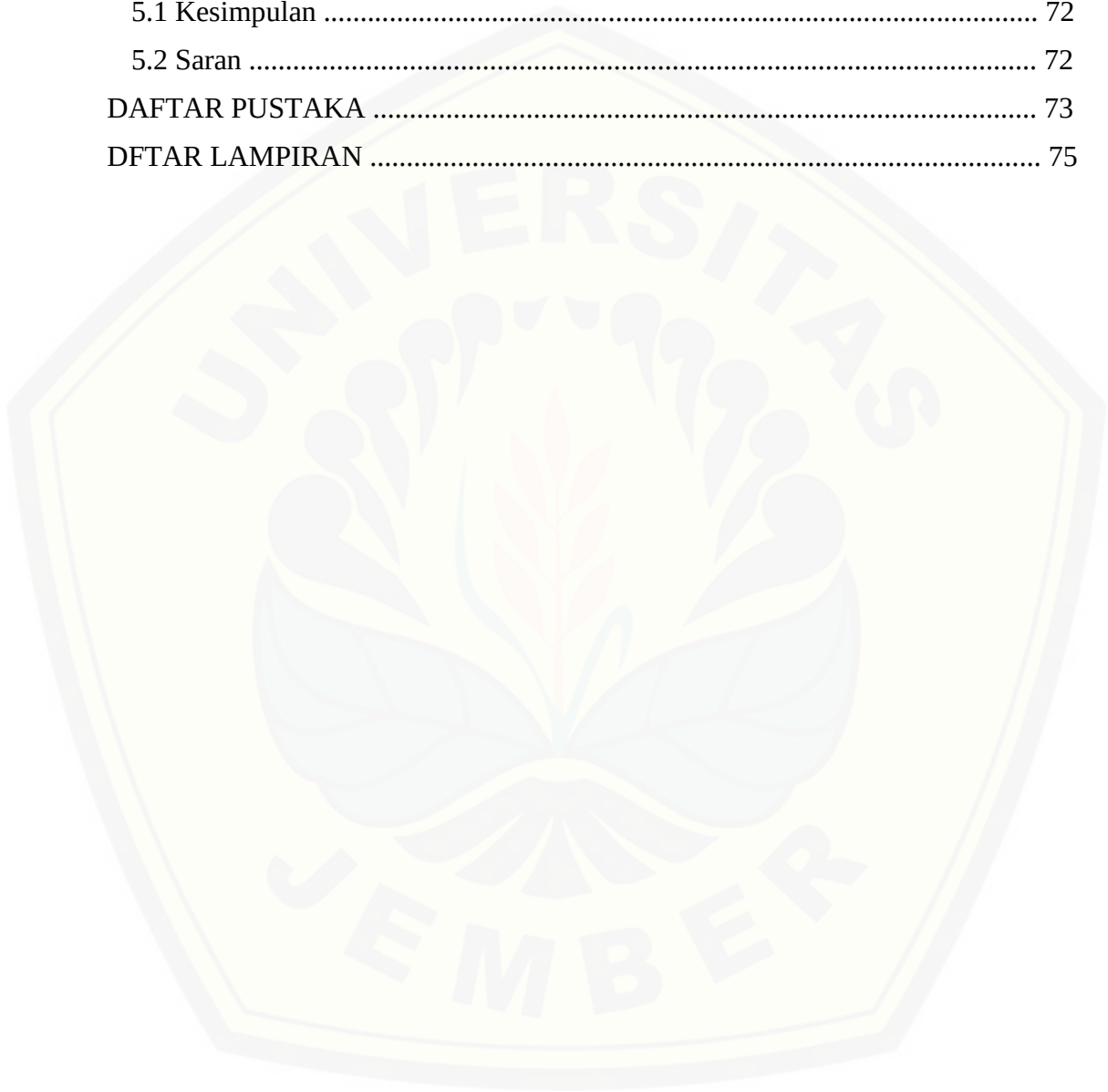
Penulis

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| HALAMAN PERSEMBAHAN .....  | iii  |
| HALAMAN MOTTO .....  | iv   |
| HALAMAN PERNYATAAN .....   | v    |
| HALAMAN PEMBIMBING .....   | vii  |
| HALAMAN PENGESAHAN .....   | viii |
| RINGKASAN/ <i>SUMMARY</i> .....                                  | ix   |
| PRAKATA .....  | xi   |
| DAFTAR ISI .....   | xiii |
| DAFTAR GAMBAR .....  | xvi  |
| DAFTAR TABEL .....   | xix  |
| BAB 1. PENDAHULUAN .....   | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....  | 2    |
| 1.3 Batasan Masalah .....  | 2    |
| 1.4 Tujuan Penelitian .....                                      | 3    |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                                     | 3    |
| 1.6 Sistematika Penulisan. ....                                  | 3    |
| 1.7 Metodologi Penelitian .....                                  | 4    |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....                                    | 6    |
| 2.1 Sel Surya .....  | 6    |
| 2.2 Efek <i>Photovoltaic</i> .....                               | 7    |
| 2.3 Prinsip Kerja Sel Surya .....                                | 7    |
| 2.4 Karakteristik Sel Surya .....                                | 8    |
| 2.5 <i>Buck Converter</i> .....                                  | 12   |
| 2.5.1 Kondisi <i>ON</i> .....                                    | 12   |
| 2.5.2 Kondisi <i>OFF</i> .....                                   | 13   |
| 2.6 <i>Synchronous buck converter</i> .....                      | 13   |
| 2.6.1 Karakteristik keluaran Induktor (L) dan Kapasitor (C)..... | 15   |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 2.6.2  | Desain LC dan MOSFET .....                                     | 16 |
| 2.6.3  | <i>Power Loss dan Efisiensi Synchronous buck converter</i> ... | 23 |
| 2.7    | Sinyal <i>PWM</i> .....  | 24 |
| 2.8    | <i>Maximum Power Point Tracking (MPPT)</i> .....               | 25 |
| 2.9    | Algoritma <i>Perturb and Observe (P&amp;O)</i> .....           | 25 |
| 2.10   | Baterai .....  | 26 |
| BAB 3. | METODOLOGI PENELITIAN .....                                    | 29 |
| 3.1    | Tempat dan Waktu Penelitian .....                              | 29 |
| 3.1.1  | Tempat Penelitian.....   | 29 |
| 3.1.2  | Waktu Penelitian .....   | 29 |
| 3.2    | Alat dan Bahan.....  | 29 |
| 3.2.1  | Alat yang digunakan .....                                      | 29 |
| 3.2.2  | Bahan yang dibutuhkan .....                                    | 30 |
| 3.3    | Tahap Penelitian .....   | 31 |
| 3.3.1  | Studi Literatur .....  | 31 |
| 3.3.2  | Perancangan Alat .....   | 32 |
| 3.3.3  | Pengambilan Data .....   | 33 |
| 3.3.4  | Analisis Hasil dan Kesimpulan .....                            | 33 |
| 3.4    | Desain Sistem .....  | 33 |
| 3.4.1  | Perencanaan Panel Surya .....                                  | 34 |
| 3.4.2  | Perancangan DC-DC <i>Synchronous buck converter</i> .....      | 34 |
| 3.4.3  | <i>Flowchart MPPT Perturb and Observe (P&amp;O)</i> .....      | 38 |
| 3.4.4  | Perencanaan Baterai .....                                      | 39 |
| BAB 4. | HASIL DAN PEMBAHASAN .....                                     | 41 |
| 4.1    | Pengujian Karakteristik Panel Surya 50 WP .....                | 42 |
| 4.2    | Pengujian Sensor tegangan .....                                | 45 |
| 4.3    | Pengujian Sensor Arus .....                                    | 47 |
| 4.3    | Analisa Pengujian sinyal PWM .....                             | 49 |
| 4.4    | Pengujian Baterai .....  | 55 |
| 4.5    | Analisa <i>Synchronous Buck Converter</i> .....                | 58 |
| 4.5.1  | Komparasi Menggunakan Simulink MATLAB .....                    | 58 |
| 4.5.2  | Pengujian konverter tanpa beban .....                          | 61 |

|                |   |    |
|----------------|---|----|
| 4.5.3          | Pengujian konverter dengan beban .....            | 62 |
| 4.6            | Pengujian MPPT Dengan Algoritma P&O .....         | 65 |
| 4.7            | Analisa Pengujian Sistem Secara Keseluruhan. .... | 67 |
| BAB 5.         | PENUTUP .....                                     | 72 |
| 5.1            | Kesimpulan .....                                  | 72 |
| 5.2            | Saran .....                                       | 72 |
| DAFTAR PUSTAKA | .....   | 73 |
| DFTAR LAMPIRAN | .....   | 75 |



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Sel surya (Bagher, A. M., 2015) ..... 6

Gambar 2.2 Proses Pelepasan elektron pada silikon. (Rismanto Arif Nugroho, 2014) ..... 7

Gambar 2.3 Rangkaian pengganti sel surya. (Satwiko, 2012). ..... 9

Gambar 2.4 Kurva I-V sel surya yang menunjukkan arus hubung singkat ..... 9

Gambar 2.5 Kurva I-V sel surya, tegangan open *circuit* (Adityawan, 2010). ..... 10

Gambar 2.6 Kurva karakteristik V-I pada panel surya. (Satwiko, 2012). ..... 10

Gambar 2.7 Kurva pengaruh suhu terhadap panel surya. (Satwiko, 2012). ..... 11

Gambar 2.8 Kurva iradiasi matahari terhadap panel surya. (Tito, 2012). ..... 11

Gambar 2.9 Gambar rangkaian *Buck converter* (Nagulapati Kiran, 2014) ..... 12

Gambar 2.10 *Buck converter* kondisi *on*. (Nagulapati Kiran, 2014). ..... 12

Gambar 2.11 *Buck converter* kondisi *off*. (Nagulapati Kiran, 2014). ..... 13

Gambar 2.12 *Synchronous buck converter* (Semiconductor Components Industries, 2013). ..... 14

Gambar 2.13 Gelombang *Synchronous buck converter* (Semiconductor Components Industries, 2013). ..... 14

Gambar 2.14 Arus induktor dan kapasitor. (Semiconductor Components Industries, 2013). ..... 21

Gambar 2.15 Kurva MPPT panel surya. (Felix Yustian Setiono, Tanpa Tahun). 25

Gambar 2.16 Kurva algoritma P&O (Ram Naresh Bharti, 2014) ..... 26

Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian ..... 32

Gambar 3.2 Blok diagram sistem ..... 33

Gambar 3.3 Rangkaian *Synchronous buck converter*. ..... 35

Gambar 3.4 *Flowchart* algoritma *Perturb And Observe* (P&O) ..... 38

Gambar 3.5 Bentuk Fisik Baterai VRLA ..... 40

Gambar 4.1 Grafik Daya Keluaran Panel Setiap 30 menit ..... 44

Gambar 4.2 Grafik pengujian sensor tegangan dan multimeter ..... 46



|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.3 Gambar Sensor Tegangan .....  | 47 |
| Gambar 4.4 Sensor ACS 30 Ampere .....  | 47 |
| Gambar 4.5 Grafik pengujian sensor ACS712 dan multimeter .....                                       | 49 |
| Gambar 4.6 Sinyal PWM dengan <i>Duty Cycle</i> 10% .....   | 50 |
| Gambar 4.7 Sinyal PWM dengan <i>Duty Cycle</i> 20% .....   | 50 |
| Gambar 4.8 Sinyal PWM dengan <i>Duty Cycle</i> 30% .....   | 50 |
| Gambar 4.9 Sinyal PWM dengan <i>Duty Cycle</i> 40% .....   | 51 |
| Gambar 4.10 Sinyal PWM dengan <i>Duty Cycle</i> 50% .....  | 51 |
| Gambar 4.11 Sinyal PWM dengan <i>Duty Cycle</i> 60% .....  | 51 |
| Gambar 4.12 Sinyal PWM dengan <i>Duty Cycle</i> 70% .....  | 52 |
| Gambar 4.13 Sinyal PWM dengan <i>Duty Cycle</i> 80% .....  | 52 |
| Gambar 4.14 Sinyal PWM dengan <i>Duty Cycle</i> 90% .....  | 52 |
| Gambar 4.15 Sinyal PWM dengan <i>Duty Cycle</i> 100% .....   | 53 |
| Gambar 4.16 <i>Deadtime</i> pada frekuensi 50KHz dengan <i>Duty Cycle</i> 10%.....                   | 55 |
| Gambar 4.17 Model <i>Buck Converter</i> konvensional menggunakan Simulink .....                      | 58 |
| Gambar 4.18 Tampilan Scope <i>Buck Converter</i> konvensional menggunakan Simulink .....             | 59 |
| Gambar 4.19 Model <i>Synchronous Buck Converter</i> menggunakan simulink .....                       | 59 |
| Gambar 4.20 Tampilan Scope <i>Synchronous Buck Converter</i> konvensional menggunakan Simulink ..... | 60 |
| Gambar 4.21 Grafik pengaruh <i>duty cycle</i> hadap tegangan keluaran. ....                          | 62 |
| Gambar 4.22 Grafik <i>duty cycle</i> hadap tegangan dengan beban 15 Ohm. ....                        | 64 |
| Gambar 4.23 Grafik <i>duty cycle</i> hadap arus dengan beban 15 Ohm. ....                            | 64 |
| Gambar 4.24 Grafik <i>duty cycle</i> hadap daya dengan beban 15 Ohm. ....                            | 65 |
| Gambar 4.25 Hubungan antara Ppv, Vout, <i>Duty Cycle</i> .....                                       | 67 |
| Gambar 4.26 Grafik P_PV dan MPP Hasil Pengujian .....  | 68 |
| Gambar 4.27 Desain sitem secara keseluruhan .....  | 68 |
| Gambar 4.28 <i>LAYOUT Printed Circuit Board (PCB)</i> .....  | 69 |
| Gambar 4.29 <i>Synchronous Buck Converter</i> telah dibangun.....                                    | 69 |

Gambar 4.30 Pengujian sistem secara keseluruhan ..... 70



## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penelitian .....                                 | 29 |
| Tabel 3.2 Spesifikasi Panel Surya .....                                    | 34 |
| Tabel 3.3 Spesifikasi <i>Synchronous buck converter</i> .....              | 35 |
| Tabel 4.1 Pengujian Karakteristik Panel Surya Polycrystalline 50WP .....   | 42 |
| Tabel 4.2 Pengujian Sensor Tegangan Input .....                            | 45 |
| Tabel 4.3 Hasil pengujian Arus .....                                       | 48 |
| Tabel 4.4 Data pengujian gelombang PWM .....                               | 50 |
| Tabel 4.5 Data hasil pengujian <i>discharge</i> baterai .....              | 55 |
| Tabel 4.6 Hasil simulasi <i>Buck Converter</i> konvensional .....          | 60 |
| Tabel 4.7 Tabel 4.8 Hasil simulasi <i>Synchronous Buck Converter</i> ..... | 60 |
| Tabel 4.9 Data hasil pengujian konverter tanpa beban. ....                 | 61 |
| Tabel 4.10 Data hasil pengujian konverter dengan beban 15 Ohm. ....        | 62 |
| Tabel 4.11 Hasil pengujian MPPT dengan algoritma P&O per 10 detik. ....    | 66 |

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Berlimpahnya energi surya yang diterima wilayah Negara Indonesia, seharusnya dapat menjadi solusi untuk menggantikan sumber energi listrik konvensional seperti batu bara dan energi fosil lainnya menjadi energi terbarukan. Energi konvensional seperti batu bara memiliki banyak kelemahan, seperti batu bara seiring berjalannya waktu akan menipis (tidak dapat diperbaharui), dan batu bara menghasilkan polusi udara maupun polusi air. Hingga tahun 2018 infrastruktur pembangkit listrik masih didominasi oleh pembangkit listrik tenaga uap dengan rasio sebesar 42.34%, dengan pembangkitan terbesar berada di PLTU Paiton Probolinggo. Sedangkan rasio infrastruktur pembangkitan dengan menggunakan energi terbarukan berupa PLTS sebesar 0.09% pada tahun 2018. (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019).

Panel surya dapat mengonversi energi matahari menjadi energi listrik. Kekurangan sumber energi dari matahari yaitu bergantung pada kondisi cuaca. Untuk mengatasi hal tersebut diterapkanlah teknik pelacakan titik daya maksimum atau *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). MPPT merupakan metode yang dapat digunakan untuk mengekstrak daya maksimum untuk mengoptimalkan produksi energi listrik. Untuk memaksimalkan daya keluaran panel surya juga membutuhkan operasi yang maksimum dari konverter DC-DC sebagai penghubung antara panel surya dengan penyimpan daya atau beban yang akan diberikan. (Tito, 2012).

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 tenaga surya ini diperlukan perbaikan nilai efisiensi pada konverter agar baterai lebih sering menerima daya *charging* (Hasan, 2017).

Pada penelitian lanjutannya, peneliti melakukan percobaan dengan menggunakan jenis *buck converter* yang berbeda yaitu dengan *synchronous buck converter* dan *asynchronous buck converter*. Hasilnya menunjukkan bahwa *synchronous buck converter* menghasilkan tegangan yang lebih rendah

dari tegangan masukan dan dapat menghasilkan arus tinggi sambil meminimalkan kehilangan daya, dengan efisiensi yang cukup baik untuk mengubah tegangan dari panel surya yang sesuai untuk pengisian baterai. *Synchronous buck converter* dari dua MOSFET daya, induktor *output* dan kapasitor *output*. Topologi *buck* spesifik ini mendapatkan namanya dari metode kontrol dua kekuatan MOSFET kontrol *on/ off* disinkronkan untuk memberikan tegangan *output* yang diatur dan untuk mencegah MOSFET menyala secara bersamaan. (Semiconductor Components Industries, 2013)

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka merumuskan masalah yang dapat diambil yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana kinerja *Synchronous Buck Converter* dan *Buck Converter* konvensional?
2. Bagaimana merancang *Synchronous Buck Converter* yang digunakan pada panel surya?
3. Bagaimana merancang MPPT solar dengan *synchronous buck converter* menggunakan algoritma *Perturb and Observe (P&O)*?

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun beberapa batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

- 1 Penelitian ini menggunakan Panel surya dengan jenis polycrystalline 50 WP, Voc 21.63V, Isc 2.92A, ketika 1000V/m<sup>2</sup>.
- 2 Tidak membahas jenis dan produk panel surya secara detail, hanya membahas daya keluaran yang dihasilkan dari panel surya tersebut.
- 3 Hanya membahas jenis MPPT dengan metode *perturb and observe*
- 4 Jenis DC/DC *converter* yang dibahas hanya *Synchronous buck converter*
- 5 Beban yang digunakan berupa baterai dengan jenis VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) dengan spesifikasi 12V, 18Ah dan beban resistif.

6. Komparasi kinerja *synchronous buck converter* dan *buck converter* konvensional dilakukan dengan simulasi.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat merancang *synchronous buck converter* dan menganalisis performa dari *Synchronous buck converter*
2. Dapat merancang MPPT solar dengan *synchronous buck converter* menggunakan algoritma *perturb and observe* (P&O).
3. Dapat membandingkan kinerja *synchronous buck converter* dan *buck converter* konvensional.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat membantu mengurangi efek pemanasan global.
2. Mampu memberikan informasi tambahan tentang implementasi dan pemanfaatan sumber energi listrik tenaga surya yang ramah lingkungan.
3. Dapat menambah pengetahuan tentang MPPT yang diimplementasikan pada panel surya.
4. Dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya tentang pengisian daya baterai berbasis tenaga surya.

#### 1.6 Sistematika Penulisan.

Penulisan tugas akhir ini disusun secara sistematis yang terdiri dari beberapa bagian yang saling berhubungan dengan maksud mempermudah pembaca memahami dan mengambil manfaat. Uraian singkat dari sistematika penulisan tugas akhir ini antara lain sebagai berikut :

#### BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan dan metodologi penelitian.

#### BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang penjelasan yang menguraikan pendapat atau penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Berisi Penjelasan metode yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian.

### BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil penelitian dan analisa hasil penelitian.

### BAB 5. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis.

## 1.7 Metodologi Penelitian

Dalam menyusun tugas akhir ini digunakan metodologi penelitian antara lain sebagai berikut :

#### 1 Perumusan Masalah

Merumuskan masalah dari masalah yang terdapat dalam kehidupan sehari-hari yang berhubungan dengan panel surya sebagai pengisian daya untuk baterai.

#### 2 Studi literatur

Melakukan pengumpulan literatur yang berhubungan dengan topik penelitian. Sumber literatur berasal dari buku, prosiding, jurnal, artikel ilmiah, dan *ebook*

#### 3 Perancangan alat

Melakukan rancang bangun alat pengisian daya baterai menggunakan MPPT dengan DC-DC *buck converter*

#### 4 Pengambilan Data

Mengambil data pengukuran intensitas radiasi matahari, tegangan panel surya, arus panel surya, tegangan keluaran *converter*, arus keluaran *converter*, tegangan baterai, arus baterai.

#### 5 Analisis Hasil dan Kesimpulan

Menganalisis hasil dan menyimpulkan berdasarkan data yang diperoleh dari rancang bangun MPPT dengan DC-DC *buck converter* untuk pengisian daya baterai.

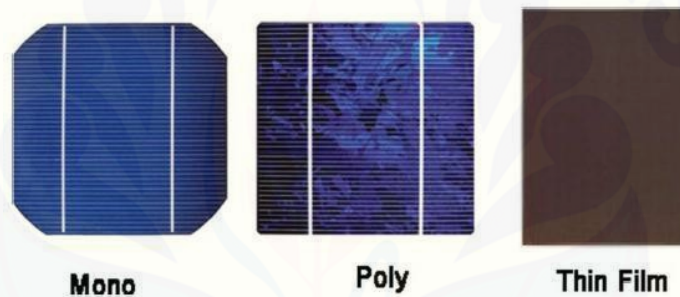




## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sel Surya

Sel surya atau sel *photovoltaic* berasal dari bahasa Inggris yaitu "*Photovoltaic*". *Photovoltaic* berasal dari dua kata yaitu "*Photo*" yang berarti cahaya dan kata "Volt" adalah nama satuan pengukuran tegangan listrik. Sel surya merupakan sebuah perangkat semikonduktor yang memiliki permukaan luas dan terdiri dari rangkaian diode tipe "P" dan "N", yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan. (Jansen, 1995).



Gambar 2.1 Sel surya (Bagher, A. M., 2015)

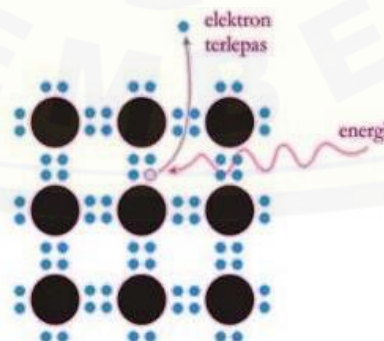
Perbedaan utama dari panel sel surya adalah bahan produksi dari sel surya. Bahan sel surya yang paling umum adalah *crystalline silicon*. Bahan *crystalline* dapat terdiri dari *monocrystalline* dan *polycrystalline*. *Polycrystalline* berwarna kebiruan dengan bercak-bercak biru muda dan biru tua. Jenis ini yang paling banyak digunakan pada pembangkit listrik tenaga surya skala kecil. Efisiensinya yaitu sekitar angka belasan persen. *Monocrystalline* mempunyai efisiensi lebih baik lagi tetapi harganya juga relatif lebih mahal. Jenis ini dapat dikenali dengan warnanya yang kebiruan polos tanpa bercak. Selain itu panel sel surya ada yang terbuat dari lapisan tipis *amorphous silicon* berwarna agak gelap kehitaman dan umum digunakan pada perangkat dengan konsumsi daya sangat rendah seperti kalkulator. Efisiensi dari jenis ini paling rendah yaitu sekitar 3-5%. (Jansen, 1995).

## 2.2 Efek *Photovoltaic*

Energi radiasi surya dapat diubah menjadi arus listrik searah dengan menggunakan lapisan-lapisan tipis dari silikon (Si) murni atau bahan semikonduktor lainnya. Pada saat ini silikon merupakan bahan yang terbanyak dipakai. Silikon merupakan unsur yang banyak terdapat di alam. Untuk keperluan pemakaian sebagai semikonduktor, silikon harus dimurnikan hingga suatu tingkat pemurnian yang tinggi sekali. Pada suhu nol absolut ( $0^{\circ}\text{K}$ ) semua ikatan kovalensi berada dalam keadaan utuh dan lengkap. Bilamana suhu naik, atom-atom akan mengalami keadaan getaran suhu. Getaran-getaran ini yang meningkat dengan suhu, pada suatu saat dapat mengganggu beberapa ikatan kovalensi. Terganggunya ikatan kovalensi dalam kristal semikonduktor pada suhu lingkungan biasa mempunyai beberapa akibat besar terhadap sifat-sifat listrik kristal itu dan penting dalam penjelasan efek *photovoltaic* (kadir, 1995).

## 2.3 Prinsip Kerja Sel Surya

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. Tidak adanya elektron pada pita valensi akibat perpindahan elektron ke pita konduksi tersebut akan menghasilkan ikatan kovalensi yang tidak lengkap yang sering disebut *hole* atau lubang seperti pada Gambar 2.2.



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

Ikatan kovalensi yang tidak lengkap yang berisi *hole* atau lubang akan membuat elektron valensi suatu atom relatif lebih mudah untuk meninggalkan ikatan kovalensinya dan mengisi *hole* ini. Suatu elektron valensi yang meninggalkan ikatan kovalensinya untuk mengisi *hole* akan membentuk *hole* pada ikatan kovalensi 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. (Rismanto Arif Nugroho, 2014)

## 2.4 Karakteristik Sel Surya

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

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

Dinama :  $I_{ph}$  = Arus hubung singkat

$I_s$  = Arus *reverse* saturasi diode

$q$  = Muatan elektron ( $1,602 \times 10^{-19}$  C)

$V$  = Tegangan diode

$K$  = Konstanta Boltzman ( $1,381 \times 10^{-23}$  C)

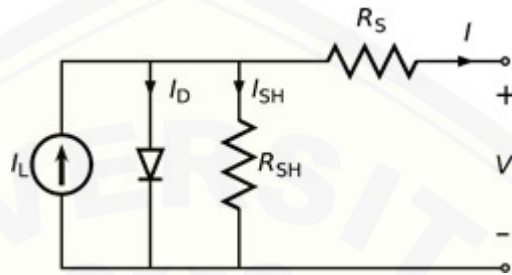
$T$  = Suhu *junction* dalam kelvin

$N$  = Faktor ideal dari diode

$R_s$  = Tahanan seri dari diode

$R_{sh}$  = tahanan *shunt* dari diode

Dari persamaan (2.1) maka didapatkan rangkaian pengganti sel surya seperti pada Gambar 2.3 Rangkaian pengganti sel surya.

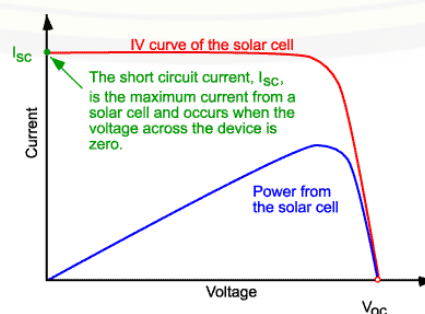


Gambar 2.3 Rangkaian pengganti sel surya. (Satwiko, 2012).

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 *ShortCircuit*

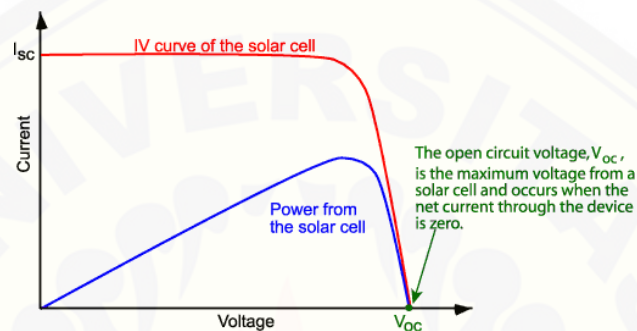
Arus *shortcircuit* atau arus hubung singkat merupakan arus yang diukur ketika tegangan pada keluaran sel surya bernilai nol dan sel surya dalam keadaan dihubung singkatkan. Ini terjadi ketika sejumlah pembawa elektron yang dikumpulkan pada PN- *Junction* bergerak ke rangkaian luar atau beban, sehingga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

## 2 Tegangan *OpenCircuit*

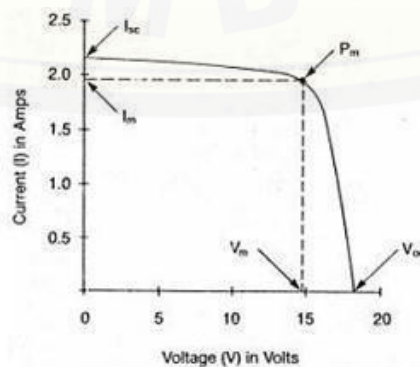
Tegangan open *circuit* merupakan tegangan yang diukur ketika rangkaian sel surya dalam keadaan terbuka, sehingga tidak ada arus yang mengalir ke rangkaian luar atau beban dengan demikian arus bernilai nol. Tegangan open *circuit* ini merupakan tegangan terbesar yang dapat dibangkitkan oleh sel surya.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



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

## 3 Karakteristik Tegangan-Arus

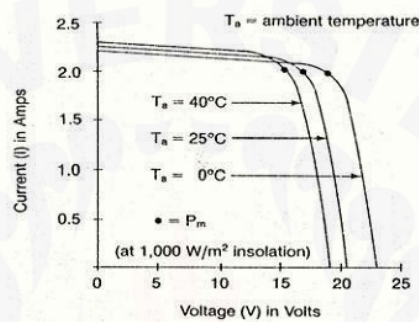
Penggunaan tegangan pada sel surya bergantung dari bahan semikonduktor yang digunakan. Jika menggunakan bahan silikon, maka tegangan yang dihasilkan pada setiap sel surya berkisar 0,5 V. Panel surya merupakan gabungan dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri dan paralel. Tegangan yang dihasilkan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



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

#### 4 Pengaruh Suhu Pada Sel Surya

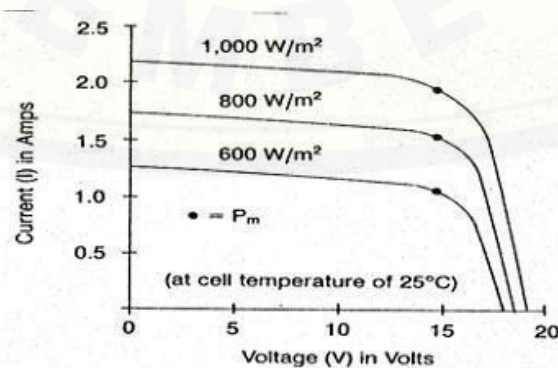
Sel surya akan bekerja secara optimum pada suhu konstan yaitu 25°C. Jika suhu di sekitar sel surya meningkat melebihi 25°C, maka akan mempengaruhi *fill factor* sehingga tegangan akan berkurang seperti Gambar 2.7. Selain itu, efisiensi sel surya juga akan menurun beberapa persen. Sedangkan sebaliknya, 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 iradiasi matahari terhadap panel surya. (Tito, 2012).

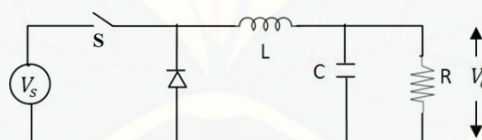
Keluaran dari sel surya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, yaitu radiasi matahari dan suhu sel surya. Dari persamaan (2.1), arus yang dibangkitkan oleh foton,  $I_{ph}$ , berhubungan dengan radiasi matahari  $\lambda$ , ditunjukkan pada persamaan berikut. (Tito, 2012).

$$I = I_{ph} - I_s \left( \exp\left(\frac{q(V + I R_s)}{NKT}\right) - 1 \right) - \left(\frac{V + I R_s}{R_{sh}}\right) \quad (2.2)$$

Dari persamaan (2.2)  $K_1$  merupakan koefisien suhu arus hubung singkat,  $I_{sc}$  merupakan arus hubung singkat pada suhu  $25^\circ\text{C}$ ,  $T$  merupakan suhu sel surya dan merupakan radiasi matahari dalam satuan  $\text{kW}/\text{m}^2$ .

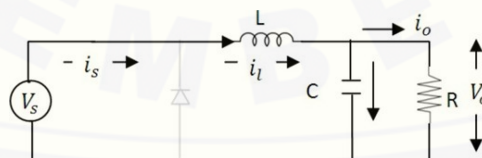
## 2.5 Buck Converter

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 mengonversi tegangan tinggi ke pengaturan tegangan rendah. *Buck converter* dapat digunakan di komputer dan di manapun kita memerlukan tegangan untuk turunkan. (Nagulapati Kiran, 2014).



Gambar 2.9 Gambar rangkaian *Buck converter*. (Nagulapati Kiran, 2014).

### 2.5.1 Kondisi ON

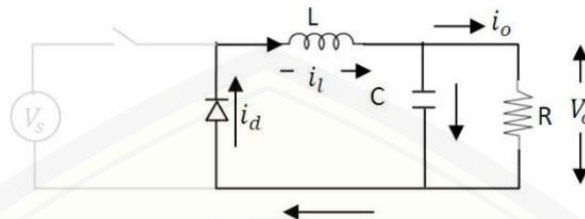


Gambar 2.10 *Buck converter* kondisi *on*. (Nagulapati Kiran, 2014).

Ketika berada pada status ON, saklar 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. (Nanang Hadi Sodikin, 2015).

### 2.5.2 Kondisi **OFF**



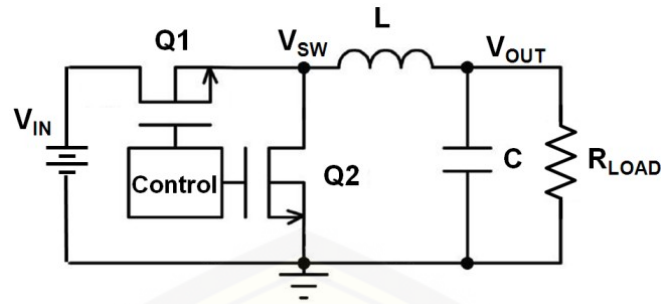
Gambar 2.11 *Buck converter* kondisi *off*. (Nagulapati Kiran, 2014).

Ketika berada pada kondisi **OFF**, saklar akan terbuka, mengakibatkan arus dari sumber tegangan tidak dapat mengalir melewati saklar ini. Sehingga sumber dari tegangan *output* sekarang berasal dari induktor dan kapasitor yang mana diode akan menjadi *forward bias*. Arus mengalir dari induktor L ke beban melalui diode dan kembali menuju induktor L. Karena tegangan induktor menjadi lebih kecil dibandingkan saat status ON dan konstan, maka arus yang melewati induktor akan menjadi turun secara linier. (Nanang Hadi Sodikin, 2015).

## 2.6 *Synchronous buck converter*

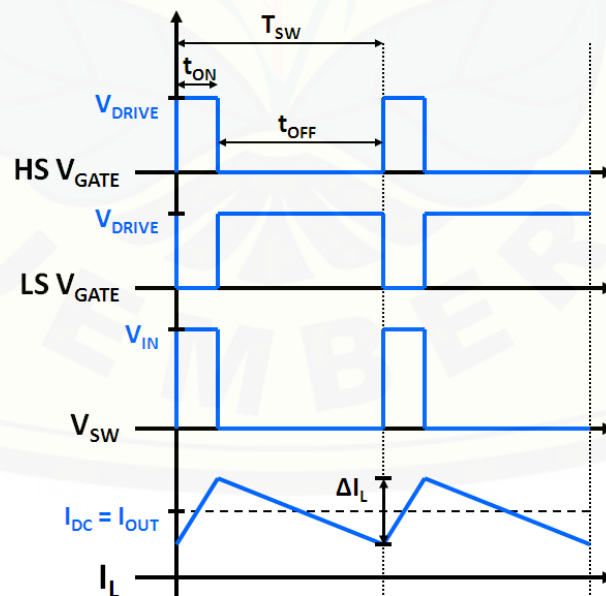
*Synchronous buck converter* adalah dalam konsep, dan banyak digunakan dalam elektronik konsumen. *Synchronous buck converter* menghasilkan tegangan yang lebih rendah dari tegangan masukan, dan dapat menghasilkan arus tinggi sambil meminimalkan kehilangan daya. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12, *Synchronous buck converter* terdiri dari dua MOSFET daya, induktor *output* dan kapasitor keluaran. Topologi *buck* spesifik ini mendapatkan namanya dari metode kontrol dua kekuatan MOSFET kontrol *on / off* disinkronkan untuk memberikan tegangan *output* yang diatur dan untuk mencegah MOSFET menyala secara bersamaan. (Semiconductor Components Industries, 2013).





Gambar 2.12 *Synchronous buck converter* (Semiconductor Components Industries, 2013).

Q1, MOSFET sisi tinggi, terhubung langsung ke tegangan input dari rangkaian. Ketika Q1 menyala, arus adalah dipasok ke beban melalui MOSFET sisi *on*. Selama kali ini, Q2 *off* dan arus melalui induktor meningkat, mengisi daya filter LC. Saat Q1 *off*, Q2 *on* dan arus dipasok ke beban melalui rendah sisi MOSFET. Selama ini, arus melalui induktor berkurang, pemakaian filter LC. Sisi rendah MOSFET menyediakan fungsi tambahan saat keduanya MOSFET tidak aktif. Ini klem tegangan simpul *switch* melalui diode untuk mencegah  $V_{SW}$  dari terlalu jauh negatif ketika transistor sisi tinggi pertama kali mati. (Semiconductor Components Industries, 2013).



Gambar 2.13 Gelombang Synchronous *buck converter* (Semiconductor Components Industries, 2013).

Gambar 2.13 menunjukkan bentuk gelombang dasar untuk *synchronous buck converter* dalam mode konduksi berkelanjutan. Jumlah seluruhnya perubahan arus induktor dikenal sebagai puncak – ke – puncak arus induktor,  $I_L$ . Tegangan switch node dihaluskan oleh tahap *output LC* untuk menghasilkan diatur Tegangan DC pada *output* MOSFET dikendalikan secara sinkron untuk mencegah pemotretan –. Tembak – melalui terjadi ketika MOSFET sisi tinggi dan sisi rendah keduanya pada saat yang sama, menyediakan hubungan langsung ke tanah. MOSFET sisi tinggi pada – waktu menentukan tugas siklus sirkuit, dan didefinisikan dalam Persamaan 2.2 sebagai berikut

$$D = \frac{t_{ON,HS}}{t_{ON,HS} + t_{OFF,HS}} \cong \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \quad (2.3)$$

Jika siklus kerja,  $D$ , sama dengan 1 maka MOSFET sisi tinggi pada 100% dari waktu dan tegangan output sama dengan tegangan masukan. Siklus tugas 0,1 berarti bahwa MOSFET sisi tinggi berada pada 10% dari waktu, menghasilkan tegangan output sekitar 10% dari tegangan masukan. (*Semiconductor Components Industrie* 2013)

### 2.6.1 Karakteristik keluaran Induktor (L) dan Kapasitor (C)

Tahap output dari *synchronous buck converter* dari induktor dan kapasitor. Tahap keluaran menyimpan dan menyalurkan energi ke beban, dan menghaluskan tegangan simpul sakelar untuk menghasilkan tegangan keluaran yang konstan.

Pemilihan induktor secara langsung mempengaruhi jumlah riak arus yang terlihat pada arus induktor, serta kemampuan arus dari konverter *buck* itu sendiri. Induktor bervariasi dari pabrikan ke pabrikan baik dalam bahan maupun nilai, dan biasanya memiliki toleransi  $\pm 20\%$ .

Induktor memiliki hambatan DC yang melekat (dikenal sebagai DCR) yang berdampak pada kinerja tahap keluaran. Meminimalkan DCR meningkatkan kinerja konverter secara keseluruhan. Untuk aplikasi yang membutuhkan arus beban tinggi, disarankan untuk memilih induktor dengan DCR rendah. DCR lebih kecil untuk

nilai induktor yang lebih rendah, tetapi ada pertukaran antara induktansi dan arus riak; semakin rendah induktansi, semakin tinggi arus riak melalui induktor. Induktansi minimum harus dipenuhi untuk memenuhi persyaratan arus riak dari rangkaian aplikasi spesifik.

Kapasitansi keluaran secara langsung mempengaruhi tegangan keluaran konverter, waktu respons dari loop umpan balik keluaran, dan jumlah overshoot tegangan keluaran yang terjadi selama perubahan arus beban. Tegangan riak ada pada output DC saat arus melalui induktor dan kapasitor meningkat dan menurun. Meningkatkan kapasitansi akan mengurangi jumlah tegangan riak yang ada.

Namun, ada tradeoff antara kapasitansi dan respons keluaran. Meningkatkan kapasitansi mengurangi riak tegangan output dan overshoot tegangan output, tetapi meningkatkan waktu yang dibutuhkan loop umpan balik tegangan output untuk menanggapi perubahan beban. Oleh karena itu, kapasitansi minimum harus dipertimbangkan, untuk memenuhi persyaratan riak tegangan dan overshoot tegangan konverter, sambil mempertahankan loop umpan balik yang dapat merespon cukup cepat untuk memuat perubahan.

Kapasitor juga memiliki resistensi seri parasit, yang dikenal sebagai resistensi seri setara (ESR). ESR memengaruhi riak tegangan output dan efisiensi keseluruhan konverter. Karena itu, desainer pindah ke desain ESR rendah. Penggunaan beberapa kapasitor secara paralel memungkinkan perancang untuk mencapai kapasitansi yang diperlukan untuk sistem sekaligus mengurangi ESR yang setara. (Semiconductor Components Industries, 2013).

### 2.6.2 Desain LC dan MOSFET

Ketika merancang tahap output *synchronous buck converter* mulai dengan induktor. Minimum induktansi dihitung berdasarkan arus riak target dan spesifikasi rangkaian aplikasi lainnya. Setelah induktor telah dipilih, kapasitansi minimum dapat ditentukan.

1. Menghitung induktansi minimal

Mari kita mulai dengan arus / tegangan induktor dasar hubungan, terlihat

pada Persamaan 2.4.

$$V_L = L \times \frac{dI_L}{dt} \quad (2.4)$$

Riak arus induktor didefinisikan sebagai puncak – ke – puncak perubahan arus selama konverter bekerja. Untuk *synchronous buck converter*, perubahan arus induktor selama sisi tinggi MOSFET pada waktu sama dengan berubah selama MOSFET sisi tinggi waktu mati. Di lain keadaan, kenaikan arus induktor sama dengan penurunan arus induktor (lihat Gambar 2.13). Dapat dirumuskan seperti pada persamaan 2.5.

$$\Delta I_{L(+)} = \Delta I_{L(-)} \quad (2.5)$$

Untuk alasan ini, riak arus induktor dapat dengan mudah didefinisikan sebagai  $\Delta I_L$ . Istilah  $(dI_L)/dt$  selama konverter bekerja dapat ditulis sebagai:

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{\Delta I_L}{t_{ON,HS}} \quad (2.6)$$

Menggabungkan Persamaan 2.4 dan Persamaan 2.6 dan penyelesaian untuk induktansi menghasilkan Persamaan 2.7

$$L_{MIN} = \frac{V_{L(ON)} \times t_{ON,HS}}{\Delta I_L} \quad (2.7)$$

Untuk menyelesaikan induktansi dalam hal parameter rangkaian aplikasi, beberapa istilah tambahan harus didefinisikan. Selama konverter tepat waktu, MOSFET sisi tinggi berjalan dan MOSFET sisi rendah dimatikan. Menggunakan hukum tegangan Kirkhoff,  $V_{L(ON)}$  didefinisikan sebagai berikut, persamaan 2.8

$$V_{L(ON)} = V_{IN} - V_{HS} - V_{OUT} \quad (2.8)$$

$V_{HS}$  adalah drop tegangan melintasi MOSFET sisi tinggi dan didefinisikan sebagai, persamaan 2.9

$$V_{HS} = R_{DS(ON),HS} \times D \times I_{OUT,MAX} \quad (2.9)$$

*Duty cycle* didefinisikan sebagai rasio MOSFET sisi tinggi dengan periode switching Konverter. Dengan kata lain,

$$D = \frac{t_{(ON),HS}}{T_{SW}} = t_{(ON),HS} \times f_{sw} \quad (2.10)$$

Dan persamaan 2.7 menjadi persamaan 2.11 sebagai berikut,

$$L_{MIN} = \frac{(V_{IN} - V_{HS} - V_{OUT}) \times D}{\Delta I_L \times f_{SW}} \quad (2.11)$$

Arus riak juga dapat diekspresikan dalam bentuk rasio arus riak induktor, atau LIR

$$\Delta I_L = LIR \times I_{OUT,MAX} \quad (2.12)$$

Mengganti Persamaan 10 ke dalam Persamaan 9, minimum induktansi, LMIN, menjadi:

$$L_{MIN} = \frac{(V_{IN} - V_{HS} - V_{OUT}) \times D}{LIR \times I_{OUT,MAX} \times f_{SW}} \quad (2.13)$$

Persamaan 2.5 dapat digunakan untuk menghitung siklus tugas, D menggunakan  $\Delta I_{L(+)}$  dan  $\Delta I_{L(-)}$  sebagaimana didefinisikan dalam Persamaan 2.14 dan 2.15 di bawah ini.

$$\Delta I_{L(+)} = \frac{V_{L(ON),HS}}{L} \times t_{(ON),HS} \quad (2.14)$$

$$\Delta I_{L(-)} = \frac{V_{L(OFF),HS}}{L} \times t_{(OFF),HS} \quad (2.15)$$

$V_{L(ON)}$  didefinisikan dalam persamaan 2.8 dan  $V_{L(OFF)}$  adalah

$$V_{L(OFF)} = V_{OUT} + V_{LS} \quad (2.16)$$

$t_{(ON)}$  dan  $t_{(OFF)}$  MOSFET sisi tinggi juga dapat ditulis dalam bentuk *Duty cycle*

$$t_{(ON),HS} = \frac{D}{f_{SW}} \quad (2.17)$$

$$t_{(OFF),HS} = \frac{1-D}{f_{SW}} \quad (2.18)$$

Menyetel  $\Delta I_{L(+)}$  sama dengan  $\Delta I_{L(-)}$  dan menggantikan Persamaan 2.16, 2.17 dan 2.18, *duty cycle* menjadi persamaan berikut

$$D = \frac{V_{OUT} + V_{LS}}{V_{IN} - V_{HS} + V_{LS}} \quad (2.19)$$

$V_{LS}$  adalah drop tegangan yang melewati sisi rendah MOSFET ketika mengalirkan arus listrik, didefinisikan menjadi

$$V_{LS} = R_{DS(ON)LS} \times (1-D) \times I_{OUT,MAX} \quad (2.20)$$

Oleh karena itu, persamaan induktansi akhir,  $L_{MIN}$ , menjadi persamaan 2.21

$$L_{MIN} = \left( \frac{(V_{IN} - V_{HS} - V_{OUT}) \times D}{\Delta I_L \times f_{SW}} \right) \times \left( \frac{V_{OUT} + V_{LS}}{V_{IN} - V_{HS} + V_{LS}} \right) \quad (2.21)$$

Persamaan 19 dapat disederhanakan dengan mengabaikan penurunan tegangan MOSFET sisi tinggi dan rendah, menghasilkan induktansi minimum dari

$$L_{MIN} \cong \frac{(V_{IN} - V_{OUT}) \times D}{LIR \times I_{OUT,MAX} \times f_{SW}} \quad (2.22)$$

$$D \cong \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \quad (2.23)$$

Diketahui, induktansi berbanding terbalik dengan arus riak. Target arus riak yang lebih rendah atau setara dengan induktansi minimum yang lebih tinggi. Untuk mengoptimalkan kinerja filter keluaran, Direkomendasikan untuk menargetkan arus riak induktor 20% - 40%, yang diterjemahkan menjadi LIR 0,2 - 0,4.

## 2. Menghitung ESR Maksimum dan Kapasitansi Minimum

Kapasitansi diperlukan untuk mempertahankan tegangan *output* yang diatur sementara MOSFET sisi tinggi dimatikan, dan diperlukan untuk meminimalkan jumlah riak yang ada pada tegangan *output*. Riak tegangan keluaran,  $\Delta V_{PP}$ , dapat dinyatakan sebagai tegangan puncak ke puncak atau Rasio Tegangan Kapasitor, atau CVR.

$$\Delta V_{PP} = \text{CVR} \times V_{OUT} \quad (2.24)$$

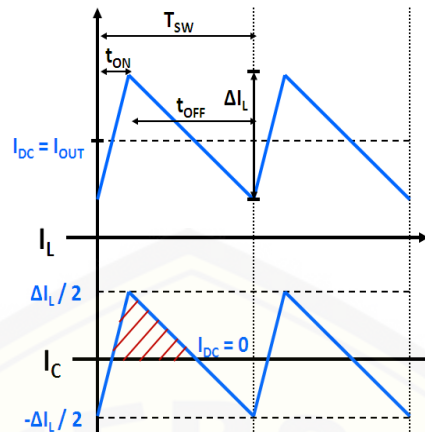
Nilai CVR dari 0,05, misalnya, sama dengan tegangan riak keluaran yang 5% dari tegangan keluaran DC

ESR dan kapasitansi memengaruhi waktu respons *loop* umpan balik keluaran. Semakin besar nilai kapasitansi *output* dan ESR, semakin lama waktu yang dibutuhkan *output* untuk merespons perubahan beban. ESR juga mempengaruhi riak tegangan keluaran. ESR maksimum dapat dihitung menggunakan riak tegangan maksimum yang ditentukan  $\Delta V_{PP}$ , dan arus beban maksimum, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.25 berikut.

$$\text{ESR} = \frac{\Delta V_{PP}}{I_{OUT,MAX}} = \frac{\text{CVR} \times V_{OUT}}{I_{OUT,MAX}} \quad (2.25)$$

Oleh karena itu, untuk memiliki riak tegangan *output* di bawah maksimum yang ditentukan, ESR dari kapasitansi *output* harus kurang dari nilai yang dihitung menggunakan Persamaan 2.25.

Ketika MOSFET sisi tinggi aktif, arus melalui induktor dan kapasitor meningkat, dan tegangan *output* meningkat. Ketika MOSFET sisi tinggi dimatikan, arus melalui induktor dan kapasitor menurun, dan tegangan *output* menurun. Untuk mencapai tegangan *output* yang konstan, jumlah peningkatan arus kapasitor harus sama dengan jumlah penurunan arus kapasitor. Oleh karena itu, arus *steady state* melalui kapasitor adalah 0 A (Gambar 2.14).



Gambar 2.14 Arus induktor dan kapasitor. (Semiconductor Components Industries, 2013).

Arus melalui kapasitor didefinisikan sebagai:

$$I_C = C \frac{\Delta V_C}{\Delta t} \quad (2.26)$$

Dan dapat ditulis ulang menjadi

$$\Delta t \times I_C = C \times \Delta V_C = \Delta Q_C \quad (2.27)$$

Area di bawah kurva (ditunjukkan dalam warna merah pada Gambar 3) adalah kapasitor *Charge*  $\Delta Q_C$ , dan didefinisikan sebagai:

$$\Delta Q_C = \frac{1}{2} \times \Delta I_C \times \Delta t \quad (2.28)$$

Diketahui,

$$\Delta t = \left(\frac{1}{2} \times t_{ON}\right) + \left(\frac{1}{2} \times t_{OFF}\right) = \left(\frac{1}{2} \times \frac{D}{f_{SW}}\right) + \left(\frac{1}{2} \times \frac{D}{f_{SW}}\right) = \frac{1}{2 \times f_{SW}} \quad (2.29)$$

$$\Delta I_C = \frac{\Delta I_L}{2} \quad (2.30)$$

Oleh karena itu, Persamaan 2.30 dapat ditulis ulang sebagai berikut:

$$\Delta Q_C = \frac{1}{2} \times \frac{\Delta I_L}{2} \times \frac{1}{2 \times f_{SW}} = \frac{\Delta I_L}{8 \times f_{SW}} \quad (2.31)$$

Dan persamaan 2.23 menjadi persamaan 3.32



$$\frac{\Delta I_L}{8 \times f_{SW}} = C_{MIN} \times \Delta V_{PP} \quad (2.32)$$

*Output* minimum kapasitansi disebabkan oleh tegangan *output* tak dapat diturunkan dengan menggabungkan Persamaan 2.12, 2.24 dan 2.32 dan memecahkan untuk kapasitansi.

$$C_{MIN} = \frac{LIR \times I_{OUT,MAX}}{8 \times f_{SW} \times CVR \times V_{OUT}} \quad (2.33)$$

Persamaan di atas hanya mempertimbangkan pengaruh tegangan riak keluaran dan arus riak induktor pada kapasitansi keluaran. Kemampuan respons beban fluktuatif pada tahap keluaran juga harus dipertimbangkan.

*Synchronous buck converter* dapat merespons perubahan arus beban dengan tetap mempertahankan tegangan *output* yang diatur. Ketika arus beban berubah dari nilai yang lebih tinggi ke nilai yang lebih rendah, tegangan *output* akan meningkat untuk sementara sampai konverter dapat menyesuaikan *duty cycle* untuk mengembalikan tegangan *output* ke nilai yang diatur. Peningkatan tegangan *output* sementara ini dikenal sebagai *overshoot* tegangan *output*  $V_{OV}$ . *Overhoot* kasus terburuk akan terjadi ketika beban beralih dari beban maksimum ke tanpa beban. Kapasitor *output* harus dapat menangani kondisi transisi tersebut.

Total energi dari tahap *output* didefinisikan sebagai:

$$E_{TOT} = E_C + E_L = \left(\frac{1}{2}\right) \times C \times V_C^2 + \left(\frac{1}{2}\right) \times L \times I_L^2 \quad (2.34)$$

Energi total sebelum transisi beban harus sama dengan energi total setelah transisi beban. Karena itu persamaan 3.35 ditulis sebagai berikut

$$\left(\frac{1}{2}\right) \times C \times V_{out}^2 + \left(\frac{1}{2}\right) \times L \times I_{PK}^2 = \left(\frac{1}{2}\right) \times C \times (V_{OV} + V_{OUT})^2 \quad (2.35)$$

Memecahkan untuk C, persamaannya menjadi:

$$C_{\text{MIN}} = \frac{L \times I_{\text{PK}}^2}{(V_{\text{OV}} + V_{\text{OUT}})^2 - V_{\text{OUT}}^2} \quad (2.36)$$

Diketahui  $I_{\text{PK}}$  adalah definisi dari:

$$I_{\text{PEAK}} = I_{\text{OUT,MAX}} \times \frac{\Delta I_{\text{L}}}{2} \quad (2.37)$$

3. Pemilihan MOSFET ini dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

Stress tegangan mosfet

$$V_{\text{SM,MAX}} = V_{\text{DM,MAX}} = V_{\text{IN,MAX}} \quad (2.38)$$

Stress arus mosfet

$$I_{\text{SM,MAX}} = V_{\text{DM,MAX}} = I_{\text{OUT,MAX}} + \frac{\Delta I_{\text{L,MAX}}}{2} \quad (2.39)$$

### 2.6.3 Power Losses dan Efisiensi *Synchronous buck converter*.

1. Daya yang terbuang pada MOSFET

$$P_{\text{SW}} = 10 \times f_s \times (C_{\text{oss}} - C_{\text{rss}}) \sqrt{V_{\text{IN}}^3} \quad (2.40)$$

$$P_{\text{SW}} = D_{\text{MAX}} \times r_{\text{DS}} \times I_{\text{OUT}}^2 \quad (2.41)$$

Total daya yang terbuang pada MOSFET

$$P_{\text{FET}} = P_{\text{rDS}} + P_{\text{SW}} \quad (2.42)$$

2. Total daya yang terbuang pada inductor

$$P_{\text{rL}} = r_{\text{L}} \times I_{\text{OUT}}^2 \quad (2.43)$$

3. Total daya yang terbuang pada kapasitor

$$P_{rC,IN} = \frac{rC_{IN} \times (\Delta I_{L,MAX})^2}{V_{IN}} \quad (2.44)$$

$$P_{rC,OUT} = \frac{rC_{OUT} \times (\Delta I_{L,MAX})^2}{V_{IN}} \quad (2.45)$$

$$P_{rC} = P_{rC,IN} + P_{rC,OUT} \quad (2.46)$$

4. Total daya yang terbuang pada *Synchronous buck converter*

$$P_{LS} = P_{FET} + P_{rL} + P_{rC} \quad (2.47)$$

5. efisiensi *Synchronous buck converter*

$$\eta(\text{teori}) = \frac{P_{OUT}(\text{teori})}{P_{IN}(\text{teori}) + P_{LS}} \quad (2.48)$$

## 2.7 Sinyal PWM

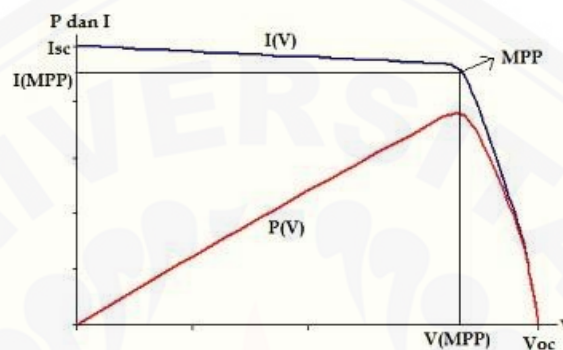
*Pulse Width Modulation (PWM)* adalah sinyal yang umum digunakan untuk mengendalikan daya pada perangkat elektronik. PWM menggunakan sebuah gelombang persegi panjang yang lebar pulsanya dimodulasi sehingga menghasilkan variasi pada nilai rata-rata gelombang tersebut. Cara paling sederhana untuk membuat 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.

$$D = \frac{t_{HIGH}}{T} \quad (2.49)$$

## 2.8 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

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



Gambar 2.15 Kurva MPPT panel surya. (Felix Yustian Setiono, Tanpa Tahun).

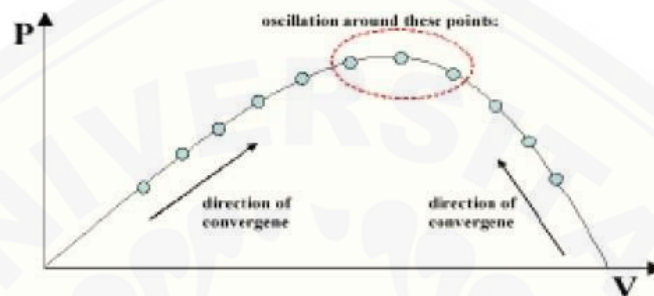
Sistem MPPT bekerja dengan cara memaksa panel surya agar bekerja pada titik daya maksimumnya, sehingga daya yang mengalir pada beban merupakan daya maksimal. Pada umumnya digunakan DC-DC *converter* dalam sebuah sistem MPPT untuk menggeser daya operasi dari panel surya menjadi titik daya maksimalnya.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

## 2.9 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 Method* terdiri dari *perturbation* (penggangguan) pada *duty cycle* dari konverter daya dan P&O *perturbation* beroperasi pada tegangan DC antara panel surya dengan konverter daya. Dalam kasus *Hill-Climbing* gangguan dari *duty cycle* pada konverter daya digunakan untuk memodifikasi tegangan DC antara panel surya dan konverter daya, sehingga kedua nama tersebut mengacu pada teknik yang sama. (Patel, 2013).

Dalam algoritma metode *Perturb and Observe* (P&O) disajikan untuk susunan rencana dan sesuatu yang ingin dicapai dari proses penggangguan

(*perturbasi*) gangguan dan variasi daya dari panel surya. Jika perubahan daya sesuai dengan metode P&O maka gangguan (*perturbasi*) dilanjutkan di arah yang sama. Setelah MPP disentuh maka berikutnya gangguan (*perturbasi*) menjadi berlawanan. Ketika menyentuh kondisi stabil, teknik P&O akan berosilasi di sekitar titik daya maksimum (MPP). Hal ini di tunjukkan pada Gambar 2.15. (Ram Naresh Bharti, 2014).



Gambar 2.16 Kurva algoritma P&O (Ram Naresh Bharti, 2014)

## 2.10 Baterai

Baterai atau akumulator merupakan sebuah sel listrik yang di dalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (dapat berbalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Proses elektrokimia reversibel ialah proses di dalam 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. (Buwono, 2010)

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. (Buwono, 2010).

Berikut ini merupakan empat komponen baterai :

1. Anoda atau elektroda positif merupakan yang menghubungkan elektron dengan rangkaian eksternal dan teroksidasi selama proses *discharging*. Biasanya anoda menggunakan metal atau campuran akan tetapi hidrogen

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 sulfida tetapi juga menggunakan oksigen.
3. Elektrolit (konduktor ionik), komponen ini menyediakan media untuk transfer muatan sebagai ion-ion di dalam *cell* antara anoda dengan katoda. Elektrolit dapat berupa sebuah non-konduktor 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*) 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 elektroda 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.

Kapasitas baterai merupakan ukuran muatan yang disimpan dalam suatu baterai, hal ini ditentukan oleh masa aktif material di dalamnya. Kapasitas menggambarkan sejumlah energi maksimum yang dapat dikeluarkan dari sebuah baterai dalam kondisi tertentu. Namun kemampuan penyimpanan baterai dapat berbeda dari kapasitas nominalnya, 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 terus menerus. 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  $100 \text{ Ah} \times 12 \text{ V}$  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* 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. (Adityawan, 2010).



### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

##### 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           |       |   |   |   |    |   |   |   |     |   |   |   |    |   |   |   |
| 2  | Desain dan pembuatan alat |       |   |   |   |    |   |   |   |     |   |   |   |    |   |   |   |
| 3  | Pengambilan data          |       |   |   |   |    |   |   |   |     |   |   |   |    |   |   |   |
| 4  | Analisis dan pembahasan   |       |   |   |   |    |   |   |   |     |   |   |   |    |   |   |   |
| 5  | Pembuatan laporan         |       |   |   |   |    |   |   |   |     |   |   |   |    |   |   |   |

#### 3.2 Alat dan Bahan

##### 3.2.1 Alat yang digunakan

Beberapa alat yang digunakan pada penelitian sebagai berikut :

1. Laptop 1 unit
2. Osiloskop 1 unit



|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| 3. <i>Tollkit</i>           | 1 set  |
| 4. Multimeter               | 2 unit |
| 5. Ampere meter             | 2 unit |
| 6. <i>Solar power meter</i> | 1 unit |
| 7. LCR meter                | 1 unit |
| 8. <i>Power supply</i>      | 1 unit |

### 3.2.2 Bahan yang dibutuhkan

Beberapa bahan yang dibutuhkan pada penelitian sebagai berikut :

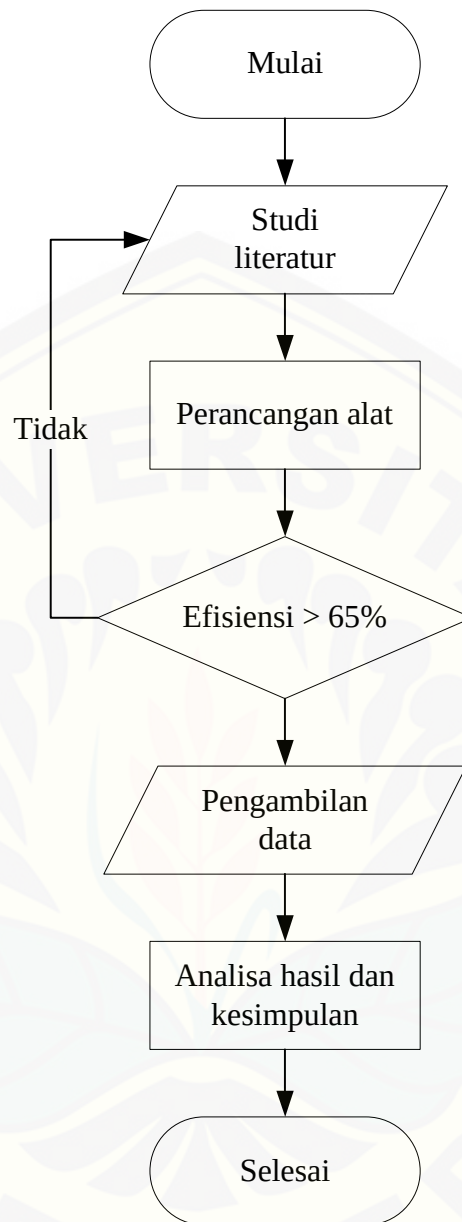
|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| 1. Arduino Nano               | 1 unit |
| 2. <i>Bracket</i> panel surya | 1 unit |
| 3. Panel surya 50 WP          | 1 unit |
| 4. Sensor arus ACS712-30A     | 2 unit |
| 5. Konverter Konversi 7805    | 1 unit |
| 6. LCD 20×4 I2C               | 1 unit |
| 7. MOSFET IRFZ44N             | 4 unit |
| 8. Driver MOSFET IR2104       | 1 unit |
| 9. Transistor 2N222           | 1 unit |
| 10. Diode IN4148              | 2 unit |
| 11. Resistor 200 ohm          | 3 unit |
| 12. Resistor 330 ohm          | 3 unit |
| 13. Resistor 1K ohm           | 1 unit |
| 14. Resistor 10K ohm          | 2 unit |
| 15. Resistor 20K ohm          | 2 unit |
| 16. Resistor 100K ohm         | 2 unit |
| 17. Resistor 470K ohm         | 1 unit |
| 18. Kapasitor 0.1 $\mu$ F     | 4 unit |
| 19. Kapasitor 10 $\mu$ F      | 3 unit |
| 20. Kapasitor 100 $\mu$ F     | 1 unit |
| 21. Kapasitor 220 $\mu$ F     | 1 unit |
| 22. Induktor 33 $\mu$ H-5A    | 1 unit |

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| 23. PCB                              | 1 unit |
| 24. Kabel <i>Jumper</i>              | 1 set  |
| 25. Pin <i>header</i>                | 1 set  |
| 26. Soket IC 8 pin                   | 1 unit |
| 27. Terminal baut 2 pin              | 3 unit |
| 28. Sekring 5A                       | 2 unit |
| 29. Pemegang sekring                 | 2 unit |
| 30. <i>Push button</i>               | 2 unit |
| 31. Saklar                           | 1 unit |
| 32. USB <i>port</i>                  | 1 unit |
| 33. Konektor JST <i>male- female</i> | 2 unit |
| 34. Baut pemisah                     | 4 unit |

### **3.3 Tahap Penelitian**

#### **3.3.1 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*

Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

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

### 3.3.2 Perancangan Alat

Melakukan perancangan alat rancang bangun MPPT dengan DC-DC *Synchronous buck converter* panel surya dengan baterai dan beban resistif.

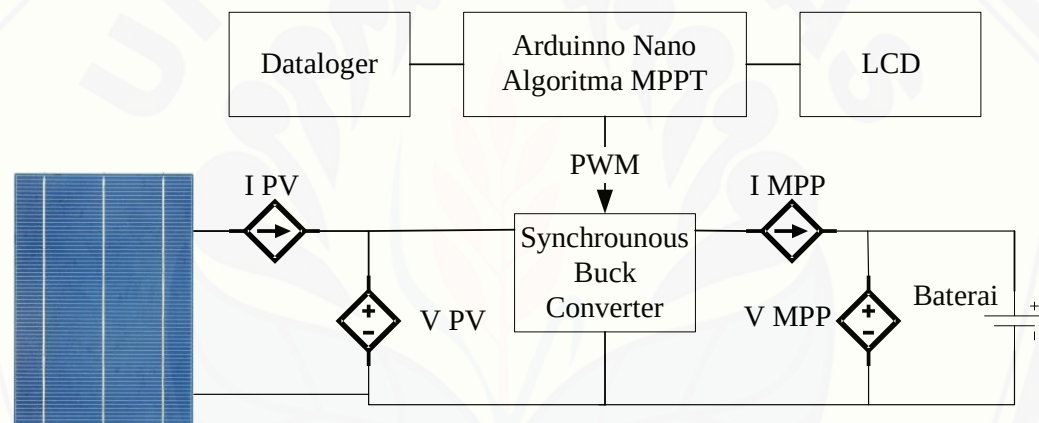
### 3.3.3 Pengambilan Data

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.

### 3.3.4 Analisis Hasil dan Kesimpulan

Analisis dilakukan berdasarkan data yang telah diperoleh dari rancang bangun MPPT dengan DC-DC *Synchronous buck converter* panel surya dengan baterai dan beban resistif.

## 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 *Synchronous buck converter* panel surya dengan beban baterai. 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 5 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 *Synchronous 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 *Synchronous buck converter*. Hal ini 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 *Synchronous buck converter* dihubungkan ke baterai untuk dilakukan proses pengisian (*charging*) pada baterai. Pada sistem ini digunakan baterai 12 V dengan kapasitas 12 Ah.

### 3.4.1 Perencanaan Panel Surya

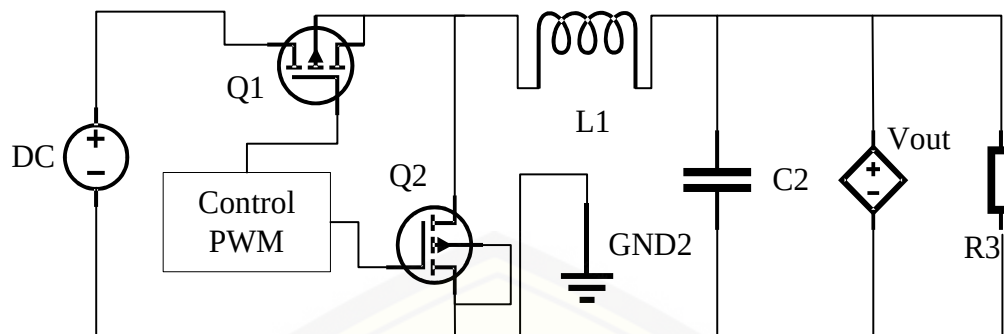
Panel surya yang digunakan dalam penelitian ini merupakan panel surya jenis *polycrystalline* dengan kapasitas 50 Wp. Berikut ini merupakan spesifikasi dari panel surya yang digunakan.

Tabel 3.2 Spesifikasi Panel Surya

| Panel surya Merek "New Tomorrow"   |                             |
|------------------------------------|-----------------------------|
| Tipe Model                         | SL                          |
| Daya maksimum (Pmax)               | 50 WP                       |
| <i>Open Circuit Voltage</i> (Voc)  | 21,63 V                     |
| <i>Short Circuit Current</i> (Isc) | 3,12 A                      |
| <i>Voltage at Pmax</i> (Vmp)       | 17.13 V                     |
| <i>Current at Pmax</i> (Imp)       | 2.92 A                      |
| <i>Test Condition</i>              | 1000W/m <sup>2</sup> , 25°C |
| <i>Power Tolerance</i>             | ±5 %                        |

### 3.4.2 Perancangan DC-DC *Synchronous buck converter*.

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

Gambar 3.3 Rangkaian *Synchronous buck converter*

Pada gambar 3.3 merupakan gambar rangkaian dasar DC-DC *Synchronous buck converter*, dalam rangkaian tersebut terdapat beberapa komponen dasar yaitu MOSFET, induktor, kapasitor.

Untuk mendesain DC-DC *Synchronous 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 *Synchronous 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 3.12 A. Namun yang nanti digunakan sebagai referensi arus keluaran dari *Synchronous buck converter* yaitu arus  $I_{mp}$  pada panel surya sebesar 2,92 A. Untuk frekuensi yang digunakan dalam proses *switching* pada DC-DC *Synchronous buck converter* adalah 50 kHz. Dengan data tersebut maka langkah awal dalam pembuatan DC-DC *Synchronous buck converter* menentukan spesifikasi terlebih dahulu. Berikut ini spesifikasi DC-DC *Synchronous buck converter* yang akan dibuat :

Tabel 3.3 Spesifikasi *Synchronous buck converter*

| Spesifikasi <i>Synchronous buck converter</i> |           |         |
|---|-----------|---------|
| Parameter                                     | Simbol    | Target  |
| Tegangan Masukan                              | $V_{IN}$  | 15 Volt |
| Tegangan Nominal                              | $V_{OUT}$ | 12 Volt |

|                        |               |       |
|------------------------|---------------|-------|
| Arus Keluaran maksimum | $I_{OUT,MAX}$ | 4,2 A |
| Frekuensi pensaklaran  | $f_{sw}$      | 50kHz |
| Riple tegangan         | CVR           | 0.02  |
| Riple arus             | LIR           | 0,35  |

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

#### 1. Menentukan induktansi maksimum dan minimum

Untuk mendapat arus riak yang kurang lebih 35% dari arus maksimal

$$\Delta I_L = LIR \times I_{OUT,MAX}$$

$$\Delta I_L = 0.35 \times 4.2 = 1.47$$

Setelah mendapatkan estimasi ripple arus maka untuk menghitung  $I_{OUT,MIN}$  sebagai berikut

$$I_{OUT,MIN} = \frac{\Delta I_L}{2}$$

$$I_{OUT,MIN} = \frac{1,47}{2} = 0.735A$$

Maka arus riak induktor dapat didefinisikan sebagai berikut

$$I_{PK} = I_{OUT,MAX} + \frac{\Delta I_L}{2} = 4.2 + \frac{0.35 \times 4.2}{2}$$

$$I_{PK} = 4.2 + \frac{0.35 \times 4.2}{2} = 4,935 A$$

Pemilihan induktor dapat didefinisikan menjadi

$$L_{\text{MIN}} = \frac{(V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}}) \times D}{LIR \times I_{\text{OUT,MAX}} \times f_{\text{SW}}}$$

$$L_{\text{MIN}} \cong \frac{(15-12) \times 0.8}{0,35 \times 4,2 \times 50 \times 10^3} \cong 32,65 \mu\text{H} \cong \pm 33 \mu\text{H}$$

Jadi nilai induktansi yang dibutuhkan untuk merancang *Synchronous buck converter* sebesar  $33 \mu\text{H}$  dan 5 Ampere.

## 2. Pemilihan kapasitor

Pemilihan kapasitor dilakukan agar ripple tegangan dapat diminimalisir. Kapasitor ini berfungsi sebagai filter pada DC-DC *Synchronous buck converter*. Berikut ini merupakan perhitungan untuk mendapatkan kapasitor minimum yang harus digunakan. Pada pemilihan kapasitor ini digunakan estimasi ripple tegangannya adalah 5 %. Maka dapat dihitung ripple tegangan sebagai berikut.

$$C_{\text{MIN}} = \frac{LIR \times I_{\text{OUT,MAX}}}{8 \times f_{\text{SW}} \times \text{CVR} \times V_{\text{OUT}}}$$

$$C_{\text{MIN}} = \frac{1,47}{8 \times 50000 \times 0.2} = 183.75 \mu\text{F}$$

Dengan memperhatikan rentang yang cukup pemilihan kapasitor dengan nilai sebesar  $220 \mu\text{F}$

## 3. Pemilihan MOSFET

Komponen penting dari konverter yang berkaitan dengan frekuensi tinggi yaitu MOSFET. Beberapa parameter dasar yang digunakan untuk memilih MOSFET yang tepat yaitu

$$V_{\text{SM,MAX}} = V_{\text{DM,MAX}} = V_{\text{IN,MAX}} = 21,63 \text{ V}$$

$$I_{\text{SM,MAX}} = V_{\text{DM,MAX}} = I_{\text{OUT,MAX}} + \frac{\Delta I_{\text{L,MAX}}}{2} = 4,935 \text{ A}$$

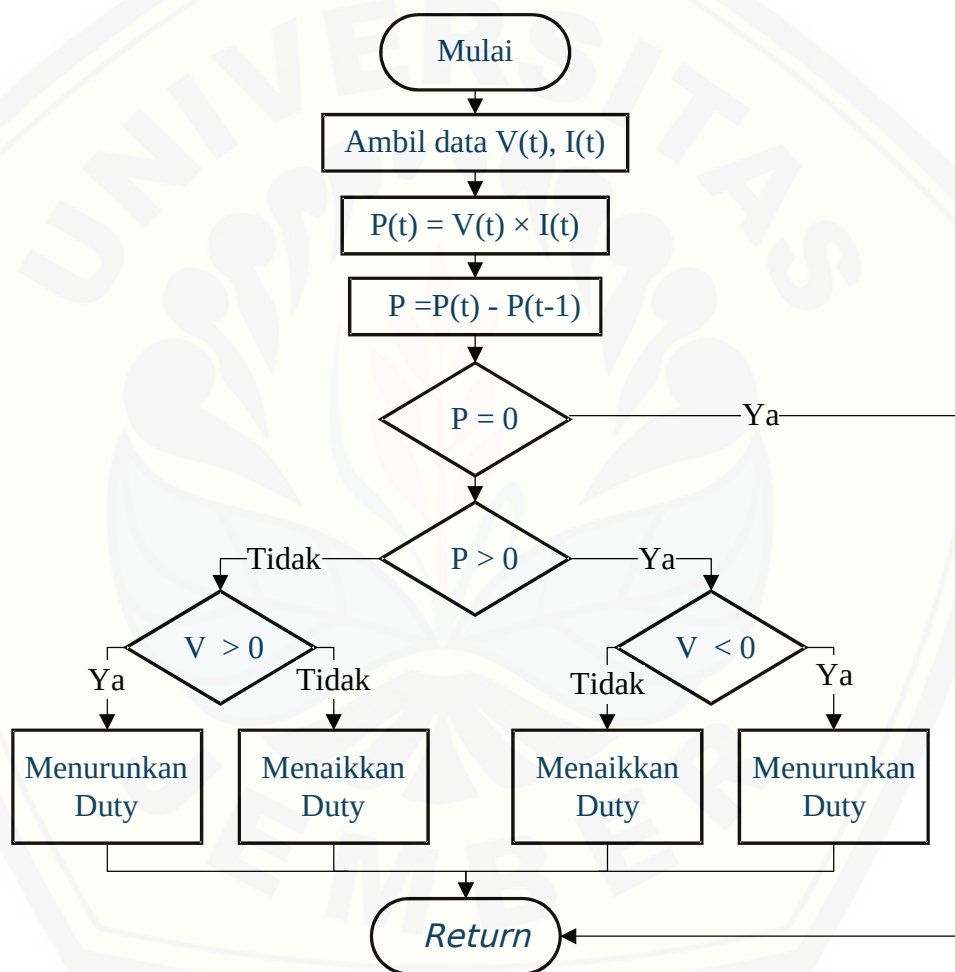
Maka dapat menggunakan MOSFET IRFZ44N, dengan nilai  $V_{\text{DM,MAX}}$  dan nilai  $I_{\text{SM,MAX}}$  memiliki margin yang cukup serta hambatan dalam aktif yang rendah yaitu sebesar  $17,5 \text{ m}\Omega$

## 4. *Driver* MOSFET



*Driver* MOSFET memungkinkan sinyal keluaran digital arus rendah dari Mikrokontroler untuk menggerakkan gerbang MOSFET. Sinyal digital 5 volt dapat mengganti MOSFET tegangan tinggi menggunakan driver. Desain menggunakan driver setengah gelombang IC IR2104. IC mengambil sinyal PWM yang masuk dari Mikrokontroler, dan kemudian menggerakkan dua output untuk MOSFET Sisi Tinggi dan Rendah.

### 3.4.3 Flowchart MPPT Perturb and Observe (P&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  $V$ . 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 ( $\Delta V = V(t) - V(t-1)$ ). Setelah melakukan perhitungan selisih daya dan selisih tegangan maka selanjutnya proses pengambilan keputusan apakah nilai selisih daya sama dengan nol, jika selisih daya ( $\Delta P$ ) sama dengan nol maka sistem akan kembali dari awal (return). Namun jika selisih daya ( $\Delta P$ ) tidak sama dengan nol maka sistem akan melakukan pengambilan keputusan lagi yaitu jika selisih daya ( $\Delta P$ ) lebih dari nol dan selisih tegangan ( $\Delta V$ ) juga lebih dari nol maka harus decrease PWM, jika selisih daya ( $\Delta P$ ) lebih dari nol dan selisih tegangan ( $\Delta V$ ) kurang dari nol maka keluaran harus increase PWM. Kemudian jika selisih daya ( $\Delta P$ ) kurang dari nol dan selisih tegangan ( $\Delta V$ ) lebih dari nol maka keluaran harus increase PWM dan jika selisih daya ( $\Delta P$ ) dan selisih tegangan ( $\Delta V$ ) 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 *Synchronous buck converter*

#### 3.4.4 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 Voz 12 V dengan kapasitas 12 Ah. Berikut ini merupakan gambar bentuk fisik dari baterai tersebut.



Gambar 3.5 Bentuk Fisik Baterai VRLA

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa penelitian yang berjudul “Optimasi Daya *Solar Cell* menggunakan MPPT untuk *Charging* Baterai VRLA ( *Valve Regulated Lead Acid*) Melalui Synchronous Buck Converter” didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil komparasi *Synchronous Buck Converter* dengan *Buck Converter* konvensional memiliki selisih efisiensi antara keduanya pada duty cycle 50% secara simulasi menggunakan Matlab 2016a sebesar 1.682% lebih besar *Synchronous Buck Converter*
2. Sistem kontrol MPPT menggunakan *Synchronous Buck Converter* dirancang mempunyai efisiensi tertinggi sebesar 99.92% dan efisiensi terendah sebesar 65 % dengan efisiensi rata-rata sebesar 90,35%
3. Hasil rancang bangun *Synchronous Buck Converter* dengan kontrol MPPT menggunakan panel surya *Polycrystalline* 50 WP pada penerapan sistem secara keseluruhan dengan durasi 6 jam atau 360 menit dapat mengisi baterai dengan total 9,80528 Ah.

### 5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, penulis memberikan saran untuk dapat mengembangkan dari penelitian berikutnya. Berikut saran yang dapat disampaikan:

1. Dapat menambahkan beban induktif misal seperti motor dc untuk mengetahui performa dari konverter.
2. Dapat menambahkan interface monitoring alat secara real time.

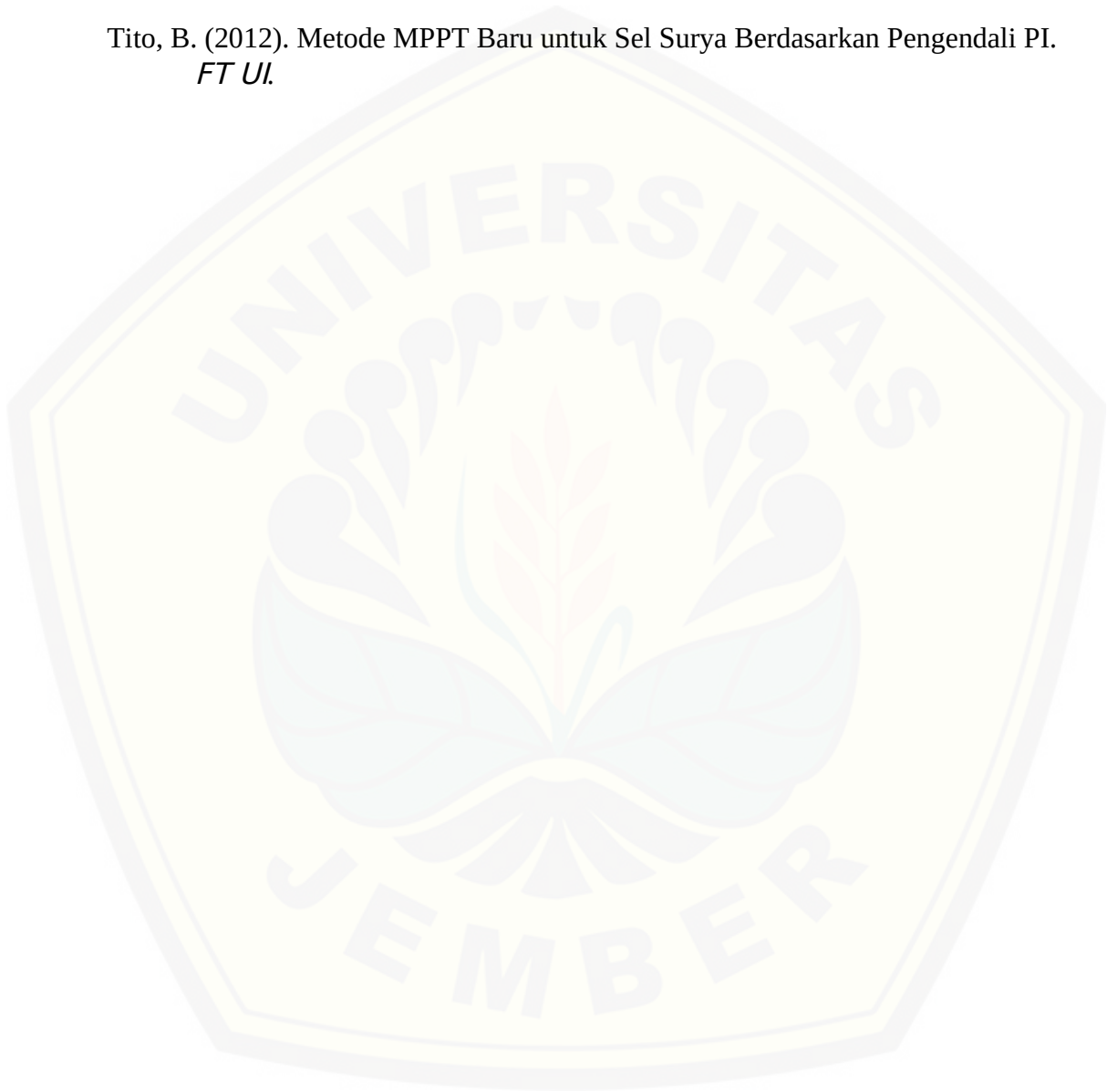
## DAFTAR PUSTAKA

- Adityawan, E. (2010). *Studi Karakteristik Pencatuan Solar Cell Terhadap Kapasitas Sistem Penyimpanan Energi Baterai*. Depok: IT UI.
- Babgei, A. F. (Tanpa Tahun). Rancang Bangun Maximum Power Point Tracker (Mppt) Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode Fuzzy. *Kampus ITS*
- Buwono, M. C. (2010). Rancang Bangun Sistem Pengendali Pengisian Arus Sel Surya Dengan Rekonfigurasi Seri-Paralel. *FT, UI*
- Felix Yustian Setiono, L. H. (Tanpa Tahun). Memaksimalkan Daya Photovoltaic Sebagai Harger Controller. *Universitas Katolik Soegijapranata Semarang*
- Hasan, F. H. (2017). Rancang Bangun Mppt Dengan DC-DC Buck Converter Pada Panel Surya Dengan Beban Pompa Air DC. *FT Unej*
- Jansen, T. J. (1995). *Teknologi rekayasa surya*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- kadir, A. (1995). *Energi : sumber daya, inovasi, tenaga listrik dan potensi ekonomi*. Jakarta: Penerbit UI.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2019). *Statistik Ketenagalistrikan 2018*. Jakarta: Sekretariat Jenderal Ketenagalistrikan.
- Nagulapati Kiran, C. V. (2014). *Improved Dynamic Response of Buck Converter using Fuzzy Control*. Bangalore: Anil Neerukonda Institute of Technology and Management.
- Nanang Hadi Sodikin, A. S. (2015). Rancang Bangun Prototipe Emulator Sel Surya Menggunakan Buck Converter Berbasis Arduino . *ELECTRICIAN*
- Patel, U. S. (2013). Maximum Power Point Tracking using perturb & observe algorithm and compare with another algorithm. *International Journal Of Digital Application & Contemporary Research, India : Raipur Institute Of Technology*.
- Ram Naresh Bharti, R. K. (2014). Modeling and Simulation of Maximum Power Point Tracking for Solar PV System using Perturb and Observe Algorithm. *Computer Science*
- Rismanto Arif Nugroho, M. F. (2014). Memaksimalkan Daya Keluaran Sel Surya Dengan Menggunakan Cermin Pemantul Sinar Matahari (Reflector). *Transien*, 409-414.

Satwiko. (2012, April 14). Uji Karakteristik Sel Surya pada Sistem 24 Volt DC sebagai Catudaya pada Sistem Pembangkit Tenaga Hybrid. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY*

Semiconductor Components Industries. (2013). LC Selection Guide for the DC-DC Synchronous Buck Converter. *AND9135/D*

Tito, B. (2012). Metode MPPT Baru untuk Sel Surya Berdasarkan Pengendali PI. *FT UI*.



**DFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Listing Program Arduino nano

```
#include "TimerOne.h"
#include "LiquidCrystal_I2C.h"
#include "Wire.h"
#define LOAD_ALGORITHM 0
#define SOL_VOLTS_CHAN 0
#define bat_voltsS_CHAN 1
#define BAT_AMPS_CHAN 2
#define SOL_AMPS_CHAN 3
#define AVG_NUM 8
#define SOL_VOLTS_SCALE 0.053650938
#define bat_voltsS_SCALE 0.053650938
#define SOL_AMPS_SCALE 0.07399000
#define BAT_AMPS_SCALE 0.07387251
#define PWM_PIN 9
#define PWM_ENABLE_PIN 8
#define PWM_FULL 1023
#define PWM_MAX 100
#define PWM_MIN 60
#define PWM_START 90
#define PWM_INC 1
#define TRUE 1
#define FALSE 0
#define ON TRUE
#define OFF FALSE
#define TURN_ON_MOSFETS digitalWrite(PWM_ENABLE_PIN, HIGH)
#define TURN_OFF_MOSFETS digitalWrite(PWM_ENABLE_PIN, LOW)
#define ONE_SECOND 50000
```

```
#define LOW_SOL_WATTS 5.00
#define MIN_SOL_WATTS 1.00
#define MIN_bat_voltsS 11.00
#define MAX_bat_voltsS 14.1
#define BATT_FLOAT 14.80
#define HIGH_bat_voltsS 13.00
#define LVD 11.5
#define OFF_NUM 9
#define LED_GREEN 10
#define LED_BLUE 11
#define LED_RED 12
#define LOAD_PIN 5
#define BACK_LIGHT_PIN 6

float sol_amps;
float bat_amps;
float sol_volts;
float bat_voltss;
float sol_watts;
float bat_watts;
float old_sol_watts = 0;
float msec=0;
float last_msec=0;
float elapsed_msec=0;
float elapsed_time=0;
float ampSecs = 0;
float ampHours=0;
float watts=0;
float wattSecs = 0;
float wattHours=0;
unsigned int seconds = 0;
unsigned int prev_seconds = 0;
```



```
unsigned int interrupt_counter = 0;
unsigned long time = 0;
int delta = PWM_INC;
int pwm = 0;
int back_light_pin_State = 0;
boolean load_status = false;
enum charger_mode {off, on, bulk, bat_float} charger_state;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);

void setup()
  pinMode(PWM_ENABLE_PIN, OUTPUT);
  TURN_OFF_MOSFETS;
  charger_state = off;
  lcd.begin(20,4);
  lcd.backlight();
  for (int batchar = 0; batchar < 6; ++batchar)
  {
    lcd.createChar(batchar, battery_icons[batchar]);
  }
  lcd.createChar(LOAD_ICON, _LOAD_icon);
  lcd.createChar(SOLAR_ICON, solar_icon);
  lcd.createChar('\ ', backslash_char);
  lcd.createChar(POW_ICON, energy);
  lcd.createChar(BATT_ICON, battery);
  // lcd.createChar(TEMP_ICON, temp);
  pinMode(LED_RED, OUTPUT);
  pinMode(LED_GREEN, OUTPUT);
  pinMode(LED_BLUE, OUTPUT);
  Timer1.initialize(20);
  Timer1.pwm(PWM_PIN, 0);
  Timer1.attachInterrupt(callback);
  Serial.begin(9600);
```

```
pwm = PWM_START;
pinMode(BACK_LIGHT_PIN, INPUT);
pinMode(LOAD_PIN, OUTPUT);
digitalWrite(LOAD_PIN, LOW);
digitalWrite(BACK_LIGHT_PIN, HIGH);
}

void loop()
{
  disp();
  read_data();
  run_charger();
  power();
  load_control();
  led_output();
  lcd_display();
}

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 read_data(void)
```

```
{
sol_amps = (read_adc(SOL_AMPS_CHAN) * SOL_AMPS_SCALE -37.70);
bat_amps = (read_adc(BAT_AMPS_CHAN) * BAT_AMPS_SCALE -37.70);
sol_volts = read_adc(SOL_VOLTS_CHAN) * SOL_VOLTS_SCALE;
bat_voltss = read_adc(bat_voltsS_CHAN) * bat_voltsS_SCALE;
bat_watts = bat_amps * bat_voltss ;
sol_watts = sol_amps * sol_volts ;
}

void callback()
{
  if (interrupt_counter++ > ONE_SECOND)
  {
    interrupt_counter = 0;
    seconds++;
  }
}

void set_pwm_duty(void)
{
  if (pwm > PWM_MAX)
  {
    pwm = PWM_MAX;
  }
  else if (pwm < PWM_MIN)
  {
    pwm = PWM_MIN;
  }
  if (pwm < PWM_MAX)
  {
    Timer1.pwm(PWM_PIN, (PWM_FULL * (long)pwm / 100), 20);
  }
  else if (pwm == PWM_MAX)
  {

```

```
    Timer1.pwm(PWM_PIN, (PWM_FULL - 1), 20);
}
}
void run_charger(void)
{
    static int off_count = OFF_NUM;
    switch (charger_state)
    {
        case on:
            if (sol_watts < MIN_SOL_WATTS)
            {
                charger_state = off;
                off_count = OFF_NUM; TURN_OFF_MOSFETS;
            }
            else if (bat_voltss > (BATT_FLOAT - 0.1))
            {
                charger_state = bat_float;
            }
            else if (sol_watts < LOW_SOL_WATTS)
            {
                pwm = PWM_MAX;
                set_pwm_duty();
            }
            else
            {
                pwm = ((bat_voltss * 10) / (sol_volts / 10)) + 5;
                charger_state = bulk;
            }
            break;
        case bulk:
            if (sol_watts < MIN_SOL_WATTS) { charger_state = off;
            off_count = OFF_NUM; TURN_OFF_MOSFETS; } else if (bat_voltss >
            BATT_FLOAT)
```

```
{
    charger_state = bat_float;
}

else if (sol_watts < LOW_SOL_WATTS) { charger_state = on;
TURN_ON_MOSFETS; } else { if (old_sol_watts >= sol_watts)
    {
        delta = -delta;
    }
    pwm += delta;
    old_sol_watts = sol_watts;
    set_pwm_duty();
}
break;
case bat_float:
    if (sol_watts < MIN_SOL_WATTS) { charger_state = off;
off_count = OFF_NUM; TURN_OFF_MOSFETS; set_pwm_duty(); } else if
(bat_voltss > BATT_FLOAT)
    {
        TURN_OFF_MOSFETS;
        pwm = PWM_MAX;
        set_pwm_duty();
    }
    else if (bat_voltss < BATT_FLOAT)
    {
        pwm = PWM_MAX;
        set_pwm_duty();
        TURN_ON_MOSFETS;

        if (bat_voltss < (BATT_FLOAT - 0.1)) { charger_state =
bulk; } } break; case off: TURN_OFF_MOSFETS; if (off_count > 0)
    {
        off_count--;
    }
    else if ((bat_voltss > BATT_FLOAT) && (sol_volts >
bat_voltss))
```

```
{
    charger_state = bat_float;
    TURN_ON_MOSFETS;
}
else if ((bat_voltss > MIN_bat_voltsS) && (bat_voltss <
BATT_FLOAT) && (sol_volts > bat_voltss))
{
    charger_state = bulk;
    TURN_ON_MOSFETS;
}
break;
default:
    TURN_OFF_MOSFETS;
    break;
}
}
void power(void)
{
    msec = millis();
    elapsed_msec = msec - last_msec; //Calculate how long has past
since last call of this function
    elapsed_time = elapsed_msec / 1000.0; // 1sec=1000 msec
    watts = bat_amps * bat_voltss; //Watts now
    ampSecs = (bat_amps*elapsed_time); //AmpSecs since last
measurement
    wattSecs = ampSecs * bat_voltss; //WattSecs since last measurement
    ampHours = ampHours + ampSecs/3600; // 1 hour=3600sec //Total
ampHours since program started
    wattHours = wattHours + wattSecs/3600; // 1 hour=3600sec //Total
wattHours since program started
    last_msec = msec; //Store 'now' for next time
}
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////LOAD CONTROL
```

```
void load_control()
{
#if LOAD_ALGORITHM == 0
    load_on(sol_watts < MIN_SOL_WATTS && bat_voltss > LVD);
#else
    load_on(sol_watts > MIN_SOL_WATTS && bat_voltss > BATT_FLOAT);
#endif
}

void load_on(boolean new_status)
{
    if (load_status != new_status)
    {
        load_status = new_status;
        digitalWrite(LOAD_PIN, new_status ? HIGH : LOW);
    }
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////
///////////////////////////////////////////////////////////////// LED INDICATOR

void light_led(char pin)
{
    static char last_lit;
    if (last_lit == pin)
        return;
    if (last_lit != 0)
        digitalWrite(last_lit, HIGH);
    digitalWrite(pin, LOW);
    last_lit = pin;
}

void led_output(void)
{
    static char last_lit;
    if(bat_voltss > 14.1 )
```

```
        light_led(LED_BLUE);
    else if(bat_voltss > 11.9)
        light_led(LED_GREEN);
    else
        light_led(LED_RED);
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//////////////////////////////////////////////////////////////// LCD BUTTON
void lcd_display()
{
    static bool current_backlight_state = -1;
    back_light_pin_State = digitalRead(BACK_LIGHT_PIN);
    if (current_backlight_state != back_light_pin_State)
    {
        current_backlight_state = back_light_pin_State;
        if (back_light_pin_State == HIGH)
            lcd.backlight();
        else
            lcd.noBacklight();
    }
    if (back_light_pin_State == HIGH)
    {
        time = millis();
    }
}
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//////////////////////////////////////////////////////////////// LCD DISPLAY
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.write(SOLAR_ICON);
lcd.setCursor(2, 0);
lcd.print(sol_volts);
lcd.setCursor(8, 0);
lcd.print(sol_amps);
lcd.print("A");
```



```
lcd.setCursor(14, 0);
lcd.print(sol_watts);
lcd.print("W ");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.write(BATT_ICON); //In
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print(bat_voltss);
lcd.setCursor(8,1);
lcd.print(bat_amps);
lcd.print("A");
lcd.setCursor(14,1);
lcd.print(bat_watts);
lcd.print("W ");
lcd.setCursor(0,3);
lcd.write(POW_ICON);
lcd.setCursor(1,3);
lcd.write(POW_ICON);
lcd.setCursor(3,3);
lcd.print(wattHours);
lcd.print("WH");
//lcd.setCursor(14,3);
// lcd.write(TEMP_ICON);
// lcd.print("23");
// lcd.write(0b11011111);
//lcd.print("C");

lcd.setCursor(8, 2);

lcd.write(POW_ICON); //////////////////////////////////////
// ICON 2

int pct = 100.0*(bat_voltss - 11.3)/(12.7 - 11.3);
if (pct < 0) pct = 0; else if (pct > 100)
```

```
pct = 100;

lcd.setCursor(0,2);
lcd.print((char)(pct*5/100));

lcd.setCursor(10,2);////////////////////////////////////
//////// % Batt

pct = pct - (pct%10);
lcd.print(pct);
lcd.print("% ");

lcd.setCursor(2,2);
if (charger_state == on)
lcd.print("On ");
else if (charger_state == off)
lcd.print("Off ");
else if (charger_state == bulk)
lcd.print("bulk ");
else if (charger_state == bat_float)
{
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(10,2);
lcd.print("Float");
}

////////////////////////////////////
//////// LOAD STATUS

lcd.setCursor(14,2);
lcd.write(LOAD_ICON);
lcd.setCursor(16,2);
if (load_status)
{
```

```
        lcd.print("On ");
    }
    else
    {
        lcd.print("Off ");
    }

    //lcd.setCursor(13,0);
    //lcd.print("PWM");
    //lcd.setCursor(16,0);
    // lcd.print(" ");
    // lcd.setCursor(17,0);
    // if( charger_state == off)
    // lcd.print(0);
    //else
    // lcd.print(pwm);
    //lcd.print("% ");

    backlight_timer();
    // delay(1000);
}

void backlight_timer()
{
    if((millis() - time) <= 90000)
        lcd.backlight();
    else
        lcd.noBacklight();
}

void disp()
{
```

```
//=====Serial Monitor=====  
Serial.print("DATA,DATE,TIME,TIMER,");Serial.print(",");  
Serial.print(sol_volts); Serial.print(",");  
Serial.print(bat_voltss) ; Serial.print(",");  
Serial.print(sol_amps); Serial.print(",");  
Serial.print(bat_amps); Serial.print(",");  
Serial.print(sol_watts); Serial.print(",");  
Serial.print(bat_watts); Serial.print(",");  
Serial.print(pwm); Serial.print(",");  
Serial.println(millis());  
  
// delay(50);  
}
```

Lampiran 2 Data hasil pengujian sistem secara keseluruhan

| Pukul (WIB) | Vin (V) | Vout (V) | Iin (A) | Iout (A) | Ppv (W) | MPP (W) | D (%) | $\eta$ | E (Joule) | Wh   |
|-------------|---------|----------|---------|----------|---------|---------|-------|--------|-----------|------|
| 08.01.00    | 17,06   | 12,34    | 0,50    | 0,55     | 8,64    | 6,69    | 82,45 | 0,80   | 66,95     | 0,02 |
| 08.02.00    | 18,76   | 12,20    | 0,85    | 0,97     | 15,88   | 11,81   | 80,03 | 0,75   | 118,10    | 0,03 |
| 08.03.00    | 16,52   | 12,62    | 1,39    | 1,55     | 22,89   | 19,62   | 90,62 | 0,86   | 196,20    | 0,05 |
| 08.04.00    | 16,21   | 12,70    | 1,44    | 1,57     | 23,33   | 19,93   | 91,81 | 0,85   | 199,29    | 0,06 |
| 08.05.00    | 16,21   | 12,74    | 1,45    | 1,60     | 23,53   | 20,33   | 91,87 | 0,86   | 203,32    | 0,06 |
| 08.06.00    | 16,18   | 12,75    | 1,46    | 1,62     | 23,55   | 20,64   | 92,07 | 0,88   | 206,42    | 0,06 |
| 08.07.00    | 16,18   | 12,74    | 1,45    | 1,62     | 23,51   | 20,62   | 92,22 | 0,88   | 206,16    | 0,06 |
| 08.08.00    | 16,15   | 12,77    | 1,46    | 1,64     | 23,56   | 20,89   | 92,41 | 0,89   | 208,90    | 0,06 |
| 08.09.00    | 16,18   | 12,74    | 1,44    | 1,57     | 23,31   | 19,99   | 92,13 | 0,86   | 199,87    | 0,06 |
| 08.10.00    | 16,19   | 12,70    | 1,41    | 1,54     | 22,88   | 19,50   | 92,06 | 0,85   | 195,04    | 0,05 |
| 08.11.00    | 16,13   | 12,78    | 1,45    | 1,62     | 23,31   | 20,65   | 92,44 | 0,89   | 206,47    | 0,06 |
| 08.12.00    | 16,19   | 12,76    | 1,42    | 1,55     | 23,01   | 19,82   | 92,04 | 0,86   | 198,25    | 0,06 |
| 08.13.00    | 16,19   | 12,74    | 1,41    | 1,54     | 22,90   | 19,60   | 92,06 | 0,86   | 196,05    | 0,05 |
| 08.14.00    | 16,18   | 12,76    | 1,41    | 1,55     | 22,85   | 19,73   | 92,25 | 0,86   | 197,32    | 0,05 |
| 08.15.00    | 16,16   | 12,78    | 1,42    | 1,53     | 22,88   | 19,60   | 92,34 | 0,86   | 196,05    | 0,05 |
| 08.16.00    | 16,15   | 12,81    | 1,42    | 1,55     | 22,92   | 19,88   | 92,60 | 0,87   | 198,83    | 0,06 |
| 08.17.00    | 16,15   | 12,84    | 1,42    | 1,57     | 22,98   | 20,17   | 92,67 | 0,88   | 201,70    | 0,06 |
| 08.18.00    | 16,11   | 12,84    | 1,42    | 1,56     | 22,81   | 20,05   | 92,81 | 0,88   | 200,53    | 0,06 |
| 08.19.00    | 16,08   | 12,87    | 1,42    | 1,60     | 22,87   | 20,60   | 93,03 | 0,90   | 205,97    | 0,06 |
| 08.20.00    | 16,15   | 12,90    | 1,42    | 1,57     | 22,91   | 20,32   | 92,87 | 0,89   | 203,18    | 0,06 |
| 08.21.00    | 16,05   | 12,98    | 1,47    | 1,66     | 23,57   | 21,49   | 93,30 | 0,91   | 214,94    | 0,06 |
| 08.22.00    | 16,10   | 12,96    | 1,43    | 1,61     | 23,10   | 20,90   | 93,00 | 0,90   | 208,96    | 0,06 |
| 08.23.00    | 16,10   | 12,99    | 1,44    | 1,62     | 23,14   | 21,06   | 93,47 | 0,91   | 210,55    | 0,06 |
| 08.24.00    | 16,05   | 12,95    | 1,41    | 1,58     | 22,59   | 20,49   | 93,80 | 0,89   | 204,92    | 0,06 |
| 08.25.00    | 16,10   | 12,94    | 1,42    | 1,57     | 22,86   | 20,35   | 93,52 | 0,89   | 203,54    | 0,06 |
| 08.26.00    | 16,06   | 13,05    | 1,49    | 1,77     | 24,01   | 23,12   | 94,01 | 0,96   | 231,22    | 0,06 |
| 08.27.00    | 16,12   | 13,00    | 1,46    | 1,70     | 23,47   | 22,09   | 93,57 | 0,94   | 220,87    | 0,06 |
| 08.28.00    | 16,01   | 12,87    | 1,51    | 1,78     | 24,13   | 22,97   | 94,11 | 0,95   | 229,71    | 0,06 |
| 08.29.00    | 15,90   | 12,94    | 1,59    | 1,90     | 25,26   | 24,61   | 94,90 | 0,96   | 246,11    | 0,07 |
| 08.30.00    | 16,04   | 12,93    | 1,53    | 1,84     | 24,59   | 23,74   | 93,83 | 0,97   | 237,40    | 0,07 |
| 08.31.00    | 16,03   | 12,93    | 1,49    | 1,80     | 23,91   | 23,22   | 93,81 | 0,97   | 232,16    | 0,06 |
| 08.32.00    | 16,06   | 12,98    | 1,55    | 1,86     | 24,92   | 24,20   | 93,65 | 0,96   | 241,98    | 0,07 |
| 08.33.00    | 16,08   | 12,98    | 1,50    | 1,80     | 24,16   | 23,35   | 93,33 | 0,97   | 233,53    | 0,06 |
| 08.34.00    | 16,07   | 13,01    | 1,54    | 1,88     | 24,76   | 24,53   | 93,73 | 0,97   | 245,27    | 0,07 |
| 08.35.00    | 16,03   | 13,04    | 1,61    | 1,93     | 25,76   | 25,16   | 94,12 | 0,98   | 251,65    | 0,07 |
| 08.36.00    | 15,91   | 13,07    | 1,74    | 2,05     | 27,60   | 26,78   | 95,00 | 0,96   | 267,76    | 0,07 |
| 08.37.00    | 16,05   | 13,06    | 1,64    | 1,98     | 26,33   | 25,87   | 94,01 | 0,96   | 258,66    | 0,07 |
| 08.38.00    | 16,02   | 13,07    | 1,70    | 2,02     | 27,17   | 26,37   | 94,46 | 0,97   | 263,71    | 0,07 |

|          |       |       |      |      |       |       |       |      |        |      |
|----------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|--------|------|
| 08.39.00 | 16,09 | 13,07 | 1,67 | 2,01 | 26,82 | 26,30 | 94,09 | 0,98 | 262,96 | 0,07 |
| 08.40.00 | 16,04 | 13,07 | 1,64 | 1,99 | 26,34 | 26,02 | 94,11 | 0,98 | 260,24 | 0,07 |
| 08.41.00 | 15,92 | 13,08 | 1,71 | 2,01 | 27,25 | 26,35 | 94,75 | 0,95 | 263,48 | 0,07 |
| 08.42.00 | 15,90 | 13,08 | 1,73 | 1,99 | 27,45 | 26,03 | 95,08 | 0,95 | 260,33 | 0,07 |
| 08.43.00 | 16,00 | 13,08 | 1,69 | 1,99 | 27,09 | 26,03 | 94,72 | 0,95 | 260,32 | 0,07 |
| 08.44.00 | 15,76 | 13,10 | 1,84 | 2,09 | 29,00 | 27,36 | 95,69 | 0,94 | 273,60 | 0,08 |
| 08.45.00 | 15,86 | 13,10 | 1,74 | 2,03 | 27,50 | 26,61 | 95,05 | 0,95 | 266,10 | 0,07 |
| 08.46.00 | 15,76 | 13,11 | 1,84 | 2,09 | 28,98 | 27,45 | 95,78 | 0,94 | 274,52 | 0,08 |
| 08.47.00 | 15,46 | 13,13 | 2,02 | 2,19 | 31,22 | 28,72 | 97,49 | 0,92 | 287,23 | 0,08 |
| 08.48.00 | 15,44 | 13,14 | 2,05 | 2,21 | 31,57 | 28,97 | 97,62 | 0,92 | 289,66 | 0,08 |
| 08.49.00 | 15,54 | 13,14 | 1,99 | 2,17 | 30,88 | 28,55 | 97,07 | 0,92 | 285,47 | 0,08 |
| 08.50.00 | 15,38 | 13,14 | 2,08 | 2,22 | 31,98 | 29,24 | 97,81 | 0,91 | 292,37 | 0,08 |
| 08.51.00 | 15,27 | 13,16 | 2,12 | 2,26 | 32,40 | 29,76 | 98,53 | 0,92 | 297,58 | 0,08 |
| 08.52.00 | 15,58 | 13,14 | 2,00 | 2,19 | 31,14 | 28,72 | 96,91 | 0,92 | 287,24 | 0,08 |
| 08.53.00 | 15,64 | 13,14 | 1,93 | 2,14 | 30,20 | 28,09 | 96,70 | 0,93 | 280,90 | 0,08 |
| 08.54.00 | 15,62 | 13,14 | 1,92 | 2,11 | 30,03 | 27,77 | 96,76 | 0,93 | 277,68 | 0,08 |
| 08.55.00 | 15,38 | 13,16 | 2,07 | 2,21 | 31,80 | 29,15 | 97,98 | 0,92 | 291,50 | 0,08 |
| 08.56.00 | 15,61 | 13,15 | 1,94 | 2,13 | 30,24 | 27,99 | 96,91 | 0,93 | 279,93 | 0,08 |
| 08.57.00 | 15,59 | 13,14 | 1,82 | 2,09 | 28,37 | 27,41 | 96,70 | 0,97 | 274,10 | 0,08 |
| 08.58.00 | 15,75 | 13,13 | 1,69 | 1,98 | 26,63 | 25,96 | 95,87 | 0,96 | 259,63 | 0,07 |
| 08.59.00 | 16,03 | 13,10 | 1,47 | 1,66 | 23,52 | 21,73 | 94,36 | 0,92 | 217,35 | 0,06 |
| 09.00.00 | 17,28 | 12,59 | 1,23 | 1,20 | 21,21 | 15,16 | 86,73 | 0,72 | 151,60 | 0,04 |
| 09.01.00 | 17,42 | 12,46 | 1,27 | 1,21 | 22,04 | 15,08 | 85,83 | 0,68 | 150,78 | 0,04 |
| 09.02.00 | 17,49 | 12,44 | 1,24 | 1,21 | 21,65 | 15,10 | 85,55 | 0,70 | 150,97 | 0,04 |
| 09.03.00 | 17,34 | 12,47 | 1,26 | 1,17 | 21,85 | 14,64 | 86,34 | 0,67 | 146,38 | 0,04 |
| 09.04.00 | 17,35 | 12,48 | 1,27 | 1,17 | 22,02 | 14,56 | 86,31 | 0,66 | 145,59 | 0,04 |
| 09.05.00 | 17,37 | 12,51 | 1,20 | 1,16 | 20,83 | 14,52 | 86,35 | 0,70 | 145,22 | 0,04 |
| 09.06.00 | 16,66 | 12,83 | 1,25 | 1,30 | 20,78 | 16,72 | 90,73 | 0,80 | 167,24 | 0,05 |
| 09.07.00 | 16,05 | 13,09 | 1,38 | 1,55 | 22,22 | 20,33 | 94,54 | 0,90 | 203,26 | 0,06 |
| 09.08.00 | 15,87 | 13,12 | 1,45 | 1,75 | 22,96 | 22,98 | 95,57 | 0,95 | 229,84 | 0,06 |
| 09.09.00 | 15,79 | 13,14 | 1,49 | 1,91 | 23,59 | 25,05 | 96,09 | 0,94 | 250,54 | 0,07 |
| 09.10.00 | 15,83 | 13,14 | 1,61 | 1,92 | 25,46 | 25,25 | 96,00 | 0,96 | 252,50 | 0,07 |
| 09.11.00 | 15,84 | 13,17 | 1,73 | 2,02 | 27,43 | 26,63 | 96,26 | 0,97 | 266,31 | 0,07 |
| 09.12.00 | 15,62 | 13,21 | 2,00 | 2,18 | 31,22 | 28,77 | 97,50 | 0,92 | 287,65 | 0,08 |
| 09.13.00 | 15,72 | 13,23 | 2,03 | 2,20 | 31,86 | 29,14 | 97,14 | 0,91 | 291,41 | 0,08 |
| 09.14.00 | 15,56 | 13,24 | 2,09 | 2,24 | 32,50 | 29,72 | 97,87 | 0,91 | 297,24 | 0,08 |
| 09.15.00 | 15,46 | 13,25 | 2,12 | 2,27 | 32,79 | 30,07 | 98,17 | 0,92 | 300,67 | 0,08 |
| 09.16.00 | 15,50 | 13,26 | 2,17 | 2,30 | 33,58 | 30,57 | 98,12 | 0,91 | 305,67 | 0,08 |
| 09.17.00 | 15,66 | 13,25 | 2,09 | 2,25 | 32,79 | 29,76 | 97,29 | 0,91 | 297,63 | 0,08 |
| 09.18.00 | 15,70 | 13,25 | 2,04 | 2,22 | 32,07 | 29,42 | 97,09 | 0,92 | 294,23 | 0,08 |

|          |       |       |      |      |       |       |       |      |        |      |
|----------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|--------|------|
| 09.19.00 | 15,89 | 13,25 | 1,99 | 2,17 | 31,58 | 28,77 | 96,21 | 0,91 | 287,68 | 0,08 |
| 09.20.00 | 15,74 | 13,27 | 2,08 | 2,24 | 32,71 | 29,70 | 97,03 | 0,91 | 297,01 | 0,08 |
| 09.21.00 | 15,74 | 13,27 | 2,05 | 2,22 | 32,26 | 29,52 | 97,01 | 0,91 | 295,17 | 0,08 |
| 09.22.00 | 15,71 | 13,28 | 2,10 | 2,25 | 32,94 | 29,91 | 97,16 | 0,91 | 299,13 | 0,08 |
| 09.23.00 | 15,50 | 13,30 | 2,17 | 2,31 | 33,71 | 30,78 | 98,24 | 0,91 | 307,78 | 0,09 |
| 09.24.00 | 15,44 | 13,30 | 2,19 | 2,33 | 33,84 | 30,96 | 98,55 | 0,91 | 309,58 | 0,09 |
| 09.25.00 | 15,60 | 13,30 | 2,15 | 2,29 | 33,50 | 30,41 | 97,99 | 0,91 | 304,07 | 0,08 |
| 09.26.00 | 15,57 | 13,30 | 2,14 | 2,29 | 33,29 | 30,41 | 98,28 | 0,91 | 304,14 | 0,08 |
| 09.27.00 | 15,70 | 13,31 | 2,16 | 2,30 | 33,85 | 30,60 | 97,88 | 0,90 | 306,03 | 0,09 |
| 09.28.00 | 15,42 | 13,33 | 2,19 | 2,32 | 33,69 | 30,96 | 98,06 | 0,92 | 309,60 | 0,09 |
| 09.29.00 | 15,38 | 13,33 | 2,19 | 2,33 | 33,71 | 31,02 | 98,25 | 0,92 | 310,25 | 0,09 |
| 09.30.00 | 15,30 | 13,34 | 2,20 | 2,34 | 33,69 | 31,22 | 98,61 | 0,93 | 312,15 | 0,09 |
| 09.31.00 | 15,32 | 13,34 | 2,20 | 2,34 | 33,72 | 31,17 | 98,54 | 0,92 | 311,69 | 0,09 |
| 09.32.00 | 15,43 | 13,32 | 2,18 | 2,32 | 33,67 | 30,83 | 98,03 | 0,92 | 308,32 | 0,09 |
| 09.33.00 | 15,34 | 13,31 | 2,21 | 2,34 | 33,83 | 31,15 | 98,60 | 0,92 | 311,48 | 0,09 |
| 09.34.00 | 15,30 | 13,31 | 2,20 | 2,34 | 33,63 | 31,14 | 98,69 | 0,93 | 311,37 | 0,09 |
| 09.35.00 | 15,45 | 13,28 | 2,18 | 2,32 | 33,68 | 30,77 | 97,91 | 0,91 | 307,71 | 0,09 |
| 09.36.00 | 15,67 | 13,28 | 2,06 | 2,23 | 32,22 | 29,63 | 97,00 | 0,92 | 296,27 | 0,08 |
| 09.37.00 | 15,61 | 13,21 | 2,18 | 2,27 | 33,98 | 29,94 | 97,41 | 0,88 | 299,41 | 0,08 |
| 09.38.00 | 15,66 | 13,19 | 2,16 | 2,27 | 33,74 | 29,92 | 97,13 | 0,89 | 299,20 | 0,08 |
| 09.39.00 | 15,51 | 13,13 | 2,15 | 2,29 | 33,33 | 30,00 | 97,72 | 0,90 | 300,01 | 0,08 |
| 09.40.00 | 15,42 | 13,08 | 2,21 | 2,33 | 34,08 | 30,43 | 98,35 | 0,89 | 304,30 | 0,08 |
| 09.41.00 | 15,34 | 13,04 | 2,21 | 2,35 | 33,86 | 30,61 | 98,87 | 0,90 | 306,08 | 0,09 |
| 09.42.00 | 15,57 | 13,13 | 2,16 | 2,31 | 33,60 | 30,30 | 98,42 | 0,90 | 303,00 | 0,08 |
| 09.43.00 | 15,72 | 13,15 | 2,13 | 2,28 | 33,40 | 29,99 | 98,06 | 0,90 | 299,94 | 0,08 |
| 09.44.00 | 15,54 | 13,03 | 2,18 | 2,30 | 33,80 | 29,98 | 98,10 | 0,89 | 299,81 | 0,08 |
| 09.45.00 | 15,42 | 13,01 | 2,21 | 2,34 | 34,03 | 30,43 | 98,80 | 0,89 | 304,27 | 0,08 |
| 09.46.00 | 15,37 | 13,01 | 2,20 | 2,34 | 33,88 | 30,46 | 98,92 | 0,90 | 304,59 | 0,08 |
| 09.47.00 | 15,42 | 13,01 | 2,19 | 2,33 | 33,73 | 30,31 | 98,65 | 0,90 | 303,08 | 0,08 |
| 09.48.00 | 15,41 | 13,02 | 2,21 | 2,34 | 34,07 | 30,45 | 98,75 | 0,89 | 304,50 | 0,08 |
| 09.49.00 | 15,38 | 13,03 | 2,21 | 2,34 | 34,05 | 30,46 | 98,91 | 0,89 | 304,59 | 0,08 |
| 09.50.00 | 15,51 | 13,02 | 2,18 | 2,32 | 33,74 | 30,22 | 98,95 | 0,90 | 302,22 | 0,08 |
| 09.51.00 | 15,66 | 13,02 | 2,14 | 2,29 | 33,45 | 29,77 | 98,52 | 0,89 | 297,68 | 0,08 |
| 09.52.00 | 15,59 | 13,01 | 2,15 | 2,29 | 33,50 | 29,84 | 98,86 | 0,89 | 298,40 | 0,08 |
| 09.53.00 | 15,75 | 13,04 | 2,07 | 2,24 | 32,55 | 29,23 | 97,92 | 0,90 | 292,27 | 0,08 |
| 09.54.00 | 15,55 | 13,04 | 2,18 | 2,31 | 33,90 | 30,18 | 98,62 | 0,89 | 301,76 | 0,08 |
| 09.55.00 | 15,50 | 13,05 | 2,17 | 2,31 | 33,57 | 30,15 | 98,40 | 0,90 | 301,48 | 0,08 |
| 09.56.00 | 15,46 | 13,04 | 2,15 | 2,30 | 33,23 | 29,95 | 98,52 | 0,90 | 299,48 | 0,08 |
| 09.57.00 | 15,50 | 13,06 | 2,19 | 2,33 | 34,01 | 30,38 | 98,58 | 0,89 | 303,76 | 0,08 |
| 09.58.00 | 15,50 | 13,06 | 2,20 | 2,33 | 34,06 | 30,49 | 98,54 | 0,90 | 304,90 | 0,08 |

|          |       |       |      |      |       |       |       |      |        |      |
|----------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|--------|------|
| 09.59.00 | 15,45 | 13,06 | 2,20 | 2,33 | 33,94 | 30,49 | 98,77 | 0,90 | 304,94 | 0,08 |
| 10.00.00 | 15,60 | 13,06 | 2,13 | 2,29 | 33,24 | 29,87 | 98,36 | 0,90 | 298,70 | 0,08 |
| 10.01.00 | 15,85 | 13,08 | 2,04 | 2,21 | 32,26 | 28,92 | 98,16 | 0,90 | 289,17 | 0,08 |
| 10.02.00 | 16,02 | 13,08 | 1,81 | 2,04 | 29,01 | 26,71 | 97,58 | 0,92 | 267,08 | 0,07 |
| 10.03.00 | 15,84 | 13,11 | 2,01 | 2,18 | 31,78 | 28,62 | 98,79 | 0,90 | 286,19 | 0,08 |
| 10.04.00 | 15,94 | 13,11 | 1,95 | 2,14 | 31,12 | 28,06 | 98,28 | 0,90 | 280,63 | 0,08 |
| 10.05.00 | 15,91 | 13,11 | 1,94 | 2,15 | 30,90 | 28,15 | 98,33 | 0,91 | 281,48 | 0,08 |
| 10.06.00 | 16,00 | 13,10 | 1,83 | 2,07 | 29,31 | 27,09 | 97,84 | 0,92 | 270,89 | 0,08 |
| 10.07.00 | 15,95 | 13,12 | 1,97 | 2,17 | 31,43 | 28,52 | 98,63 | 0,91 | 285,25 | 0,08 |
| 10.08.00 | 15,96 | 13,12 | 1,95 | 2,14 | 31,05 | 28,04 | 98,33 | 0,90 | 280,40 | 0,08 |
| 10.09.00 | 15,83 | 13,14 | 2,01 | 2,20 | 31,75 | 28,84 | 98,33 | 0,91 | 288,44 | 0,08 |
| 10.10.00 | 15,75 | 13,13 | 1,83 | 1,97 | 28,75 | 25,88 | 97,64 | 0,90 | 258,85 | 0,07 |
| 10.11.00 | 15,97 | 13,00 | 1,43 | 1,58 | 22,57 | 20,66 | 95,20 | 0,91 | 206,58 | 0,06 |
| 10.12.00 | 17,27 | 12,67 | 0,62 | 0,70 | 10,80 | 8,86  | 85,41 | 0,83 | 88,61  | 0,02 |
| 10.13.00 | 16,61 | 13,01 | 1,40 | 1,48 | 22,78 | 19,37 | 91,86 | 0,86 | 193,67 | 0,05 |
| 10.14.00 | 16,31 | 13,15 | 1,92 | 1,99 | 30,96 | 26,18 | 95,14 | 0,84 | 261,85 | 0,07 |
| 10.15.00 | 15,89 | 13,14 | 2,18 | 2,29 | 34,64 | 30,14 | 98,62 | 0,87 | 301,42 | 0,08 |
| 10.16.00 | 16,01 | 13,12 | 2,10 | 2,26 | 33,57 | 29,65 | 98,59 | 0,88 | 296,53 | 0,08 |
| 10.17.00 | 16,03 | 13,12 | 2,03 | 2,21 | 32,61 | 29,02 | 98,14 | 0,89 | 290,20 | 0,08 |
| 10.18.00 | 16,09 | 13,11 | 1,96 | 2,16 | 31,60 | 28,29 | 97,60 | 0,90 | 282,86 | 0,08 |
| 10.19.00 | 16,03 | 13,13 | 2,04 | 2,22 | 32,70 | 29,10 | 98,34 | 0,89 | 291,02 | 0,08 |
| 10.20.00 | 16,08 | 13,12 | 1,99 | 2,18 | 32,05 | 28,58 | 97,92 | 0,89 | 285,84 | 0,08 |
| 10.21.00 | 16,00 | 13,13 | 2,04 | 2,21 | 32,60 | 29,01 | 98,35 | 0,89 | 290,10 | 0,08 |
| 10.22.00 | 15,93 | 13,13 | 2,00 | 2,18 | 31,82 | 28,63 | 98,63 | 0,90 | 286,31 | 0,08 |
| 10.23.00 | 15,97 | 13,12 | 1,98 | 2,17 | 31,66 | 28,45 | 98,64 | 0,90 | 284,55 | 0,08 |
| 10.24.00 | 15,94 | 13,12 | 1,90 | 2,14 | 30,32 | 28,14 | 98,70 | 0,93 | 281,35 | 0,08 |
| 10.25.00 | 15,94 | 13,12 | 1,87 | 2,13 | 29,81 | 27,88 | 98,61 | 0,94 | 278,81 | 0,08 |
| 10.26.00 | 16,04 | 13,12 | 1,88 | 2,11 | 30,11 | 27,63 | 98,31 | 0,92 | 276,31 | 0,08 |
| 10.27.00 | 16,04 | 13,13 | 1,91 | 2,14 | 30,66 | 28,09 | 98,60 | 0,92 | 280,93 | 0,08 |
| 10.28.00 | 16,03 | 13,13 | 1,90 | 2,13 | 30,41 | 27,95 | 98,76 | 0,92 | 279,51 | 0,08 |
| 10.29.00 | 16,03 | 13,15 | 1,95 | 2,16 | 31,23 | 28,46 | 98,72 | 0,91 | 284,56 | 0,08 |
| 10.30.00 | 16,12 | 13,19 | 2,09 | 2,26 | 33,71 | 29,79 | 98,57 | 0,88 | 297,94 | 0,08 |
| 10.31.00 | 16,01 | 13,16 | 1,76 | 1,96 | 28,18 | 25,75 | 98,35 | 0,92 | 257,45 | 0,07 |
| 10.32.00 | 16,05 | 13,20 | 1,92 | 2,07 | 30,88 | 27,35 | 98,30 | 0,89 | 273,50 | 0,08 |
| 10.33.00 | 16,06 | 13,19 | 2,02 | 2,22 | 32,39 | 29,24 | 98,64 | 0,90 | 292,40 | 0,08 |
| 10.34.00 | 16,06 | 13,17 | 1,94 | 2,13 | 31,09 | 28,07 | 98,52 | 0,91 | 280,68 | 0,08 |
| 10.35.00 | 16,18 | 12,86 | 0,60 | 0,70 | 9,59  | 9,11  | 90,62 | 0,95 | 91,10  | 0,03 |
| 10.36.00 | 16,62 | 12,55 | 0,36 | 0,46 | 5,90  | 5,75  | 88,29 | 0,96 | 57,50  | 0,02 |
| 10.37.00 | 17,37 | 12,59 | 0,47 | 0,57 | 8,21  | 7,17  | 85,66 | 0,87 | 71,69  | 0,02 |
| 10.38.00 | 16,63 | 13,10 | 1,61 | 1,76 | 26,35 | 23,10 | 94,24 | 0,88 | 230,95 | 0,06 |



|          |       |       |      |      |       |       |       |      |        |      |
|----------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|--------|------|
| 10.39.00 | 16,15 | 13,21 | 2,14 | 2,26 | 34,58 | 29,93 | 98,44 | 0,87 | 299,27 | 0,08 |
| 10.40.00 | 16,12 | 13,20 | 2,03 | 2,19 | 32,78 | 28,96 | 98,25 | 0,88 | 289,59 | 0,08 |
| 10.41.00 | 16,21 | 13,22 | 2,07 | 2,24 | 33,46 | 29,58 | 98,25 | 0,88 | 295,80 | 0,08 |
| 10.42.00 | 16,16 | 13,22 | 2,09 | 2,26 | 33,81 | 29,85 | 98,69 | 0,88 | 298,46 | 0,08 |
| 10.43.00 | 16,19 | 13,23 | 2,10 | 2,25 | 33,94 | 29,82 | 98,58 | 0,88 | 298,20 | 0,08 |
| 10.44.00 | 16,18 | 13,24 | 2,11 | 2,27 | 34,11 | 30,07 | 98,77 | 0,88 | 300,67 | 0,08 |
| 10.45.00 | 16,18 | 13,22 | 2,06 | 2,22 | 33,32 | 29,38 | 98,51 | 0,88 | 293,79 | 0,08 |
| 10.46.00 | 16,17 | 13,23 | 2,05 | 2,22 | 33,20 | 29,37 | 98,51 | 0,88 | 293,71 | 0,08 |
| 10.47.00 | 16,09 | 13,23 | 1,96 | 2,14 | 31,58 | 28,29 | 98,83 | 0,90 | 282,92 | 0,08 |
| 10.48.00 | 16,74 | 13,05 | 0,45 | 0,56 | 7,38  | 7,33  | 90,00 | 0,97 | 73,30  | 0,02 |
| 10.49.00 | 17,16 | 12,86 | 0,41 | 0,50 | 7,02  | 6,38  | 86,65 | 0,91 | 63,79  | 0,02 |
| 10.50.00 | 16,78 | 13,09 | 0,98 | 1,08 | 16,17 | 14,23 | 91,36 | 0,88 | 142,31 | 0,04 |
| 10.51.00 | 16,18 | 13,18 | 1,26 | 1,36 | 20,44 | 17,89 | 95,27 | 0,87 | 178,95 | 0,05 |
| 10.52.00 | 16,42 | 13,20 | 1,37 | 1,51 | 22,38 | 19,97 | 94,30 | 0,89 | 199,74 | 0,06 |
| 10.53.00 | 17,15 | 12,98 | 0,44 | 0,50 | 7,52  | 6,54  | 85,73 | 0,87 | 65,43  | 0,02 |
| 10.54.00 | 16,70 | 13,16 | 1,66 | 1,62 | 27,25 | 21,47 | 93,70 | 0,80 | 214,75 | 0,06 |
| 10.55.00 | 16,27 | 13,34 | 2,29 | 2,17 | 37,32 | 28,92 | 98,51 | 0,78 | 289,22 | 0,08 |
| 10.56.00 | 16,24 | 13,33 | 2,26 | 2,19 | 36,64 | 29,16 | 98,60 | 0,80 | 291,64 | 0,08 |
| 10.57.00 | 16,22 | 13,33 | 2,21 | 2,24 | 35,91 | 29,79 | 98,53 | 0,83 | 297,90 | 0,08 |
| 10.58.00 | 16,67 | 13,25 | 1,44 | 1,50 | 23,63 | 19,91 | 93,59 | 0,86 | 199,12 | 0,06 |
| 10.59.00 | 16,81 | 13,21 | 1,52 | 1,53 | 25,01 | 20,32 | 93,05 | 0,83 | 203,22 | 0,06 |
| 11.00.00 | 16,23 | 13,32 | 2,20 | 2,25 | 35,78 | 30,00 | 98,84 | 0,84 | 299,98 | 0,08 |
| 11.01.00 | 16,22 | 13,29 | 2,01 | 2,15 | 32,54 | 28,60 | 98,51 | 0,88 | 285,98 | 0,08 |
| 11.02.00 | 16,70 | 13,14 | 0,61 | 0,76 | 10,07 | 9,98  | 91,19 | 0,93 | 99,78  | 0,03 |
| 11.03.00 | 17,39 | 13,05 | 0,45 | 0,53 | 7,83  | 6,90  | 85,59 | 0,88 | 68,98  | 0,02 |
| 11.04.00 | 17,41 | 13,04 | 0,49 | 0,57 | 8,61  | 7,44  | 85,54 | 0,87 | 74,44  | 0,02 |
| 11.05.00 | 16,29 | 13,30 | 2,20 | 2,15 | 35,78 | 28,66 | 98,20 | 0,80 | 286,58 | 0,08 |
| 11.06.00 | 16,25 | 13,35 | 2,23 | 2,23 | 36,17 | 29,73 | 98,82 | 0,82 | 297,33 | 0,08 |
| 11.07.00 | 16,26 | 13,38 | 2,17 | 2,29 | 35,28 | 30,63 | 98,96 | 0,87 | 306,27 | 0,09 |
| 11.08.00 | 16,26 | 13,38 | 2,13 | 2,29 | 34,63 | 30,62 | 98,91 | 0,88 | 306,21 | 0,09 |
| 11.09.00 | 16,28 | 13,35 | 2,03 | 2,19 | 33,06 | 29,31 | 98,30 | 0,89 | 293,08 | 0,08 |
| 11.10.00 | 16,23 | 13,35 | 2,07 | 2,24 | 33,57 | 29,94 | 98,62 | 0,89 | 299,43 | 0,08 |
| 11.11.00 | 16,23 | 13,33 | 1,89 | 2,14 | 30,73 | 28,51 | 98,49 | 0,93 | 285,12 | 0,08 |
| 11.12.00 | 16,32 | 13,32 | 1,74 | 1,97 | 28,39 | 26,21 | 97,88 | 0,92 | 262,12 | 0,07 |
| 11.13.00 | 16,26 | 13,34 | 1,87 | 2,07 | 30,44 | 27,64 | 98,89 | 0,91 | 276,36 | 0,08 |
| 11.14.00 | 16,26 | 13,33 | 1,78 | 2,01 | 28,95 | 26,79 | 98,45 | 0,93 | 267,88 | 0,07 |
| 11.15.00 | 16,19 | 13,34 | 1,85 | 2,08 | 29,93 | 27,75 | 98,94 | 0,93 | 277,47 | 0,08 |
| 11.16.00 | 16,23 | 13,33 | 1,81 | 2,04 | 29,38 | 27,19 | 98,34 | 0,93 | 271,91 | 0,08 |
| 11.17.00 | 16,21 | 13,34 | 1,86 | 2,08 | 30,10 | 27,71 | 98,42 | 0,92 | 277,10 | 0,08 |
| 11.18.00 | 16,17 | 13,35 | 1,91 | 2,12 | 30,90 | 28,31 | 98,93 | 0,92 | 283,09 | 0,08 |

|          |       |       |      |      |       |       |       |      |        |      |
|----------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|--------|------|
| 11.19.00 | 16,19 | 13,35 | 1,82 | 2,06 | 29,54 | 27,52 | 98,59 | 0,93 | 275,18 | 0,08 |
| 11.20.00 | 16,31 | 13,34 | 1,72 | 1,96 | 28,09 | 26,10 | 97,97 | 0,93 | 261,03 | 0,07 |
| 11.21.00 | 16,25 | 13,36 | 1,76 | 2,02 | 28,53 | 26,98 | 98,63 | 0,95 | 269,79 | 0,07 |
| 11.22.00 | 16,23 | 13,35 | 1,73 | 2,01 | 28,07 | 26,86 | 98,44 | 0,96 | 268,56 | 0,07 |
| 11.23.00 | 16,26 | 13,33 | 1,63 | 1,92 | 26,55 | 25,63 | 98,51 | 0,97 | 256,25 | 0,07 |
| 11.24.00 | 16,23 | 13,33 | 1,67 | 1,98 | 27,08 | 26,45 | 98,59 | 0,98 | 264,49 | 0,07 |
| 11.25.00 | 16,20 | 13,34 | 1,69 | 2,02 | 27,41 | 27,01 | 98,73 | 0,97 | 270,14 | 0,08 |
| 11.26.00 | 16,19 | 13,34 | 1,68 | 2,02 | 27,16 | 27,01 | 98,69 | 0,97 | 270,10 | 0,08 |
| 11.27.00 | 16,21 | 13,35 | 1,64 | 1,98 | 26,59 | 26,43 | 98,33 | 0,98 | 264,35 | 0,07 |
| 11.28.00 | 16,20 | 13,36 | 1,69 | 2,03 | 27,41 | 27,17 | 98,92 | 0,98 | 271,72 | 0,08 |
| 11.29.00 | 16,14 | 13,21 | 1,27 | 1,42 | 20,50 | 18,77 | 97,72 | 0,89 | 187,68 | 0,05 |
| 11.30.00 | 16,20 | 13,27 | 1,38 | 1,60 | 22,36 | 21,28 | 98,01 | 0,95 | 212,78 | 0,06 |
| 11.31.00 | 16,22 | 13,34 | 1,61 | 1,98 | 26,17 | 26,41 | 98,83 | 0,95 | 264,12 | 0,07 |
| 11.32.00 | 16,28 | 13,33 | 1,56 | 1,91 | 25,46 | 25,48 | 98,41 | 0,96 | 254,84 | 0,07 |
| 11.33.00 | 16,22 | 13,36 | 1,62 | 2,01 | 26,32 | 26,87 | 98,83 | 0,95 | 268,72 | 0,07 |
| 11.34.00 | 16,25 | 13,36 | 1,61 | 1,95 | 26,18 | 26,04 | 98,53 | 0,97 | 260,39 | 0,07 |
| 11.35.00 | 16,34 | 13,37 | 1,67 | 1,95 | 27,24 | 26,07 | 98,06 | 0,95 | 260,72 | 0,07 |
| 11.36.00 | 16,21 | 13,36 | 1,66 | 1,88 | 26,97 | 25,12 | 98,51 | 0,92 | 251,16 | 0,07 |
| 11.37.00 | 16,02 | 13,20 | 1,00 | 1,13 | 16,02 | 14,94 | 96,30 | 0,91 | 149,44 | 0,04 |
| 11.38.00 | 17,12 | 13,17 | 0,42 | 0,51 | 7,13  | 6,67  | 87,22 | 0,92 | 66,67  | 0,02 |
| 11.39.00 | 17,19 | 13,13 | 0,40 | 0,48 | 6,87  | 6,26  | 86,97 | 0,91 | 62,61  | 0,02 |
| 11.40.00 | 17,23 | 13,10 | 0,42 | 0,49 | 7,32  | 6,45  | 84,84 | 0,88 | 64,46  | 0,02 |
| 11.41.00 | 17,20 | 13,10 | 0,42 | 0,48 | 7,16  | 6,33  | 86,52 | 0,88 | 63,30  | 0,02 |
| 11.42.00 | 17,24 | 13,13 | 0,63 | 0,70 | 10,74 | 9,18  | 86,56 | 0,87 | 91,80  | 0,03 |
| 11.43.00 | 16,28 | 13,44 | 2,19 | 2,26 | 35,59 | 30,35 | 98,53 | 0,85 | 303,55 | 0,08 |
| 11.44.00 | 16,25 | 13,49 | 2,15 | 2,29 | 34,95 | 30,91 | 98,57 | 0,88 | 309,07 | 0,09 |
| 11.45.00 | 16,31 | 13,50 | 2,07 | 2,23 | 33,74 | 30,11 | 98,38 | 0,89 | 301,15 | 0,08 |
| 11.46.00 | 16,31 | 13,46 | 1,82 | 2,06 | 29,72 | 27,72 | 98,22 | 0,92 | 277,21 | 0,08 |
| 11.47.00 | 16,22 | 13,40 | 1,56 | 1,90 | 25,24 | 25,46 | 98,45 | 0,95 | 254,62 | 0,07 |
| 11.48.00 | 16,19 | 13,33 | 1,36 | 1,59 | 22,09 | 21,18 | 98,07 | 0,94 | 211,80 | 0,06 |
| 11.49.00 | 16,25 | 13,40 | 1,66 | 1,84 | 26,94 | 24,70 | 98,19 | 0,90 | 247,00 | 0,07 |
| 11.50.00 | 16,25 | 13,42 | 1,72 | 1,92 | 27,92 | 25,78 | 98,33 | 0,92 | 257,79 | 0,07 |
| 11.51.00 | 16,09 | 13,24 | 1,33 | 1,42 | 21,47 | 18,89 | 97,57 | 0,87 | 188,85 | 0,05 |
| 11.52.00 | 16,21 | 13,32 | 1,67 | 1,75 | 27,10 | 23,41 | 97,47 | 0,85 | 234,06 | 0,07 |
| 11.53.00 | 16,20 | 13,08 | 1,16 | 1,25 | 18,82 | 16,29 | 95,53 | 0,87 | 162,87 | 0,05 |
| 11.54.00 | 16,31 | 13,21 | 1,06 | 1,18 | 17,26 | 15,58 | 94,38 | 0,90 | 155,77 | 0,04 |
| 11.55.00 | 16,40 | 13,25 | 1,05 | 1,18 | 17,25 | 15,63 | 93,71 | 0,91 | 156,27 | 0,04 |
| 11.56.00 | 16,34 | 13,05 | 1,24 | 1,21 | 20,27 | 15,84 | 94,69 | 0,78 | 158,42 | 0,04 |
| 11.57.00 | 16,37 | 13,05 | 1,21 | 1,24 | 19,85 | 16,20 | 94,36 | 0,82 | 162,05 | 0,05 |
| 11.58.00 | 16,47 | 13,08 | 1,24 | 1,18 | 20,41 | 15,46 | 94,16 | 0,76 | 154,58 | 0,04 |

|          |       |       |      |      |       |       |       |      |        |      |
|----------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|--------|------|
| 11.59.00 | 16,48 | 13,04 | 1,22 | 1,28 | 20,14 | 16,67 | 93,63 | 0,83 | 166,69 | 0,05 |
| 12.00.00 | 16,47 | 13,03 | 1,21 | 1,29 | 19,86 | 16,83 | 93,44 | 0,85 | 168,27 | 0,05 |
| 12.01.00 | 16,36 | 13,10 | 1,26 | 1,27 | 20,56 | 16,70 | 94,99 | 0,81 | 166,97 | 0,05 |
| 12.02.00 | 16,34 | 13,39 | 1,65 | 1,68 | 26,92 | 22,56 | 96,90 | 0,84 | 225,64 | 0,06 |
| 12.03.00 | 16,27 | 13,94 | 2,28 | 2,16 | 37,16 | 30,17 | 98,74 | 0,81 | 301,66 | 0,08 |
| 12.04.00 | 16,26 | 13,75 | 2,09 | 2,12 | 34,01 | 29,14 | 98,51 | 0,86 | 291,40 | 0,08 |
| 12.05.00 | 16,30 | 13,56 | 1,83 | 2,03 | 29,85 | 27,60 | 98,06 | 0,93 | 275,98 | 0,08 |
| 12.06.00 | 16,58 | 13,26 | 1,16 | 1,27 | 19,11 | 16,96 | 93,46 | 0,89 | 169,59 | 0,05 |
| 12.07.00 | 17,55 | 13,23 | 0,44 | 0,52 | 7,64  | 6,91  | 82,59 | 0,90 | 69,10  | 0,02 |
| 12.08.00 | 16,20 | 13,47 | 2,04 | 2,04 | 33,12 | 27,49 | 98,10 | 0,84 | 274,95 | 0,08 |
| 12.09.00 | 16,24 | 13,56 | 2,19 | 2,28 | 35,64 | 30,85 | 98,73 | 0,87 | 308,46 | 0,09 |
| 12.10.00 | 16,35 | 13,34 | 1,35 | 1,53 | 22,09 | 20,48 | 96,06 | 0,92 | 204,79 | 0,06 |
| 12.11.00 | 17,25 | 13,24 | 0,40 | 0,50 | 6,90  | 6,56  | 86,63 | 0,94 | 65,56  | 0,02 |
| 12.12.00 | 17,56 | 13,18 | 0,71 | 0,77 | 12,64 | 10,18 | 86,53 | 0,85 | 101,78 | 0,03 |
| 12.13.00 | 16,99 | 13,17 | 0,35 | 0,47 | 5,96  | 6,15  | 88,83 | 0,94 | 61,49  | 0,02 |
| 12.14.00 | 16,62 | 13,13 | 0,35 | 0,46 | 5,83  | 6,03  | 88,64 | 0,94 | 60,30  | 0,02 |
| 12.15.00 | 16,59 | 13,12 | 0,35 | 0,45 | 5,79  | 5,96  | 88,71 | 0,94 | 59,58  | 0,02 |
| 12.16.00 | 16,86 | 13,12 | 0,35 | 0,46 | 5,94  | 6,07  | 88,69 | 0,94 | 60,66  | 0,02 |
| 12.17.00 | 16,86 | 13,12 | 0,37 | 0,48 | 6,20  | 6,25  | 87,92 | 0,95 | 62,49  | 0,02 |
| 12.18.00 | 16,84 | 13,11 | 0,36 | 0,47 | 6,10  | 6,20  | 88,47 | 0,95 | 61,96  | 0,02 |
| 12.19.00 | 16,90 | 13,10 | 0,36 | 0,47 | 6,05  | 6,17  | 87,64 | 0,95 | 61,74  | 0,02 |
| 12.20.00 | 16,88 | 13,10 | 0,35 | 0,47 | 5,94  | 6,17  | 88,69 | 0,94 | 61,72  | 0,02 |
| 12.21.00 | 16,93 | 13,10 | 0,37 | 0,48 | 6,26  | 6,24  | 86,65 | 0,96 | 62,41  | 0,02 |
| 12.22.00 | 16,84 | 13,10 | 0,37 | 0,48 | 6,29  | 6,32  | 87,63 | 0,96 | 63,17  | 0,02 |
| 12.23.00 | 16,67 | 13,10 | 0,40 | 0,50 | 6,61  | 6,54  | 88,51 | 0,95 | 65,42  | 0,02 |
| 12.24.00 | 16,98 | 13,11 | 0,40 | 0,50 | 6,76  | 6,55  | 87,86 | 0,96 | 65,48  | 0,02 |
| 12.25.00 | 17,22 | 13,11 | 0,40 | 0,50 | 6,92  | 6,52  | 86,36 | 0,94 | 65,19  | 0,02 |
| 12.26.00 | 17,25 | 13,12 | 0,41 | 0,50 | 7,05  | 6,55  | 86,16 | 0,93 | 65,45  | 0,02 |
| 12.27.00 | 17,25 | 13,12 | 0,41 | 0,50 | 7,07  | 6,57  | 86,07 | 0,93 | 65,73  | 0,02 |
| 12.28.00 | 17,14 | 13,13 | 0,43 | 0,51 | 7,39  | 6,67  | 85,95 | 0,90 | 66,74  | 0,02 |
| 12.29.00 | 17,22 | 13,14 | 0,43 | 0,52 | 7,48  | 6,81  | 85,77 | 0,91 | 68,10  | 0,02 |
| 12.30.00 | 17,42 | 13,14 | 0,44 | 0,53 | 7,62  | 6,98  | 84,27 | 0,92 | 69,78  | 0,02 |
| 12.31.00 | 17,47 | 13,15 | 0,47 | 0,56 | 8,15  | 7,38  | 84,82 | 0,91 | 73,75  | 0,02 |
| 12.32.00 | 17,70 | 13,16 | 0,48 | 0,56 | 8,53  | 7,42  | 84,62 | 0,87 | 74,21  | 0,02 |
| 12.33.00 | 17,76 | 13,16 | 0,48 | 0,56 | 8,60  | 7,43  | 84,64 | 0,86 | 74,35  | 0,02 |
| 12.34.00 | 17,92 | 13,15 | 0,45 | 0,54 | 8,08  | 7,16  | 81,65 | 0,89 | 71,56  | 0,02 |
| 12.35.00 | 18,00 | 13,16 | 0,49 | 0,57 | 8,89  | 7,56  | 84,75 | 0,85 | 75,56  | 0,02 |
| 12.36.00 | 18,15 | 13,17 | 0,50 | 0,57 | 9,05  | 7,56  | 84,55 | 0,84 | 75,56  | 0,02 |
| 12.37.00 | 18,17 | 13,17 | 0,50 | 0,57 | 9,06  | 7,55  | 84,39 | 0,83 | 75,46  | 0,02 |
| 12.38.00 | 18,11 | 13,18 | 0,50 | 0,57 | 9,00  | 7,58  | 84,52 | 0,84 | 75,76  | 0,02 |

|          |       |       |      |      |       |       |       |      |        |      |
|----------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|--------|------|
| 12.39.00 | 18,07 | 13,18 | 0,49 | 0,57 | 8,92  | 7,56  | 84,61 | 0,85 | 75,58  | 0,02 |
| 12.40.00 | 17,91 | 13,22 | 0,86 | 0,95 | 15,13 | 12,61 | 86,61 | 0,85 | 126,07 | 0,04 |
| 12.41.00 | 16,38 | 13,64 | 2,19 | 2,25 | 35,91 | 30,64 | 98,01 | 0,85 | 306,40 | 0,09 |
| 12.42.00 | 16,50 | 13,35 | 1,47 | 1,56 | 24,32 | 20,97 | 96,00 | 0,86 | 209,72 | 0,06 |
| 12.43.00 | 16,57 | 13,12 | 1,21 | 1,22 | 20,10 | 16,06 | 93,94 | 0,80 | 160,59 | 0,04 |
| 12.44.00 | 16,63 | 13,25 | 1,19 | 1,22 | 19,74 | 16,17 | 94,94 | 0,82 | 161,66 | 0,04 |
| 12.45.00 | 17,06 | 13,15 | 0,86 | 0,96 | 14,54 | 12,60 | 90,86 | 0,87 | 125,99 | 0,03 |
| 12.46.00 | 16,96 | 13,39 | 1,35 | 1,62 | 22,45 | 21,74 | 93,66 | 0,91 | 217,40 | 0,06 |
| 12.47.00 | 16,38 | 13,62 | 1,98 | 2,19 | 32,40 | 29,79 | 98,20 | 0,92 | 297,86 | 0,08 |
| 12.48.00 | 16,31 | 13,44 | 1,51 | 1,64 | 24,57 | 22,09 | 97,49 | 0,89 | 220,91 | 0,06 |
| 12.49.00 | 16,32 | 13,37 | 1,45 | 1,67 | 23,68 | 22,38 | 96,94 | 0,92 | 223,78 | 0,06 |
| 12.50.00 | 17,53 | 13,21 | 0,47 | 0,60 | 8,20  | 7,85  | 82,86 | 0,92 | 78,49  | 0,02 |
| 12.51.00 | 18,11 | 13,18 | 0,37 | 0,46 | 6,75  | 6,06  | 77,00 | 0,90 | 60,63  | 0,02 |
| 12.52.00 | 17,70 | 13,18 | 0,43 | 0,52 | 7,56  | 6,87  | 81,03 | 0,91 | 68,74  | 0,02 |
| 12.53.00 | 17,74 | 13,21 | 0,48 | 0,57 | 8,47  | 7,46  | 84,84 | 0,88 | 74,62  | 0,02 |
| 12.54.00 | 17,42 | 13,32 | 1,27 | 1,40 | 21,62 | 18,71 | 90,44 | 0,86 | 187,08 | 0,05 |
| 12.55.00 | 16,20 | 13,57 | 2,08 | 2,25 | 33,72 | 30,57 | 98,78 | 0,91 | 305,70 | 0,08 |
| 12.56.00 | 16,21 | 13,56 | 2,01 | 2,20 | 32,60 | 29,89 | 98,76 | 0,92 | 298,86 | 0,08 |
| 12.57.00 | 16,32 | 13,46 | 1,56 | 1,82 | 25,48 | 24,51 | 97,75 | 0,92 | 245,15 | 0,07 |
| 12.58.00 | 16,27 | 13,47 | 1,49 | 1,90 | 24,21 | 25,55 | 98,45 | 0,96 | 255,50 | 0,07 |
| 12.59.00 | 16,27 | 13,42 | 1,35 | 1,61 | 22,02 | 21,64 | 98,45 | 0,92 | 216,41 | 0,06 |
| 13.00.00 | 16,66 | 13,14 | 0,98 | 1,07 | 16,19 | 14,03 | 92,90 | 0,87 | 140,30 | 0,04 |
| 13.01.00 | 17,26 | 13,26 | 0,37 | 0,49 | 6,36  | 6,54  | 87,18 | 0,95 | 65,40  | 0,02 |
| 13.02.00 | 17,23 | 13,22 | 0,37 | 0,49 | 6,31  | 6,48  | 87,68 | 0,94 | 64,82  | 0,02 |
| 13.03.00 | 17,20 | 13,20 | 0,39 | 0,50 | 6,72  | 6,65  | 86,81 | 0,98 | 66,52  | 0,02 |
| 13.04.00 | 17,20 | 13,19 | 0,40 | 0,50 | 6,87  | 6,63  | 85,33 | 0,97 | 66,35  | 0,02 |
| 13.05.00 | 17,23 | 13,19 | 0,41 | 0,50 | 7,07  | 6,64  | 84,72 | 0,94 | 66,38  | 0,02 |
| 13.06.00 | 17,22 | 13,18 | 0,41 | 0,52 | 7,08  | 6,86  | 84,39 | 0,94 | 68,64  | 0,02 |
| 13.07.00 | 17,17 | 13,20 | 0,42 | 0,51 | 7,21  | 6,69  | 86,33 | 0,93 | 66,86  | 0,02 |
| 13.08.00 | 17,23 | 13,19 | 0,42 | 0,51 | 7,23  | 6,70  | 85,76 | 0,93 | 66,96  | 0,02 |
| 13.09.00 | 17,32 | 13,20 | 0,43 | 0,51 | 7,44  | 6,74  | 85,54 | 0,91 | 67,41  | 0,02 |
| 13.10.00 | 17,48 | 13,20 | 0,46 | 0,55 | 8,03  | 7,23  | 84,23 | 0,90 | 72,32  | 0,02 |
| 13.11.00 | 17,52 | 13,22 | 0,47 | 0,55 | 8,22  | 7,32  | 85,16 | 0,89 | 73,18  | 0,02 |
| 13.12.00 | 17,51 | 13,23 | 0,47 | 0,56 | 8,17  | 7,35  | 85,17 | 0,90 | 73,49  | 0,02 |
| 13.13.00 | 17,55 | 13,22 | 0,46 | 0,55 | 8,14  | 7,28  | 84,29 | 0,89 | 72,80  | 0,02 |
| 13.14.00 | 17,46 | 13,22 | 0,46 | 0,55 | 7,95  | 7,22  | 84,45 | 0,91 | 72,16  | 0,02 |
| 13.15.00 | 17,27 | 13,21 | 0,44 | 0,52 | 7,57  | 6,91  | 85,60 | 0,91 | 69,06  | 0,02 |
| 13.16.00 | 17,30 | 13,20 | 0,43 | 0,51 | 7,40  | 6,73  | 85,03 | 0,91 | 67,35  | 0,02 |
| 13.17.00 | 17,45 | 13,20 | 0,44 | 0,53 | 7,67  | 6,96  | 83,53 | 0,91 | 69,57  | 0,02 |
| 13.18.00 | 18,61 | 13,23 | 0,50 | 0,62 | 9,31  | 8,27  | 76,07 | 0,89 | 82,67  | 0,02 |

|          |       |       |      |      |       |       |       |      |        |      |
|----------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|--------|------|
| 13.19.00 | 17,09 | 13,24 | 1,00 | 1,14 | 17,00 | 15,07 | 90,74 | 0,89 | 150,70 | 0,04 |
| 13.20.00 | 17,27 | 13,15 | 1,12 | 1,21 | 19,31 | 15,86 | 91,52 | 0,82 | 158,60 | 0,04 |
| 13.21.00 | 16,53 | 13,36 | 1,28 | 1,40 | 21,14 | 18,73 | 96,59 | 0,89 | 187,28 | 0,05 |
| 13.22.00 | 17,21 | 13,23 | 0,46 | 0,58 | 7,91  | 7,62  | 86,39 | 0,97 | 76,18  | 0,02 |
| 13.23.00 | 17,22 | 13,22 | 0,38 | 0,49 | 6,51  | 6,51  | 86,91 | 0,95 | 65,12  | 0,02 |
| 13.24.00 | 17,24 | 13,19 | 0,38 | 0,49 | 6,53  | 6,49  | 86,49 | 0,97 | 64,89  | 0,02 |
| 13.25.00 | 17,16 | 13,19 | 0,41 | 0,51 | 6,96  | 6,71  | 86,13 | 0,95 | 67,06  | 0,02 |
| 13.26.00 | 17,84 | 13,21 | 0,48 | 0,58 | 8,62  | 7,63  | 84,61 | 0,89 | 76,28  | 0,02 |
| 13.27.00 | 17,29 | 13,27 | 1,13 | 1,27 | 19,45 | 16,81 | 91,21 | 0,87 | 168,09 | 0,05 |
| 13.28.00 | 16,68 | 13,29 | 1,20 | 1,26 | 20,02 | 16,72 | 95,00 | 0,83 | 167,18 | 0,05 |
| 13.29.00 | 17,48 | 13,24 | 0,45 | 0,55 | 7,97  | 7,27  | 84,99 | 0,92 | 72,75  | 0,02 |
| 13.30.00 | 17,19 | 13,27 | 0,36 | 0,49 | 6,26  | 6,48  | 86,84 | 0,94 | 64,82  | 0,02 |
| 13.31.00 | 17,20 | 13,29 | 0,35 | 0,47 | 6,01  | 6,19  | 88,77 | 0,94 | 61,93  | 0,02 |
| 13.32.00 | 17,08 | 13,31 | 0,35 | 0,46 | 5,96  | 6,07  | 89,17 | 0,94 | 60,68  | 0,02 |
| 13.33.00 | 16,93 | 13,32 | 0,35 | 0,45 | 5,90  | 5,98  | 89,18 | 0,94 | 59,76  | 0,02 |
| 13.34.00 | 16,97 | 13,31 | 0,35 | 0,45 | 5,92  | 5,97  | 89,10 | 0,96 | 59,67  | 0,02 |
| 13.35.00 | 17,01 | 13,30 | 0,35 | 0,45 | 5,93  | 6,01  | 88,31 | 0,94 | 60,12  | 0,02 |
| 13.36.00 | 17,05 | 13,30 | 0,35 | 0,45 | 5,94  | 6,03  | 88,90 | 0,94 | 60,29  | 0,02 |
| 13.37.00 | 17,07 | 13,30 | 0,35 | 0,45 | 5,94  | 6,03  | 89,20 | 0,94 | 60,31  | 0,02 |
| 13.38.00 | 17,07 | 13,25 | 0,35 | 0,46 | 5,95  | 6,05  | 88,79 | 0,95 | 60,51  | 0,02 |
| 13.39.00 | 17,12 | 13,22 | 0,35 | 0,45 | 5,98  | 5,98  | 88,59 | 0,96 | 59,82  | 0,02 |
| 13.40.00 | 17,14 | 13,13 | 0,35 | 0,46 | 5,99  | 6,06  | 89,29 | 0,94 | 60,57  | 0,02 |
| 13.41.00 | 17,09 | 13,13 | 0,35 | 0,46 | 5,98  | 5,98  | 89,45 | 0,97 | 59,83  | 0,02 |
| 13.42.00 | 17,05 | 13,14 | 0,35 | 0,45 | 5,97  | 5,95  | 88,54 | 0,96 | 59,50  | 0,02 |
| 13.43.00 | 17,21 | 13,05 | 0,35 | 0,47 | 6,01  | 6,11  | 89,08 | 0,94 | 61,06  | 0,02 |
| 13.44.00 | 17,79 | 13,06 | 0,45 | 0,55 | 7,95  | 7,16  | 84,59 | 0,91 | 71,61  | 0,02 |
| 13.45.00 | 18,33 | 13,23 | 1,01 | 1,17 | 18,54 | 15,49 | 86,71 | 0,85 | 154,91 | 0,04 |
| 13.46.00 | 17,08 | 13,53 | 1,18 | 1,28 | 20,19 | 17,37 | 94,90 | 0,86 | 173,73 | 0,05 |
| 13.47.00 | 16,89 | 13,33 | 1,00 | 1,15 | 16,88 | 15,34 | 93,99 | 0,89 | 153,37 | 0,04 |
| 13.48.00 | 17,63 | 13,05 | 0,40 | 0,51 | 7,11  | 6,62  | 83,30 | 0,93 | 66,17  | 0,02 |
| 13.49.00 | 17,34 | 13,04 | 0,39 | 0,49 | 6,68  | 6,43  | 85,24 | 0,96 | 64,26  | 0,02 |
| 13.50.00 | 17,18 | 13,04 | 0,39 | 0,50 | 6,74  | 6,48  | 85,50 | 0,96 | 64,84  | 0,02 |
| 13.51.00 | 17,14 | 13,04 | 0,39 | 0,49 | 6,64  | 6,43  | 86,74 | 0,97 | 64,33  | 0,02 |
| 13.52.00 | 17,26 | 13,04 | 0,38 | 0,49 | 6,48  | 6,33  | 85,24 | 0,97 | 63,33  | 0,02 |
| 13.53.00 | 17,24 | 13,04 | 0,38 | 0,50 | 6,58  | 6,47  | 85,96 | 0,96 | 64,73  | 0,02 |
| 13.54.00 | 17,35 | 13,04 | 0,37 | 0,49 | 6,50  | 6,40  | 84,87 | 0,97 | 63,95  | 0,02 |
| 13.55.00 | 17,28 | 13,04 | 0,39 | 0,50 | 6,68  | 6,48  | 85,00 | 0,95 | 64,81  | 0,02 |
| 13.56.00 | 17,33 | 13,04 | 0,38 | 0,49 | 6,51  | 6,40  | 84,62 | 0,97 | 63,98  | 0,02 |
| 13.57.00 | 17,47 | 13,05 | 0,37 | 0,49 | 6,47  | 6,38  | 83,42 | 0,96 | 63,79  | 0,02 |
| 13.58.00 | 17,38 | 13,05 | 0,40 | 0,51 | 6,96  | 6,59  | 84,77 | 0,94 | 65,94  | 0,02 |

|          |       |       |      |      |      |      |       |      |       |      |
|----------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|
| 13.59.00 | 17,63 | 13,05 | 0,40 | 0,49 | 7,12 | 6,44 | 83,75 | 0,90 | 64,41 | 0,02 |
| 14.00.00 | 17,62 | 13,06 | 0,44 | 0,53 | 7,77 | 6,89 | 85,07 | 0,89 | 68,92 | 0,02 |

