



**PENERAPAN *DC CHOPPER* TIPE SEPIC MENGGUNAKAN KONTROL
PERTURB & OBSERVE (P&O) BERBASIS PADA *THERMOELECTRIC*
*GENERATOR***

Skripsi

Oleh

**Eki Rovianto
NIM 131910201102**

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



**PENERAPAN *DC CHOPPER* TIPE SEPIC MENGGUNAKAN KONTROL
PERTURB & OBSERVE (P&O) BERBASIS PADA *THERMOELECTRIC*
*GENERATOR***

Skripsi

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

Oleh

Eki Rovianto
NIM 131910201102

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO STRATA 1
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER

2017

PERSEMBAHAN

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

Akhirnya, saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT yang Maha atas segalanya
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang menjadi suri tauladan bagi seluruh manusia.
3. Kedua Orangtua, Ibu Siti Tasbichah dan Bapak Fidi Hariyanto yang tidak pernah lelah memberikan doa, memberikan dukungan moril maupun materiil dan kasih sayang yang tidak pernah henti diberikan kepada saya.
4. Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T. dan Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing menyelesaikan tugas akhir.
5. Rekan-rekan satu DPU dan DPA pejuang skripsi.
6. Keluarga besar INTEL dan penghuni Kontrakan Brantas XIV yang senantiasa menemani dan membantu dalam suka dan duka.
7. Almater Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.

MOTTO

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

(QS Muhammad: 7)¹

“Aku akan bersabar hingga kesabaran tak mampu menahan kesabaranku. Aku akan bersabar hingga Allah memperkenankan urusanku. Aku akan bersabar hingga kesabaran tahu bahwa aku bersabar atas sesuatu yang lebih pahit daripada kesabaran itu sendiri”

(Imam Syafi’i)²

“Maksiat yang melahirkan ketaatan lebih baik dari pada ketaatan yang melahirkan kesombongan”.

(Ibnu Athaillah Al-Iskandari)³

¹ Kementrian Agama RI. 2007. *Al Qur'an dan Terjemahannya Dilengkapi dengan Kajian Usul Fiqih dan Intisari Ayat*. Bandung : Syaamil quran.

² Muhammad Al-Faiz & Juman Rofarif. 2016. *Al-Hikam Imam Syafi'I Mutiara Hikmah & Syair Indah Imam Ahlussunnah*. Jakarta : Zaman

³ Ibnu Athaillah. 2015. *Mengaji Tajul 'Arus Rujukan Utama Mendidik Jiwa*. Jakarta : Zaman

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Eki Rovianto

NIM : 131910201102

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ” Penerapan *DC Chopper* Tipe SEPIC Menggunakan Kontrol *Perturb & observe* (P&O) Berbasis Pada *Thermoelectric Generator*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, Juli 2017

Yang menyatakan,

Eki Rovianto

NIM 131910201102

SKRIPSI

**PENERAPAN *DC CHOPPER* TIPE SEPIC MENGGUNAKAN KONTROL
PERTURB & OBSERVE (P&O) BERBASIS PADA *THERMOELECTRIC*
*GENERATOR***

Oleh
Eki Rovianto
NIM 131910201102

Pembimbing :

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

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Penerapan DC Chopper Tipe SEPIC Menggunakan Kontrol *Perturb & observe* (P&O) Berbasis Pada Thermoelectric Generator” karya Eki Rovianto telah diuji dan disahkan pada :

Hari :

Tanggal :

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji,

Ketua,

Anggota I,

Dr Azmi Saleh, S.T., M.T.
NIP 198511102014041001

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP 198405312008121004

Anggota II,

Anggota III,

Ir. Widyono Hadi, M.,T.
NIP 196801191997021001

Dr. Tri Wahyu Hardianto, S.T., M.T.
NIP 197804052005011002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember,

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

RINGKASAN

Penerapan DC Chopper Tipe SEPIC Menggunakan Kontrol *Perturb and Observe* (P&O) Berbasis Pada *Thermoelectric Generator*; Eki Rovianto, 131910201102; 2017; 114 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kebutuhan listrik yang ada di Indonesia semakin hari semakin meningkat sehingga membutuhkan pembangkit listrik yang cukup banyak untuk dapat memenuhi kebutuhan listrik tersebut. Namun, kebanyakan dari pembangkit listrik ini menggunakan bahan bakar fosil seperti batu bara yang dapat habis suatu hari nanti. Sehingga dibutuhkan energi terbarukan untuk dapat memenuhi kebutuhan listrik yang ada di Indonesia maupun yang ada di dunia dengan tanpa mempertimbangkan bahan bakar.

salah satu energi terbarukan yang dapat berpotensi saat ini adalah *Thermoelectric Generator* (TEG). dimana TEG sendiri merupakan suatu energi terbarukan yang memanfaatkan perbedaan panas untuk dapat menghasilkan energi listrik. TEG sendiri terdiri dari dua jenis semikonduktor. Semikonduktor tersebut merupakan semikonduktor tipe P dan semikonduktor tipe N. Keluaran TEG sendiri berupa arus searah (DC). Namun keluaran TEG tidak dapat dimanfaatkan secara langsung karena memiliki daya yang cukup rendah yang salah satunya disebabkan oleh tegangan yang berubah – ubah tergantung dari perbedaan suhu.

salah satu cara untuk dapat meningkatkan daya yang dapat dikeluarkan oleh TEG yaitu dengan menggunakan metode yang disebut dengan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). metode ini digunakan untuk *men-tracking* daya keluaran TEG sehingga dapat tetap dalam daya maksimalnya. Pada penelitian ini menggunakan algoritma MPPT *Perturb and Observe* (P&O). Untuk dapat menerapkan algoritma MPPT P&O dibutuhkan DC *Converter* sehingga dapat mengatur tegangan keluaran dari TEG. Pada penelitian ini DC *Converter* yang digunakan adalah SEPIC *converter* yang dapat digunakan untuk menaikkan tegangan (*boost*) maupun menurunkan tegangan (*buck*).

Pada penelitian ini menggunakan SEPIC *converter* dengan menggunakan MPPT P&O. Kemudian juga menggunakan 3 buah modul TEG yang digunakan disusun seri dalam sebuah *prototype* cerobong asap. pada penelitian ini pengujian yang dilakukan meliputi performa SEPIC *converter*, performa MPPT P&O, performa 3 modul TEG ketika menggunakan *prototype* cerobong asap, baterai, perbandingan *direct charging* dan ketika menggunakan MPPT.

Hasil pengujian *converter* menunjukkan bahwa rata – rata efisiensi yang dihasilkan adalah sekitar 60%. SEPIC *converter* yang didesain dapat bekerja dengan baik yaitu dapat bekerja sebagai *boost* tegangan dan *buck* tegangan. Desain TEG yang digunakan dapat menghasilkan tegangan open circuit (VOC) sebesar 10 volt dengan arus short circuit (ISC) sebesar 1,24 A. untuk MPPT P&O yang telah diuji dapat bekerja dengan baik. Saat melakukan pengujian sistem *charging* ketika keadaan suhu panas (T_h) 205 °C dan suhu dingin (T_c) 104 °C didapatkan ketika pengujian *direct charging*, daya yang dihasilkan adalah sebesar 0,86 watt. sedangkan ketika pengujian menggunakan algoritma MPPT P&O daya dapat meningkat menjadi 1,15 watt. dalam penambahan algoritma MPPT P&O dapat terlihat bahwa terjadi kenaikan sebesar 33,7% jika dibandingkan dengan menggunakan *direct charging*. Namun, ketika pengujian sistem *charging* tidak dapat mendapatkan performa ketika SEPIC dengan menggunakan MPPT P&O dalam keadaan *buck*. sehingga dilakukan pengujian menggunakan 3 kondisi baterai dengan *power supply*. kondisi baterai yang digunakan dalam pengujian ini adalah 6,5 volt; 6,22 volt dan 4,4 volt. dalam pengujian menggunakan *power supply* ini SEPIC dengan MPPT P&O dapat bekerja sebagai *buck*. ini menandakan bahwa SEPIC dengan MPPT P&O dapat bekerja dengan baik untuk melacak daya maksimum yang dihasilkan oleh sumber tegangan.

SUMMARY

Implementation of DC Chopper SEPIC Type Using Perturb and Observe Control (P&O) Based on Thermoelectric Generator; Eki Rovianto, 131910201102; 2017; 114 pages; Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Electricity needs in Indonesia is increasingly increasing, so it requires a lot of power plants to meet the electricity needs. However, most of these power plants use fossil fuels such as coal that can run out one day. So it takes renewable energi to be able to meet the existing electricity needs in Indonesia as well as in the world with no consideration of fuel.

One of the renewable energies that could potentially be today is the Thermoelectric Generator (TEG). Where TEG itself is a renewable energi that utilizes the difference of heat to be able to generate electrical energi. TEG itself consists of two types of semiconductors. The semiconductor is a P-type semiconductor and a N-type semiconductor. The TEG output itself is a direct current (DC). But TEG output can not be utilized directly because it has a low enough power, one of which is caused by the varying voltage depending on the temperature difference.

One way to increase the power that can be issued by TEG is by using a method called MPPT (Maximum Power Point Tracking). This method is used to track TEG output power so it can remain in maximum power. In this research using MPPT Perturb and Observe (P&O) algorithm. To be able to apply MPPT P&O algorithm needed DC Converter so that it can adjust the output voltage from TEG. In this study DC Converter used is a SEPIC converter that can be used to boost the voltage (boost) or lower the voltage (buck).

In this research use SEPIC converter by using MPPT P & O. Then also use 3 pieces of TEG module which is used arranged series in a prototype chimney. In this study the tests include SEPIC converter performance, MPPT P&O

performance, 3 TEG module performance when using prototype chimney, battery, direct charging comparison and when using MPPT.

The converter test results show that the resulting average efficiency is about 60%. The SEPIC converter is designed to work properly ie it can work as a voltage boost and a voltage buck. The TEG design used to produce a 10 volt open circuit (VOC) voltage with short circuit current (ISC) of 1.24 A. for MPPT P&O that has been tested can work well. When testing the charging sistem when the hot temperature (T_h) 205°C and the cold temperature (T_c) 104°C is obtained when the direct charging test, the power generated is 0.86 watts. Whereas when testing using MPPT P & O algorithm the power can be increased to 1.15 watts. In the addition of MPPT P&O algorithm can be seen that there is an increase of 33.7% when compared with using direct charging. However, when testing the charging sistem can not get the performance when SEPIC by using MPPT P&O in the buck state. So tested using 3 condition of battery with power supply. The battery condition used in this test is 6.5 volts; 6.22 volts and 4.4 volts. in this test using this power supply SEPIC with MPPT P&O can work as buck. In testing using this power supply SEPIC with MPPT P&O can work as buck. This indicates that SEPIC with MPPT P&O can work well to track the maximum power generated by the voltage source.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang maha kuasa atas segalanya, karena dengan ridho, hidayah dan petunjukNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Penerapan DC Chopper Tipe SEPIC Menggunakan Kontrol *Perturb & observe (P&O)* Berbasis Pada Thermoelectric Generator**”. Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak yang turut memberikan bantuan berupa motivasi, inspirasi, bimbingan, doa, fasilitas dan dukungan lainnya yang membantu memperlancar pengerjaan skripsi ini.

Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada.

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki, rahmat, hidayah dan karunia serta kasih sayang-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang telah menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Kedua Orangtua Ibu Siti Tasbichah dan Bapak Fidi Hariyanto yang telah membesarkan, mendidik, mendoakan tiada henti, memberi motivasi semangat, menitikkan air mata dan memberi kasih sayang yang tak pernah habis serta pengorbanannya selama ini, serta keluarga besar;
4. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
5. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
6. Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.dan Bapak Supriyadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing menyelesaikan tugas akhir ini;
7. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. dan Bapak Dr. Tri Wahyu Hardianto,S.T., M.,T. selaku dosen penguji yang sudah memberikan saran untuk memperbaiki tugas akhir ini;
8. Suwandi, Anwar, dan teman Seperjuangan yang sangat membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini dari pemberian semangat hingga membantu pelaksanaan di lapangan;

9. Keluarga besar INTEL'UJ 2013, terimakasih telah memberikan arti kekeluargaan yang luar biasa;
10. Kontrakan brantas XIV yang senantiasa menemani dan membantu dalam suka dan duka;
11. Heristo, Amir dan Fajri yang selalu menginspirasi untuk selalu memperbaiki diri;
12. Keluarga besar Civitas Akademia Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.

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

Jember, 17 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Skripsi.....	i
Skripsi.....	ii
PERSEMBAHAN	iii
MOTTO.....	iv
PERNYATAAN	v
SKRIPSI.....	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY.....	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Thermoelectric Generator (TEG)</i>	5
2.2 <i>DC – DC Converter</i>	7
2.2.1 <i>Buck Converter</i>	8
2.2.2 <i>Boost Converter</i>	9
2.2.3 <i>Buck-Boost Converter</i>	11
2.2.4 <i>CUK Converter</i>	12
2.2.5 <i>SEPIC Converter</i>	13
2.3 Algoritma MPPT Pada TEG.....	21
BAB 3. METODE PENELITIAN	24
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	24

3.1.1 Tempat Penelitian	24
3.1.2 Waktu penelitian	24
3.2 Tahapan Penelitian	24
3.3 Alat dan Bahan	26
3.4 Diagram Alir Penelitian	27
3.5 Blok Diagram Sistem	28
3.5.1 Modul TEG TE-MOD-10W4V-40	29
3.5.2 Baterai VRLA	34
3.5.3 Algoritma MPPT <i>Perturb & observe</i> (P&O)	36
3.5.4 Desain rangkaian DC <i>Chopper</i> Tipe SEPIC	39
3.5.5 Rugi – rugi daya SEPIC	46
3.6 Rencana pengujian Thermoelectric Generator	47
3.6.1 Pengujian perubahan <i>duty cycle</i>	47
3.6.2 Pengujian penambahan MPPT P&O	48
3.7 Desain Hardware	49
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1 Hasil Desain dan Performa SEPIC <i>Converter</i>	51
4.1.1 Hasil Desain SEPIC	51
4.1.2 Hasil dan analisis tanpa beban	52
4.1.3 Hasil dan analisis berbeban	56
4.1.4 <i>Power lost</i>	65
4.2 Performa Generator Termoelektrik dan <i>DirectCoupled</i>	70
4.2.1 Pengujian tanpa beban	70
4.2.2 Pengujian <i>DirectCoupled</i>	72
4.3 Hasil Pengujian Performa dan Respon MPPT P&O	76
4.3.1 Perancangan MPPT P&O	76
4.3.2 Hasil Pengujian	78
4.4 Pengujian <i>charging</i> dengan generator dan MPPT P&O	83
4.5 Pengujian <i>charging</i> menggunakan <i>Power supply</i> dan MPPT P&O	87
BAB 5. PENUTUP	92
5.1 Kesimpulan	92
5.2 Saran	93

DAFTAR PUSTAKA	94
LAMPIRAN	96



DAFTAR GAMBAR

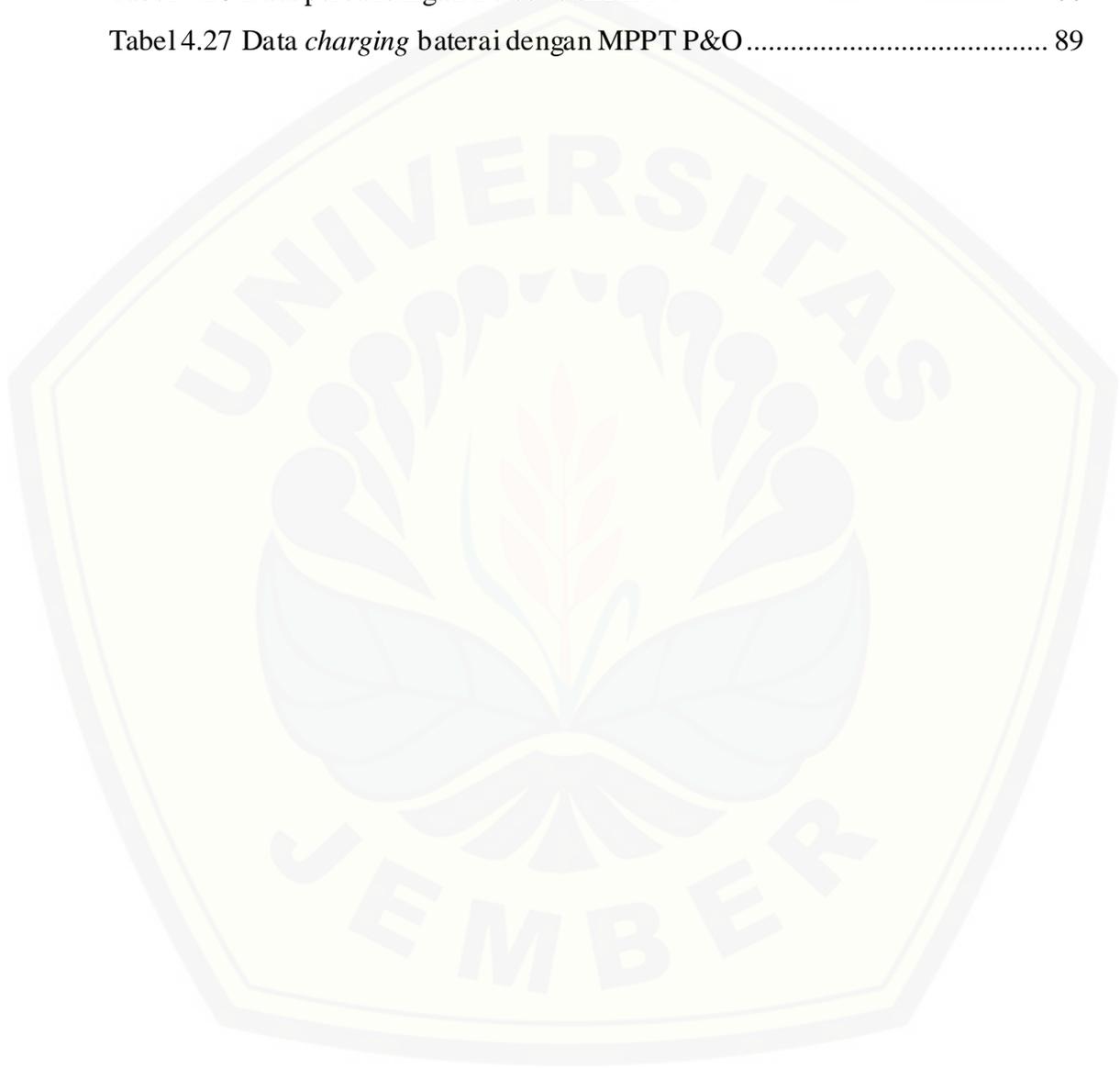
Gambar 2.1 Prinsip kerja termoelektrik	5
Gambar 2.2 Pensaklaran pada konverter dc-dc	7
Gambar 2.3 Rangkaian <i>buck converter</i>	8
Gambar 2.4 Bentuk gelombang <i>buck converter</i> CCM.....	9
Gambar 2.5 Rangkaian <i>boost converter</i>	10
Gambar 2.6 bentuk gelombang <i>boost converter</i> CCM.....	10
Gambar 2.7 Rangkaian <i>Buck-Boost Converter</i>	11
Gambar 2.8 Bentuk gelombang <i>Buck-Boost Converter</i>	11
Gambar 2.9 Rangkaian CUK <i>Converter</i>	12
Gambar 2.10 Bentuk gelombang CUK <i>converter</i> (a) saklar off; (b) saklar on	13
Gambar 2.11 Rangkaian sederhana SEPIC	14
Gambar 2.12 SEPIC pada keadaan on (CCM)	15
Gambar 2.13 SEPIC pada keadaan off (CCM)	16
Gambar 2.14 Tegangan yang melalui MOSFET terhadap waktu	17
Gambar 2.15 Arus melalui MOSFET terhadap waktu	17
Gambar 2.16 Grafik hubungan antara tegangan-arus, tegangan-daya dan kurva .	22
Gambar 3.1 Diagram penelitian	27
Gambar 3.2 Blok diagram sistem.....	28
Gambar 3.3 Dimensi TEG.....	30
Gambar 3.4 Grafik Karakteristik TEG TE-MOD-10W4V-40	31
Gambar 3.5 Percobaan pengambilan data dengan 1 elemen generator	31
Gambar 3.6 Perbandingan tegangan pada beban yang berbeda – beda	32
Gambar 3.7 Perbandingan arus pada beban yang berbeda – beda	32
Gambar 3.8 Perbandingan daya pada beban yang berbeda – beda	33
Gambar 3.9 Perbandingan Suhu.....	33
Gambar 3.10 Flowchart Algoritma P&O	36
Gambar 3.11 Grafik Perturb and Observe.....	37
Gambar 3.12 Rangkaian DC-DC SEPIC.....	39
Gambar 3.13 Dimensi toroid	43

Gambar 3.14 Desain Termoelektrik Generator dengan MPPT P&O	49
Gambar 3.15 Dimensi desain <i>hardware</i>	50
Gambar 4.1 Hasil desain SEPIC <i>Converter</i>	51
Gambar 4.2 Tegangan <i>output</i> dengan tiga <i>input</i> berbeda.....	54
Gambar 4.3 Pengaruh <i>duty cycle</i> terhadap tegangan <i>output</i> dengan.....	56
Gambar 4.4 Pengaruh <i>duty cycle</i> terhadap arus <i>output</i> berbeban dengan V_{in} 6 volt	57
Gambar 4.5 Pengaruh <i>duty cycle</i> terhadap daya <i>output</i> berbeban dengan.....	58
Gambar 4.6 Pengaruh <i>duty cycle</i> terhadap Efisiensi	59
Gambar 4.7 Perbandingan arus dan efisiensi terhadap <i>duty cycle</i> pada.....	60
Gambar 4.8 Perbandingan P_{in} , P_{out} dan Efisiensi saat beban 47 Ohm.....	61
Gambar 4.9 Karakteristik generator termoelektrik	70
Gambar 4.10 Perbandingan Efisiensi pengukuran dan datasheet	71
Gambar 4.11 Blok diagram pengujian <i>direct coupled</i>	73
Gambar 4.12 Grafik perbandingan arus terhadap tegangan	75
Gambar 4.13 Grafik perbandingan daya terhadap tegangan.....	76
Gambar 4.14 Logika P&O 1 dan 2.....	77
Gambar 4.15 Logika MPPT P&O 3	78
Gambar 4.16 Perbandingan V_{in} dengan VMPPT dan PMPPT berbasis SEPIC .	80
Gambar 4.17 Perbandingan PWM dan daya	81
Gambar 4.18 Grafik perubahan tegangan dan daya untuk mencapai titik MPP ...	82
Gambar 4.19 Blok diagram pengujian sistem	84
Gambar 4.20 Blok diagram pengujian <i>direct</i>	84
Gambar 4.21 Pengujian sistem dengan <i>power supply</i> dan baterai	87
Gambar 4.22 Pengujian <i>direct</i> ke baterai dengan <i>power supply</i>	88
Gambar 4.23 Perbandingan V_{in} dengan VMPPT dan PMPPT	90
Gambar 4.24 Perbandingan daya <i>direct</i> dan daya MPPT	91

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu penelitian	24
Tabel 3.2 Datasheet TEG TE-MOD-10W4V-40	29
Tabel 3.3 Spesifikasi Baterai VRLA LC-R064R5P.....	35
Tabel 3.4 Parameter desain DC/DC SEPIC	41
Tabel 3. 5 Parameter perancangan DC/DC SEPIC	45
Tabel 3.6 Data percobaan perubahan <i>duty cycle</i> dengan DC/DC SEPIC	47
Tabel 3.7 Data percobaan menggunakan dan tanpa MPPT P&O	48
Tabel 4.1 Nama Komponen SEPIC <i>Converter</i>	52
Tabel 4.2 Data pengujian SEPIC tanpa beban	53
Tabel 4.3 SEPIC sebagai <i>buck</i>	55
Tabel 4.4 SEPIC sebagai <i>boost</i>	55
Tabel 4.5 SEPIC sebagai <i>buck</i> dengan beban 39 Ohm	62
Tabel 4.6 SEPIC sebagai <i>buck</i> dengan beban 47 Ohm	62
Tabel 4.7 SEPIC sebagai <i>buck</i> dengan beban 61 Ohm	62
Tabel 4.8 SEPIC sebagai <i>boost</i> dengan beban 39 Ohm.....	63
Tabel 4.9 SEPIC sebagai <i>boost</i> dengan beban 47 Ohm.....	63
Tabel 4.10 SEPIC sebagai <i>boost</i> dengan beban 61 Ohm.....	63
Tabel 4.11 Perubahan V_{in} dengan <i>duty cycle</i> 45% beban 39 ohm.....	64
Tabel 4.12 Perubahan V_{in} dengan <i>duty cycle</i> 45% beban 47 ohm.....	64
Tabel 4.13 Perubahan V_{in} dengan <i>duty cycle</i> 45% beban 61 ohm.....	64
Tabel 4.14 Data R_{in} komponen.....	65
Tabel 4.15 Pengaruh <i>duty cycle</i> terhadap <i>power lost</i> SEPIC	68
Tabel 4.16 Data <i>power lost</i> dengan beban berbeda.....	69
Tabel 4.17 Karakteristik TEG dan perhitungan R_{in}	72
Tabel 4.18 Pengujian generator dengan beban 39 ohm	73
Tabel 4.19 Pengujian generator dengan beban 47 ohm	73
Tabel 4.20 Pengujian generator dengan beban 61 ohm	74
Tabel 4.21 MPPT berbasis SEPIC dan algoritma P&O	79

Tabel 4.22 Data perubahan waktu.....	83
Tabel 4.23 Perubahan V dan P terhadap PWM.....	83
Tabel 4.24 Data MPPT pada Sistem	85
Tabel 4.25 Perbandingan <i>directcoupled</i> dan MPPT.....	86
Tabel 4.26 Data perbandingan <i>Direct</i> dan MPPT	88
Tabel 4.27 Data <i>charging</i> baterai dengan MPPT P&O.....	89



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di zaman ini, kebutuhan akan energi listrik dunia terus meningkat yang menuntut setiap negara di dunia untuk terus meningkatkan produksi energi listrik itu sendiri. Peningkatan dari jumlah konsumsi listrik pertahunnya adalah tidak lepas dari jumlah penduduk yang terus bertambah, ditambah lagi jumlah barang elektronik yang diproduksi terus menerus dan semakin bervariasi. Di Indonesia sendiri tercatat bahwa jumlah pemakaian dari listrik di tahun 2013 adalah sebesar 90,48 Tera Watt Hour, selain itu meningkatnya konsumsi energi segmen industri sekitar dua kali dari pertumbuhan jumlah pelanggannya, menunjukkan bahwa Indonesia mulai menjadi tempat yang bagus untuk bertumbuhnya industri skala besar. Namun dengan konsumsi yang besar tersebut di Indonesia sendiri tidak diimbangi dengan produksi listrik yang memadai, sehingga listrik di Indonesia sendiri sering padam di daerah pemukiman warga sipil. (Administrator, 2013)

Bauran energi bahan bakar pembangkit saat ini masih menunjukkan ketergantungan yang tinggi terhadap minyak bumi yaitu sebesar 49,7%. Namun seperti yang telah diketahui oleh masyarakat umum bahwa energi fosil tidak akan dapat memenuhi kebutuhan energi listrik selamanya. Selain itu diperkirakan, hingga 10 tahun kedepan, batubara akan tetap menjadi pemasok utama bahan bakar pembangkit di Asia Tenggara. Selain dari pembangkit listrik, bahan bakar fosil juga digunakan oleh kendaraan bermotor yang populasinya setiap tahunnya terus bertambah diiringi dengan keluaran – keluaran kendaraan bermotor yang terus diperbaharui oleh perusahaan – perusahaan otomotif sendiri. (Administrator, 2014)

Saat ini kita tidak dapat lagi mengandalkan minyak bumi sebagai sumber energi utama karena cadangan persediannya semakin menipis. Banyak peneliti mengarahkan perhatiannya untuk menciptakan pembangkit listrik dari sumber bukan bahan bakar. Pembangkit listrik yang tidak menggunakan bahan bakar tersebut merupakan pembangkit listrik yang dapat diperbaharui atau biasa disebut dengan energi terbarukan. Di Indonesia sendiri potensi energi terbarukan sangat

bagus Karena Indonesia memiliki sumber daya alam yang begitu luas, seperti halnya sungai yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga mikro hidro, kemudian angin yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga angin, letak geografis Indonesia yang panas sehingga dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga surya. (Aksara, 2007)

Semakin majunya penelitian dan perkembangan di dunia kelistrikan saat ini, para peneliti menemukan salah satu energi alternatif yang bekerja dengan memanfaatkan perbedaan suhu yang dinamakan termoelektrik. Termoelektrik generator sendiri adalah suatu pembangkit listrik yang memanfaatkan perbedaan suhu panas dan suhu dingin di kedua sisinya dalam menghasilkan energi listrik. Namun termoelektrik generator ini sendiri tidak dapat menghasilkan daya keluaran yang besar dibandingkan dengan pembangkit listrik sejenisnya yaitu sel surya. Untuk dapat menghasilkan daya keluaran yang besar termoelektrik generator ini membutuhkan perangkat elektronika daya dan perangkat kontrol. Perangkat elektronika daya dan kontrol tersebut berupa DC *chopper* dan *maximum power point tracking* (MPPT). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Mamur Hayati didapatkan efisiensi yang dihasilkan dari termoelektrik generator sendiri hanya sebesar 55% sedangkan saat menggunakan dc-dc *boost converter* menggunakan MPPT P&O, efisiensi yang dihasilkan oleh termoelektrik generator itu sendiri mencapai 92% (Hayati Mamur, Rasit Ahiska, 2015)

Dalam penelitian ini akan digunakan termoelektrik yang dihubungkan dengan SEPIC *converter* dengan menggunakan MPPT P&O sebagai pengontrolnya. Termoelektrik generator ini sendiri akan difungsikan sebagai pembangkit listrik.

Pemilihan jenis dc – dc *converter* mempertimbangkan berbagai macam pengaruh, jenis – jenis *converter* diantaranya adalah *boost converter*, *buck converter*, *buck – boost converter*, *cuk converter* dan SEPIC *converter*. diantara *converter* tersebut *buck – boost converter*, *cuk converter* dan SEPIC *converter* adalah yang memiliki peran ganda yang dapat bekerja sebagai *buck* tegangan maupun *boost* tegangan. jika menggunakan *buck* ataupun *boost* hanya dapat berguna saat Thermoelectric Generator (TEG) dalam keadaan lebih kecil dari

baterai atau lebih besar dari baterai. namun *buck boost converter* merupakan *converter* yang memiliki arus ripple tinggi pada bagian *input*. sehingga SEPIC *converter* lebih baik dibandingkan *buck boost*. (Shoilie Chakma, Nazmul Kabir Sikder, Shahidul Islam Khan, Suraiya Akhter, 2015)

Untuk mendapatkan daya yang lebih tinggi dibutuhkan kontrol yang bernama MPPT. MPPT bekerja untuk dapat mengontrol daya yang dihasilkan oleh generator termoelektrik lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa menggunakan MPPT. terdapat beberapa algoritma MPPT yang ada saat ini diantaranya adalah fractional open circuit, constant voltage, *perturb & observe*. diantara beberapa algoritma yang tersedia, algoritma *perturb & observe* adalah yang paling mudah dipahami dan lebih sering digunakan dalam penelitian MPPT. (Shoilie Chakma, Nazmul Kabir Sikder, Shahidul Islam Khan, Suraiya Akhter, 2015)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dipaparkan, timbul beberapa rumusan masalah berikut:

1. Bagaimana desain DC/DC SEPIC dengan menggunakan *maximum power point tracking perturb and observe* ?
2. Bagaimana pengaruh perubahan *duty cycle* pada keluaran DC/DC SEPIC?
3. Bagaimana performa DC/DC SEPIC dengan MPPT P&O dengan beban baterai 6v 4,5 Ah?

1.3 Batasan Masalah

Pada proses desain dan pembuatan tentu terdapat berbagai masalah yang akan timbul, agar tidak terjadi pembahasan masalah yang terlalu meluas, maka diperlukan pembatasan masalah, yaitu:

1. Keluaran berupa arus searah (DC).
2. Keluaran energi disalurkan ke DC-DC *Converter* lalu ke baterai 6 Volt 4.5 Ah.
3. Generator termoelektrik yang digunakan bertipe TE-MOD-10W4V-40.

4. Tidak membahas controller dan proses *charging* baterai.
5. MPPT yang dibahas hanya Perturb and Observe (P&O)
6. Menggunakan Arduino MEGA 2560

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Menghasilkan desain DC/DC SEPIC dengan menggunakan *maximum power point tracking perturb and observe*.
2. Menganalisa pengaruh perubahan *duty cycle* pada keluaran DC/DC SEPIC.
3. Mengetahui performa DC/DC SEPIC dengan MPPT P&O

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diambil dari tugas akhir ini, yaitu:

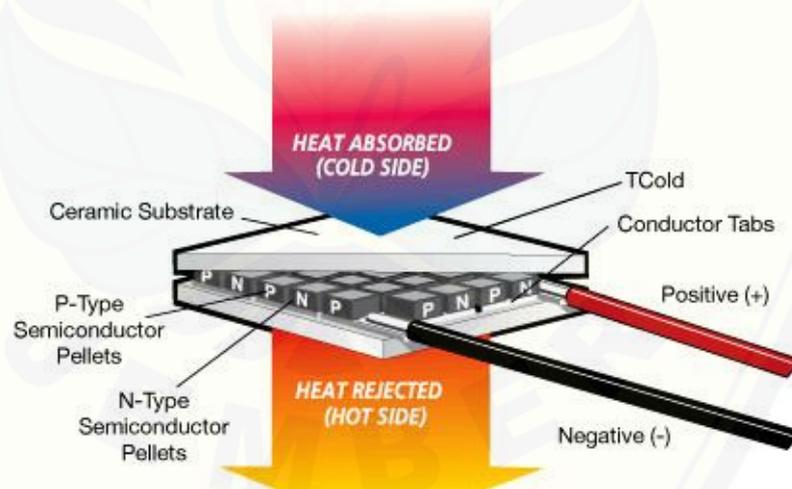
1. Mengembangkan desain DC-DC *Converter* yang dapat meningkatkan efisiensi dari Termoelektrik Generator.
2. Mengembangkan energi alternatif yang dapat mengurangi tingkat polusi di Indonesia.
3. Sebagai referensi desain DC-DC *Converter* untuk pembangkit listrik alternatif pada penelitian selanjutnya.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Thermoelectric Generator (TEG)*

Teknologi termoelektrik merupakan teknologi yang cara kerjanya dengan mengkonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (generator termoelektrik), atau sebaliknya, dari listrik menghasilkan dingin (pendingin termoelektrik). Untuk menghasilkan listrik, material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Dari rangkaian itu akan dihasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai.

Prinsip kerja dari termoelektrik adalah dengan berdasarkan Efek *Seebeck* yaitu jika 2 buah logam yang berbeda disambungkan salah satu ujungnya, kemudian diberikan suhu yang berbeda pada sambungan, maka terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lain. Gambar 2.1 menunjukkan prinsip kerja dari termoelektrik. (Goldsmid, 2010)



Gambar 2.1 Prinsip kerja termoelektrik

Untuk keperluan pembangkitan listrik tersebut umumnya bahan yang digunakan adalah bahan semikonduktor. Semikonduktor adalah bahan yang mampu menghantarkan arus listrik namun tidak sempurna. Semikonduktor yang digunakan adalah semikonduktor tipe n dan tipe p. Bahan semikonduktor yang

digunakan adalah bahan semikonduktor ekstrinsik. Gambar 2.2 menunjukkan gambar skema dasar dari termoelektrik generator.

Termoelektrik ini memiliki efisiensi yang berbeda tergantung dari berbagai macam aspek seperti beban, material, waktu, suhu dan sebagainya. Ketika beban resistansi R_L terhubung melewati akhir sisi dingin dari *thermocouple*, energi panas yang mensuplai persimpangan pada sisi panas akan mengendalikan arus melalui rangkaian dan mentransfer daya ke R_L (D.M.Rowe, C.M. Bhandari, 1983). Daya yang digunakan mencapai nilai maksimumnya ketika beban resistansi sama dengan resistansi generator. Bahkan jika tidak ada rugi – rugi dari panas melalui konduktansi thermal, efisiensi tidak pernah mencapai 50%. Sebuah peningkatan dalam beban resistansi mengurangi daya *output* tapi meningkatkan efisiensinya. Ini dapat ditunjukkan bahwa efisiensi menjadi maksimum ketika rasio M dari beban resistansi ke generator ditunjukkan sebagai :

$$M = \frac{R_L}{R_p + R_n} = (1 + ZT_m)^{1/2} \quad (2.1)$$

Sebagai salah satu yang mungkin diharapkan, Z, diaplikasikan untuk pendinginan dan pembangkitan yang secara nyata efisiensi dapat dinyatakan dalam persamaan berikut

$$\eta = \frac{(T_1 - T_2)(M - 1)}{T_1(M + T_2/T_1)} \quad (2.2)$$

Jika ZT_m jauh lebih besar daripada M, efisiensi akan mendekati $(T_1 - T_2) / T_1$, yang merupakan nilai untuk siklus karnot. (Goldsmid, 2010)

$$\varepsilon = \frac{T_h - T_c}{T_h} \frac{\sqrt{1 + ZT} - 1}{\sqrt{1 + ZT} + \frac{T_c}{T_h}} \quad (2.3)$$

Dimana T_h = Suhu sisi dingin

T_c = Suhu sisi panas

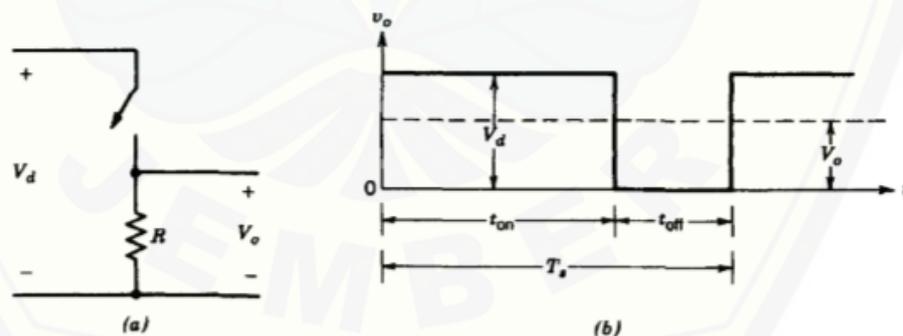
Zt = Dimensi figur merit ($zT = \alpha^2 \sigma T / \kappa$) (BiTe = 0.7)

ε = efisiensi generator termoelektrik pada saat menjadi generator

2.2 DC – DC Converter

DC – DC Converter merupakan suatu rangkaian elektronika daya yang dapat digunakan untuk mengkonversikan sebuah masukan tegangan dc menjadi keluaran tegangan dc, untuk mengurangi tegangan *ripple* pada keluaran tegangan dc, untuk memproteksi suplai dari sistem dan sumber masukan dari *electromagnetic interference* (EMI) dan juga untuk memenuhi variasi standar keamanan nasional dan internasional. Dc-dc converter dapat dibedakan menjadi dua tipe utama yaitu, konverter hard-switching dengan pulsa termodulasi (PWM) dan konverter resonan dan soft-switching. (Rashid, 2007)

Dalam dc-dc converter, rata – rata keluaran tegangan dc harus dikontrol untuk menghasilkan tingkatan yang diinginkan, karena tegangan masukan dan keluaran pada beban dapat berfluktuasi. Switch-mode konverter dc-dc memanfaatkan satu atau lebih saklar untuk mengubah tegangan dc dari suatu tingkatan ke tingkatan lainnya. Dalam suatu dc – dc converter dengan sebuah tegangan masukan, rata – rata tegangan keluaran dikontrol dengan durasi dari switching, yaitu saat switch on dan switch off (t_{on} dan t_{off}). Untuk mengilustrasikan konsep dari converter dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Pensaklaran pada konverter dc-dc (Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, 2003)

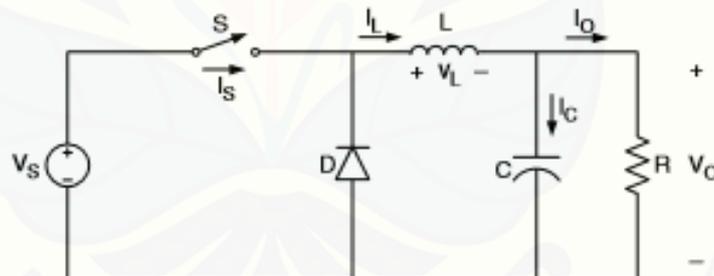
Pada gambar 2.3 a terlihat bahwa nilai rata-rata dari V_o dari tegangan keluaran v_o pada gambar 2.3 b bergantung pada t_{on} dan t_{off} . Dalam metode pengontrolan ini disebut dengan PWM switching, *Duty* rasio saklar D , yang didefinisikan sebagai

rasio dari pada durasi untuk periode waktu switching yang bervariasi. Untuk saklar dari konverter sendiri bervariasi seperti MOSFETs, IGBTs, MCTs, *power* BJT atau GTOs. (Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, 2003)

Ada empat topologi dasar dari konverter dc-dc. Empat topologi dasar dan satu topologi yang sudah dikembangkan dari konverter dc-dc adalah *buck converter*, *boost converter*, *buck-boost converter*, *cuk converter* dan *converter* yang sudah dikembangkan yaitu *SEPIC converter*.

2.2.1 Buck Converter

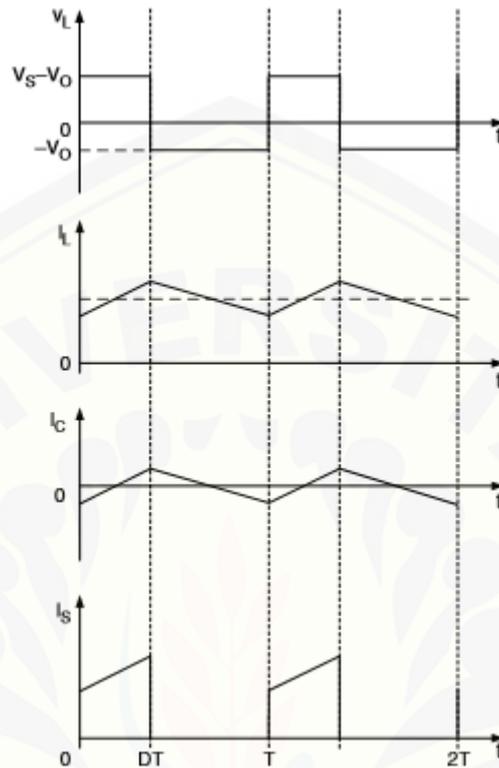
Buck converter adalah salah jenis dc-dc *converter* yang dapat disebut juga dengan step-down dc-dc *converter*. Topologi ini dapat disebut dengan step-down dc-dc *converter* dikarenakan fungsi dari konverter tipe ini adalah untuk menurunkan tegangan. Konverter ini terdiri dari sumber tegangan masukan dc V_s , kemudian saklar kontrol S seperti MOSFET, IGBT dan GTO, dioda D , filter induktor L , filter kapasitor C dan beban resistansi R . Untuk rangkaian dari *buck converter* dan karakteristik bentuk gelombang dapat dilihat pada gambar 2.4 dan 2.5. (Rashid, 2007)



Gambar 2.3 Rangkaian *buck converter* (Rashid, 2007)

Pada rangkaian gambar 2.3 merupakan rangkaian *buck converter* yang terdiri dari sumber tegangan, sebuah saklar, sebuah dioda, sebuah induktor, sebuah kapasitor dan beban resistansi. Pada saklar dari rangkaian *buck converter* akan dikontrol durasi dari switching. Durasi switching ini dikenal dengan *duty* rasio atau *duty cycle*. Untuk *buck converter* sendiri yang berguna untuk menurunkan tegangan *duty* rasio yang diberikan pada saklar adalah di bawah 0.5.

Untuk waktu atau durasi pensaklaran dari *buck converter* sendiri akan lebih jelas pada gambar 2.4



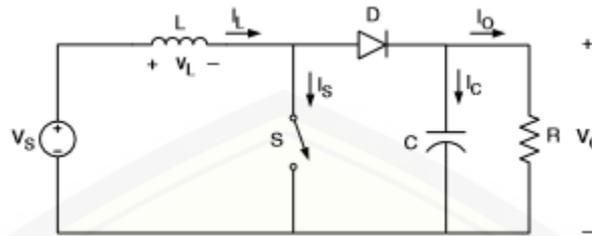
Gambar 2.4 Bentuk gelombang *buck converter* CCM

Kondisi konverter dimana arus dari induktor tidak pernah menyentuh angka nol selama beberapa periode disebut dengan (CCM). Hal ini dapat dilihat dari rangkaian ketika saklar diperintahkan dalam keadaan on, dioda berada pada keadaan *reverse biased*. Ketika saklar berada pada keadaan *off*, dioda menghantarkan arus dan mendukung arus yang tidak terganggu dalam induktor. (Rashid, 2007)

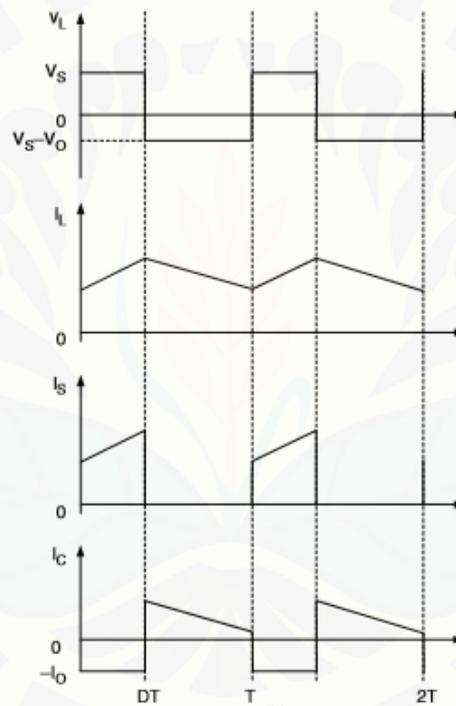
2.2.2 Boost Converter

Boost converter dapat disebut juga dengan step-up atau sebuah PWM *boost converter*. Converter jenis ini disebut step-up karena fungsi dari *boost converter* sendiri adalah menaikkan tegangan yang keluar dari *converter* ini. Converter ini terdiri dari tegangan sumber V_s , induktor L , saklar terkontrol S , dioda D , filter kapasitor C dan beban resistansi R . *converter* dengan bentuk

gelombang CCM dapat dilihat pada gambar 2.6 dan rangkaian dari *boost converter* dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Rangkaian *boost converter*

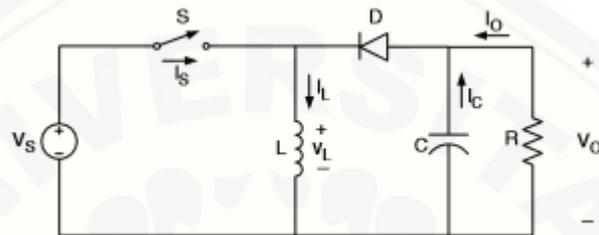


Gambar 2.6 bentuk gelombang *boost converter* CCM

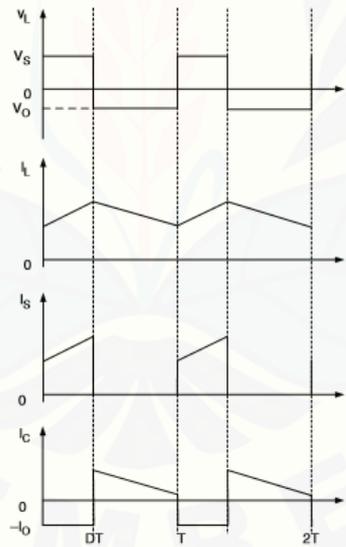
Ketika saklar dalam kondisi on, arus dalam *boost* induktor bertambah secara linier. Pada waktu ini dioda berada pada keadaan *off*. Ketika saklar berada pada keadaan *off*, energi yang tersimpan dalam induktor dilepaskan melalui dioda ke *input* rangkaian RC.

2.2.3 Buck-Boost Converter

Converter jenis ini adalah gabungan antara dua jenis converter sebelumnya yaitu *buck converter* dan *boost converter*. Converter ini terdiri dari tegangan masukan dc V_s , saklar terkontrol S, induktor L, dioda D, filter kapasitor C dan beban resistansi R. Untuk rangkaian dari *buck-boost converter* dan bentuk gelombangnya dapat dilihat pada gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2.7 Rangkaian *Buck-Boost Converter*

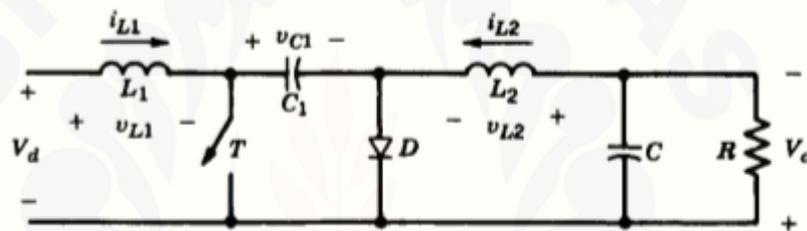


Gambar 2.8 Bentuk gelombang *Buck-Boost Converter*

Tegangan keluaran V_o dari *buck-boost converter* ini adalah negative. Besar nilai tegangannya dapat lebih besar atau lebih kecil dan bernilai sama pada saat $D = 0,5$. nama dari *converter* mengindikasikan besar tegangan keluaran yang dihasilkan, *buck converter* lebih kecil dari tegangan masukan, *boost converter* lebih besar dari tegangan masukan.

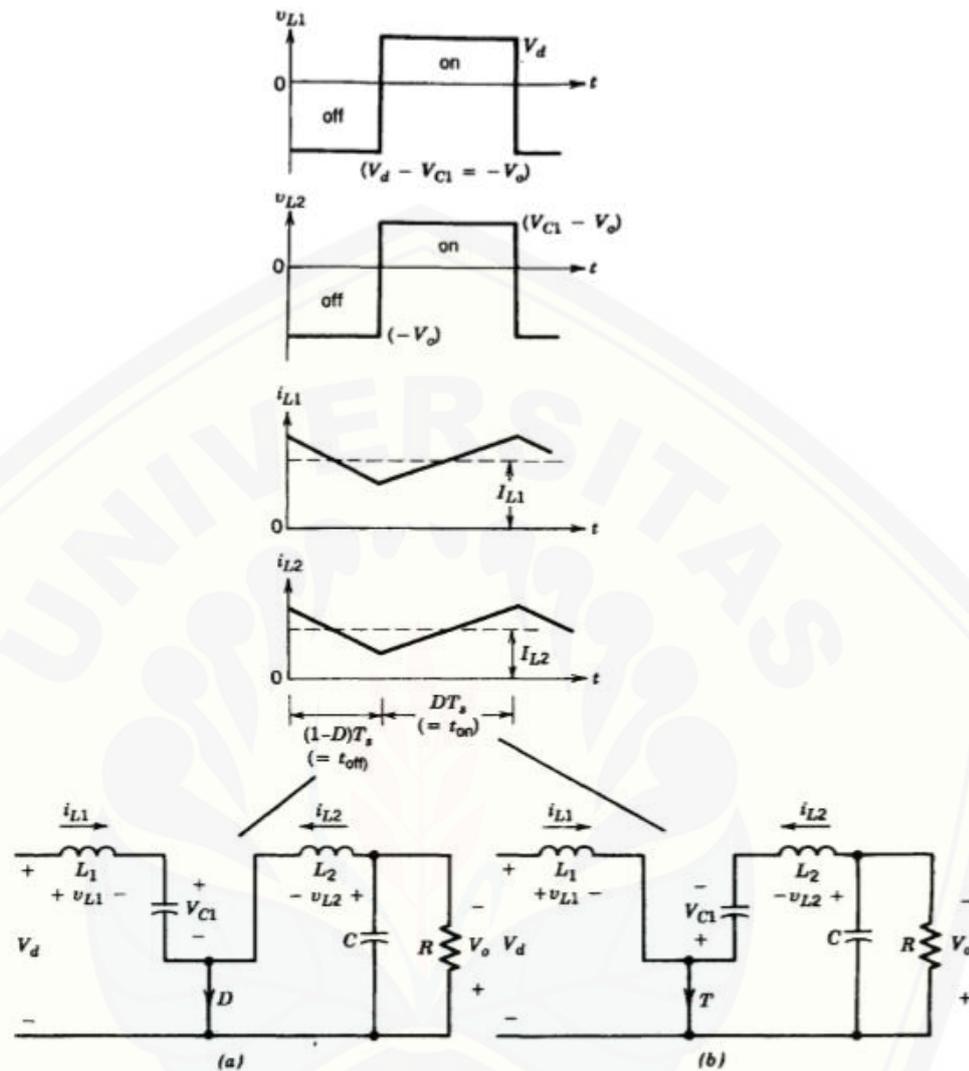
2.2.4 CUK Converter

Converter ini diperoleh dengan menggunakan dua prinsip dari sebuah *buck-boost converter*. Sama dengan *buck-boost converter*, *cuk converter* menghasilkan tegangan keluaran berpolaritas negative. Converter ini terdiri dari tegangan masukan dc V_D , input induktor L_1 , saklar terkontrol S , kapasitor transfer energi C_1 , dioda D , filter induktor L_2 , filter kapasitor C dan beban resistansi R . Pada *converter* ini kapasitor C_1 yang memiliki peran utama untuk menyimpan dan mentransfer energi dari *input* ke *output*. Untuk gambar rangkaian dari CUK *converter* sendiri dapat dilihat pada gambar 2.9 dan bentuk gelombang pada gambar 2.11 (Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, 2003)



Gambar 2.9 Rangkaian CUK Converter

Dalam keadaan steady state, tegangan induktor rata-rata V_{L1} dan V_{L2} bernilai nol. Ketika saklar dalam keadaan *off*, arus induktor i_{L1} dan i_{L2} mengalir melalui dioda. Kapasitor C_1 terisi melalui dioda dengan energi dari dua sisi yaitu dari masukan dan L_1 . Arus i_{L1} berkurang karena V_{C1} lebih besar daripada *input* V_D , energi yang tersimpan dalam L_2 memberi umpan pada keluaran sehingga i_{L2} juga berkurang. Ketika saklar dalam kondisi *on*, V_{C1} membalikkan bias dioda, arus induktor i_{L1} dan i_{L2} mengalir melalui saklar



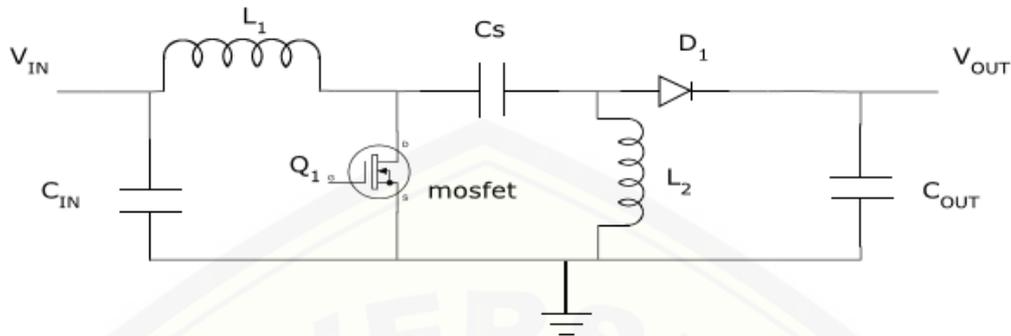
Gambar 2.10 Bentuk gelombang CUK converter (a) saklar off; (b) saklar on (Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, 2003)

2.2.5 SEPIC Converter

a. Penjelasan dan cara kerja SEPIC converter

Single-ended-primary-inductance converter (SEPIC) adalah salah satu topologi DC/DC converter yang menghasilkan tegangan keluaran positif dari sebuah masukan tegangan yang bervariasi. DC/DC SEPIC ini membutuhkan dua buah induktor, kapasitor C_p dan kapasitor C_{out} , tegangan masukan, saklar terkontrol Q_1 , sebuah dioda dan beban resistansi. Cara kerja dari rangkaian

DC/DC SEPIC pada saat steady state CCM, operasi PWM, dan mengabaikan tegangan *ripple*. (Falin, 2008)



Gambar 2.11 Rangkaian sederhana SEPIC (Soumya Ranjan Behera, Thabir Kumar Meher, 2013)

Sebuah konverter SEPIC yang berada pada keadaan CCM (Continuous Conduction Mode) adalah jika arus yang melewati induktor L1 tidak pernah berada pada posisi nol. Saat keadaan steady state, rata – rata tegangan yang melalui kapasitor Cs adalah sama dengan tegangan *input*. Ini dikarenakan kapasitor Cs menghambat arus secara langsung, rata – rata arus yang melewati Cs adalah nol, yang membuat induktor L2 sama dengan rata – rata arus pada beban dan karena tegangan *input*. Melihat dari rata – rata tegangan, dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$V_{in} = V_{L1} + V_{cs} + V_{L2} \quad (2.3)$$

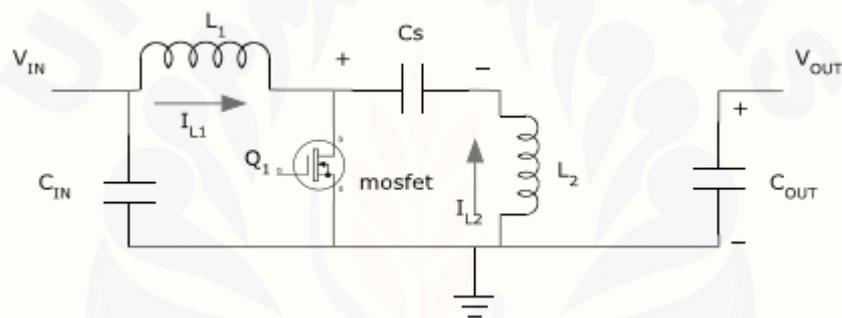
Karena tegangan rata- rata dari Vcs sama dengan Vin maka

$$V_{L1} = -V_{L2} \quad (2.4)$$

Alasan ini lah yang membuat kedua induktor dapat disingging pada inti yang sama. Karena tegangannya sama dengan besarnya, efek induktansi akan bernilai nol. Hal ini dapat diasumsikan bahwa polaritas dari *coil* adalah benar. Karena tegangan – tegangan tersebut sama dengan besarnya, arus *ripple* dari kedua induktor akan sama dengan besarnya. Rata – rata arus dapat dinyatakan sebagai:

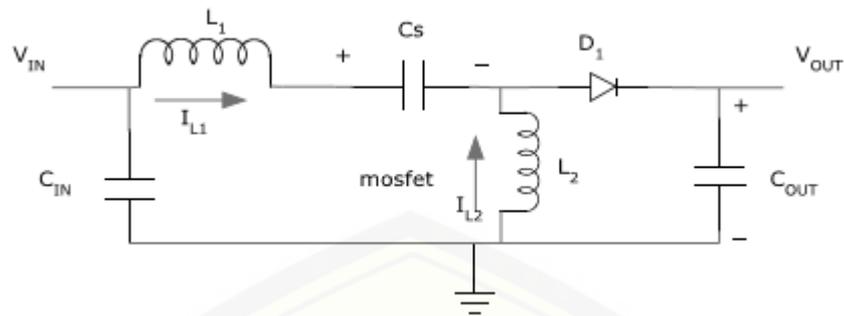
$$I_{D1} = I_{L1} - I_{L2} \quad (2.5)$$

konverter tipe SEPIC ini dapat digunakan untuk menaikkan maupun menurunkan tegangan masukan dari V_{in} . Dalam menaikkan dan menurunkan tegangan ini, konverter SEPIC bergantung pada *duty cycle* yang diatur untuk men-trigger saklar kontrol seperti MOSFET. Untuk menurunkan tegangan, *duty cycle* yang digunakan untuk men-trigger saklar adalah lebih kecil dari 50% sedangkan untuk membuat tegangan keluaran yang lebih besar dibandingkan dengan tegangan masukan yaitu dengan mengubah *duty cycle* yang digunakan untuk men-trigger MOSFET lebih besar daripada 50%. Namun ketika *duty cycle* yang diatur adalah 100% maka tegangan yang keluar dari konverter akan menjadi sama dengan tegangan masukan.



Gambar 2.12 SEPIC pada keadaan on (CCM)

Pada gambar 2.12 dapat dilihat ketika Q1 pada keadaan on, arus pada I_{L1} bertambah dan arus pada I_{L2} bertambah dalam arah negatif. Energi untuk mengisi arus pada I_{L1} datang dari sumber *input*. Dikarenakan Q1 dalam keadaan short ketika ditutup, dan tegangan sesaat pada V_{cs} diasumsikan adalah V_{in} , tegangan V_{L2} diasumsikan adalah $-V_{in}$. Karena hal tersebut, kapasitor C_s menyuplai energi untuk menambah besaran arus pada I_{L2} dan sekaligus menambah energi yang tersimpan pada I_{L2} .



Gambar 2.13 SEPIC pada keadaan off (CCM)

Ketika saklar Q1 dalam keadaan off, arus I_{Cs} menjadi sama seperti arus I_{L1} , karena induktor tidak akan mengijinkan perubahan secara drastis dalam arus. Arus I_{L2} akan terus dalam arah negatif, dalam faktanya, arus I_{L2} tidak pernah berbalik arah. Ini dapat dilihat dalam Gambar 2.13 bahwa I_{L2} negatif akan menambahkan arus I_{L1} untuk menambah arus yang ditransfer ke beban. Dengan menggunakan hukum kirchoff

$$I_{D1} = I_{Cs} - I_{L2} \quad (2.6)$$

Jadi, ketika Q1 off, daya dikirimkan ke beban melalui L2 dan L1. Kapasitor coupling (C_s), di-charged oleh L1 selama *off cycle*, dan akan men-charge kembali L2 dalam keadaan on. Kemampuan *buck/boost* dari SEPIC dapat terjadi karena kapasitor C_s dan induktor L2. Induktor L1 dan saklar Q1 membuat *standard boost converter*, yang mana menghasilkan sebuah tegangan (V_{Q1}) yang lebih besar daripada V_{IN} . besarnya ditentukan oleh *duty cycle* dari saklar Q1. Sebab tegangan rata – rata yang melalui C_s adalah V_{IN} , maka tegangan *output* (V_{out}) adalah

$$V_{out} = V_{Q1} - V_{in} \quad (2.7)$$

Jika V_{Q1} lebih kecil daripada dua kali V_{in} , maka tegangan keluaran akan lebih kecil daripada tegangan *input*. Jika V_{Q1} lebih besar daripada dua kali V_{IN} , maka tegangan *output* akan lebih besar daripada tegangan *input*.

Pada DC/DC SEPIC ini gate MOSFET di-trigger oleh gelombang pulsa kotak. MOSFET adalah suatu saklar, ketika on, tegangan melalui MOSFET adalah nol yang berarti drain ke sumber tegangan adalah nol. Ketika MOSFET off, suplai tegangan dibangun melalui MOSFET. Jadi menurut keadaan on dan off dari MOSFET, sebuah pulsa gelombang kotak didapatkan melalui drain ke sumber, yang disebut dengan tegangan melalui MOSFET.



Gambar 2.14 Tegangan yang melalui MOSFET terhadap waktu

Ketika MOSFET dinyalakan, inductor L_1 sedang memulai *charging* melalui MOSFET. Jadi, arus yang melalui inductor dan MOSFET mulai bertambah. Ketika MOSFET dimatikan, maka tidak ada arus yang akan mengalir melaluinya.



Gambar 2.15 Arus melalui MOSFET terhadap waktu

Dioda adalah salah satu saklar dalam SEPIC. Dioda dalam keadaan on, ketika tegangan anoda lebih dari tegangan pada katoda. Selama MOSFET menyala, tidak ada arus yang melalui dioda. Karena tegangan melalui dioda adalah negative. Ketika MOSFET dalam keadaan off, kapasitor coupling mulai *charging* dan inductor L_2 *discharging* melalui dioda. Jadi mulanya arus berada pada titik puncaknya, kemudian arus perlahan – lahan berkurang (Soumya Ranjan Behera, Thabir Kumar Meher, 2013)

b. Desain SEPIC *converter*

Dalam mendesain SEPIC *converter* dibutuhkan perhitungan – perhitungan untuk mendapatkan nilai komponen yang sesuai. Komponen – komponen utama SEPIC *converter* adalah inductor 1 dan inductor 2, kemudian MOSFET, kapasitor 1 dan kapasitor *output*. Untuk mendesain komponen – komponen tersebut dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Duty cycle,} \quad D = \frac{V_{out} + VD}{V_{in} + V_{out} + VD} \quad (2.8)$$

$$\text{Duty cycle maksimum,} \quad D_{max} = \frac{V_{out} + VD}{V_{in (min)} + V_{out} + VD} \quad (2.9)$$

$$\text{Duty cycle minimum,} \quad D_{min} = \frac{V_{out} + VD}{V_{in (max)} + V_{out} + VD} \quad (2.10)$$

D = *duty cycle*

V_{out} = Tegangan keluaran DC/DC SEPIC pada Beban (V)

V_{in} = Tegangan masukan atau tegangan keluaran dari TEG (V)

VD = tegangan *forward drop* dari dioda D1 (diasumsikan 0.5)

$$\text{Mencari induktor,} \quad L = L1 = L2 = \frac{V_{in} D}{\Delta IL f} \quad (2.11)$$

$$\text{Arus ripple induktor,} \quad \Delta IL = I_{out} \times \frac{V_o}{V_s (min)} \times 40\% \quad (2.12)$$

$$\text{Jumlah lilitan induktor,} \quad N = 100 \sqrt{\frac{\text{Nilai } L \text{ (uH)}}{AL \left(\frac{\text{uH}}{100} \text{turn}\right)}} \quad (2.13)$$

L = induktor (H)

f = frekuensi switching pada Arduino Mega (Hz)

ΔIL = arus *ripple* induktor (A)

I_{out} = arus keluaran pada beban DC/DC SEPIC (A)

N = Jumlah lilitan

Mencari kapasitor *output* (C2),
$$C2 \geq \frac{I_{out} \times D_{max}}{V_{ripple} \times f \times VD} \quad (2.13)$$

Tegangan *ripple*,
$$\Delta V_{c1} = \frac{I_{out} \times D_{max}}{C \times f} \quad (2.14)$$

ESR (Equivalent Series Resistance),
$$ESR \geq \frac{V_{ripple} \times VD}{IL1(peak) \times IL2(peak)} \quad (2.15)$$

Arus puncak L1,
$$IL1(peak) = I_{out} \times \frac{V_{out} + VD}{V_{in(min)}} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \quad (2.16)$$

Arus puncak L2,
$$IL2(peak) = I_{out} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \quad (2.17)$$

Arus rms C1,
$$I_{c1(rms)} = I_{out} \times \sqrt{\frac{V_{out} + VD}{V_{in(min)}}} \quad (2.18)$$

Arus rms Cin,
$$I_{cin(rms)} = \frac{\Delta IL}{\sqrt{12}} \quad (2.19)$$

C = kapasitansi (F)

R = resistansi (Ω)

ΔV_{c1} = tegangan *ripple* (V)

IL(peak) = arus puncak pada inductor (A)

$I_{c1(rms)}$ = arus rms pada C1 (A)

Arus *peak* MOSFET,
$$IQ1 = IL1(peak) + IL2(peak) \quad (2.20)$$

Daya MOSFET,

$$PQ1 = IQ1^2 \times R_{ds(on)} \times D_{max} \times (V_{in(Min)} + V_{out})$$

$$\times IQ1(peak) \times \frac{Q_{GD} \times f}{I_g} \quad (2.21)$$

IQ1 = Arus pada MOSFET

PQ1 = Daya disipasi MOSFET

Tegangan dioda, $V_{RD1} = V_{in} (\text{Max}) + V_{out} (\text{Max})$ (2.21)

V_{RD1} = Tegangan reverse dioda

c. Daya losses SEPIC

Efisiensi *converter* berpengaruh terhadap daya yang dapat dihasilkan. Efisiensi sendiri dipengaruhi oleh rugi – rugi daya (*power losses*). Rugi – rugi daya yang dihasilkan oleh SEPIC dipengaruhi oleh komponen – komponen penyusunnya. Komponen – komponen pada SEPIC memiliki tahanan masing – masing yang dapat menghilangkannya daya yang dikeluarkan oleh *converter* dikarenakan telah terserap oleh masing – masing komponen tersebut. Persamaan 2.22 sampai dengan 2.24 merupakan rugi – rugi daya yang terdapat pada MOSFET.

$$P_{r_{DS}} = r_{DS} \cdot I_{L1rms}^2 = \frac{D r_{DS} I_o^2}{P_o + P_{LS}} = \frac{D r_{DS} P_o}{(1-D)^2 \cdot RL} \quad (2.22)$$

$$P_{sw} = F_s \cdot C_o \cdot V_{sm}^2 = F_s \cdot C_o (V_s + V_o)^2 \quad (2.23)$$

$$P_{FET} = P_{r_{DS}} + P_{sw} = \frac{D r_{DS} I_o^2}{(1-D)^2} + \frac{1}{2} F_s \cdot C_o (V_s + V_o)^2 \quad (2.24)$$

$P_{r_{DS}}$ = Rugi hambatan dalam MOSFET

P_{sw} = Rugi daya switching

P_{FET} = Total rugi daya MOSFET

Persamaan 2.25 merupakan persamaa untuk menghitung rugi daya pada dioda

$$P_D = P_{VF} + P_{RF} = V_f I_o + \frac{R_f I_o^2}{1-D} = \left[\frac{V_f}{V_o} + \frac{R_f}{(1-D)R_f} \right] P_o \quad (2.25)$$

P_D = Rugi daya dioda

Persamaan 2.26 dan 2.27 merupakan perhitungan untuk rugi – rugi daya yang terdapat pada inductor 1 dan 2.

$$P_{rL1} = r_{L1} I_{in_{Lrms}}^2 \quad (2.26)$$

$$P_{rL2} = r_{L2} I_{out_{Lrms}}^2 \quad (2.27)$$

P_{rL1} = Rugi daya pada inductor 1

P_{rL2} = Rugi daya pada inductor 2

Persamaan 2.28 sampai dengan 2.30 adalah persamaan untuk menghitung rugi daya pada kapasitor

$$P_{Cs} = r_{Cs} I_{C_{Lrms}}^2 \quad (2.28)$$

$$P_{Cin} = r_{LCin} I_{in_{Lrms}}^2 \quad (2.29)$$

$$P_{Cout} = r_{LCout} I_{in_{Lrms}}^2 \quad (2.30)$$

P_{cs} = rugi daya pada kapasitor *coupling*

P_{cin} = rugi daya pada kapasitor *input*

P_{cout} = rugi daya pada kapasitor *output*

Untuk total rugi daya keseluruhan komponen dapat menggunakan persamaan 2.31

$$PLS = P_{FET} + P_D + P_{rL1} + P_{rL2} + P_{Cp} + P_{Cin} + P_{Cout} \quad (2.31)$$

PLS = Rugi daya SEPIC

2.3 Algoritma MPPT Pada TEG

MPPT atau yang juga bisa disebut dengan *maximum power point tracking* merupakan suatu sistem elektronik yang digunakan untuk mengontrol suatu objek untuk mendapatkan keluaran daya maksimal. *Maximum power point tracking* bukanlah sistem pelacakan mekanis, namun kontrol elektronis berkonsentrasi poin karakteristik tegangan dan arus pada suatu objek. Objek yang biasanya digunakan sebagai objek control dari *maximum power point tracking* adalah panel surya dan generator termoelektrik.

Pada dasarnya *maximum power point tracking* terdiri dari dc-dc *converter* dan kontrol digital. Untuk control dari MPPT sendiri berupa digital sehingga terdapat algoritma dalam penerapannya. Termoelektrik akan terhubung langsung dengan DC-DC *converter*, dimana sinyal *input* dari elemen termoelektrik yang berupa tegangan dan arus masuk ke dalam PWM(Pulse Width Modulation)

kontroler, yang nantinya diaplikasikan algoritma dalam perhitungan daya yang sinyalnya juga diambil dari *output* objek seperti panel surya maupun generator termoelektrik. Setelah semua informasi variable yang dibutuhkan dalam algoritma kontroler sudah diterima, maka kontroler akan menghasilkan sinyal *output*nya berupa PWM yang dikirimkan ke DC-DC *converter*.

Metode MPPT dibedakan menjadi 2:

1. *Direct*

a. *Perturb and Observe (P&O)*

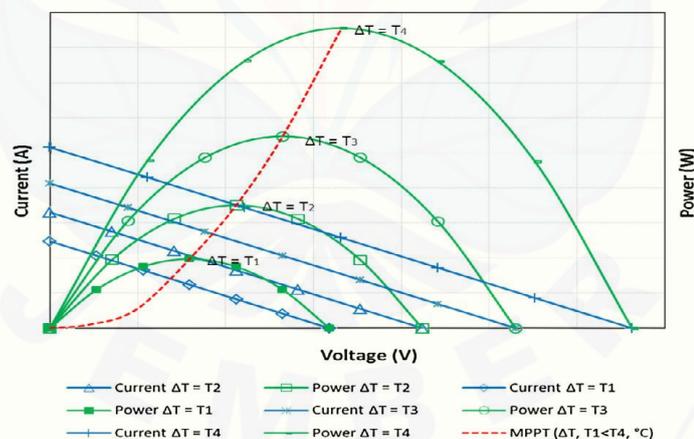
2. *Indirect*

a. *Constant Voltage Method.*

b. *fractional open circuit method*

Untuk algoritma yang biasa digunakan yaitu *perturb and observe* (P&O) karena komputasi yang mudah dan cepat.

P&O disebut juga dengan metode *hill climbing*, yang mengacu pada karakteristik V-P dari sel surya maupun termoelektrik.



Gambar 2.16 Grafik hubungan antara tegangan-arus, tegangan-daya dan kurva karakteristik MPP pada beberapa perbedaan temperature

Pada gambar 2.16 ditunjukkan sebuah grafik yang menunjukkan hubungan antara daya, tegangan dan arus dan juga karakteristik dari *maximum power point tracking* saat pada beberapa perbedaan suhu yang terjadi pada termoelektrik. Pada dasarnya pada algoritma MPPT akan mengubah nilai dari *duty cycle* dalam

kontrolnya. *Duty cycle* yang dimaksud dalam hal ini adalah PWM, jadi ketika ada pembacaan *input* tegangan dan arus yang berasal dari objek, selanjutnya akan diproses oleh MPPT dan didapatkan daya yang diinginkan. Setelah itu MPPT akan membandingkan dengan data daya pada data pengambilan yang sebelumnya apakah lebih besar atau lebih kecil dibandingkan setelah menggunakan MPPT, apabila lebih besar maka data daya diperbarui sesuai dengan algoritma kemudian disimpan dan *duty cycle* akan ditambah. tujuan ditambahnya *duty cycle* disini adalah untuk menaikkan arus atau tegangan, setelah itu dilakukan pengambilan data lagi dengan data yang telah disimpan sebelumnya, apabila sudah belum mendapatkan data yang diinginkan maka *duty cycle* diturunkan, tujuan dari penurunan nilai dari *duty cycle* adalah untuk mengurangi nilai tegangan atau arus pada *output* setelah melewati kontroler.

Ada tiga parameter yang dapat menentukan kualitas suatu sistem MPPT (Kang Yi, Yang Lu fa, 2009), yaitu:

- a. Perubahan yang mengacu pada respon waktu dalam pencarian daya tertinggi. Ketika terdapat perubahan lingkungan atau ketika sistem baru dimulai, semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai maksimum, semakin bagus algoritma yang digunakan, sedangkan semakin lama waktu yang dibutuhkan, maka semakin buruk.
- b. Kestabilan mengacu pada besar fluktuasi yang terjadi ketika telah mencapai daya maksimum ketika tidak terjadi perubahan keadaan lingkungan, semakin kecil fluktuasi yang terjadi, semakin bagus sistem MPPT tersebut
- c. Perbandingan antara daya keluaran yang actual dalam satu periode waktu dengan daya maksimum yang diukur pada kondisi kerja Generator termoelektrik. Rasio daya didapatkan menggunakan persamaan

$$\text{Rasio Daya} = \frac{\text{Daya Aktual}}{\text{Daya Maksimum Teoritis}} \times 100\% \quad (2.5)$$

Semakin besar daya rasio yang diperoleh, semakin baik algoritma MPPT yang digunakan.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Adapun tempat dan waktu penelitian, pengujian dan analisis dilakukan secara umum dilakukan di :

Tempat : Lab. Sistem Tenaga Fakultas Teknik Universitas Jember

Alamat : Jl. Slamet Riyadi No. 62, Patrang, Kabupaten Jember

Waktu : Oktober 2016 - Januari 2017

3.1.2 Waktu penelitian

Tabel 3.1 Waktu penelitian

No	Kegiatan	Bulan															
		Oktober				November				Desember				Januari			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan	■															
2	Studi Literatur		■	■	■												
3	Perancangan konverter dan generator				■	■	■	■									
4	Pembelian Alat, Bahan						■	■	■								
5	Prototype generator								■	■	■	■	■				
6	Pembuatan SEPIC								■	■	■	■	■				
7	pengujian												■	■	■	■	
8	Analisis Data												■	■	■	■	■
9	kesimpulan															■	■

3.2 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian yang akan dilakukan terdapat serangkaian tahap yang harus dilewati demi mencapai tujuan penelitian yang diharapkan. Diantara tahap – tahap dalam penelitian ini secara garis besarnya meliputi:

1. Tahap studi literatur

Tahap ini merupakan tahap yang membantu dalam menemukan referensi penelitian dengan topik pembahasan yang sama, untuk digunakan sebagai acuan penelitian yang akan dilakukan. Juga digunakan sebagai tolak ukur validitas penelitian yang diperoleh nantinya.

2. Tahap desain dan perencanaan

Tahap desain dan perencanaan ini adalah tahap untuk mendesain dan merancang jenis DC *Chopper* maupun MPPT yang akan digunakan untuk *converter* dari TEG itu sendiri.

3. Tahap Pembuatan Alat

Setelah tahap desain dan perancangan dengan menggunakan perhitungan matematis selesai, kemudian dibuat implementasi DC *Chopper* yang dikontrol menggunakan MPPT P&O.

4. Pengujian DC *Chopper* dan MPPT

Setelah melakukan pembuatan alat, selanjutnya adalah pengujian sistem, apakah alat yang direncanakan dan telah dibuat dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Yaitu alat dapat digunakan untuk *charging* baterai 6 V 4.5 Ah.

5. Tahap pengambilan data

Setelah tahap – tahap bagian sebelumnya dilakukan dan tidak terdapat gangguan pada rangkaian DC *Chopper* dan algoritma dari MPPT maka tahap yang selanjutnya adalah tahap pengambilan data dari keluaran TEG yang telah dihubungkan dengan TEG

6. Tahap analisis data

Setelah tahap – tahap bagian sebelumnya dilakukan dan tidak ada masalah, kemudian hasil dari data yang diperoleh dari implementasi alat, selanjutnya dianalisis dan dilakukan perbandingan antara jurnal dan hasil.

3.3 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang perlu dipersiapkan untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

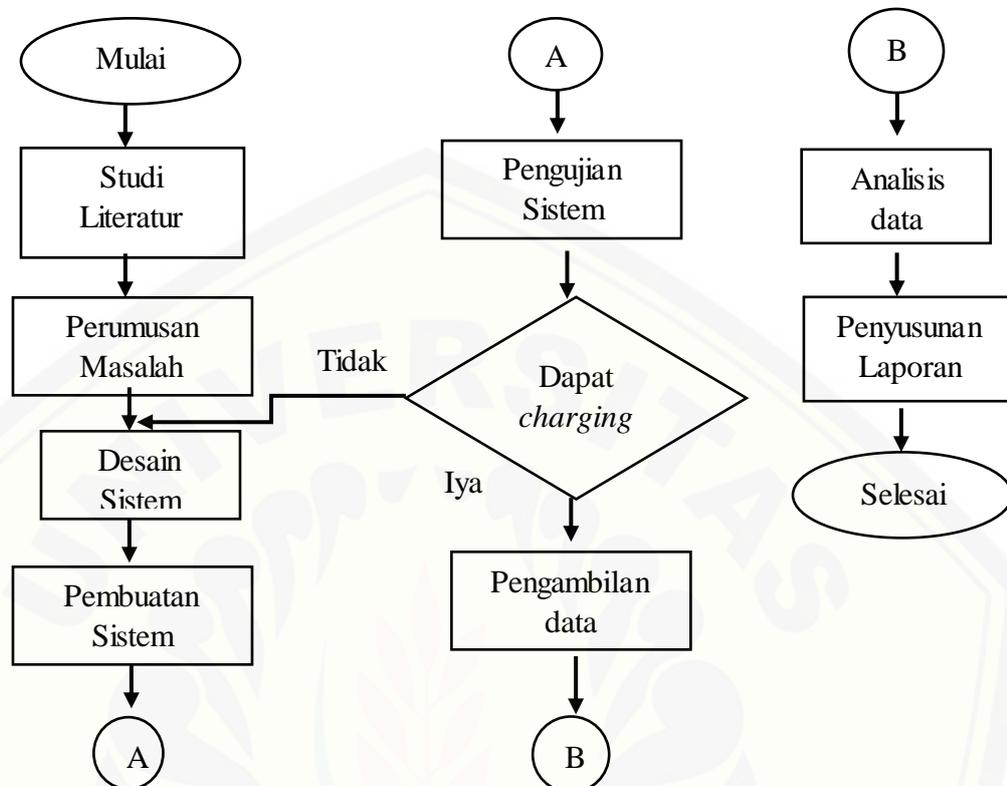
Alat :

1. PC/Laptop
2. LCR meter
3. Datalogger
4. Mikrokontroler arduino mega
5. Kompor konvensional
6. Laptop
7. Infra red termometer
8. Electrical Tool set

Bahan :

1. termoelektrik TE-MOD-10W4V-40
2. DC *converter* SEPIC
3. Baterai VRLA 6V 4.5 Ah
4. Sensor arus dan tegangan (INA219)
5. Kayu bakar
6. Pendingin generator
7. Alumunium
8. Thermal paste
9. Induktor
10. Toroid
11. Kapasitor
12. Dan bahan penunjang lainnya.

3.4 Diagram Alir Penelitian



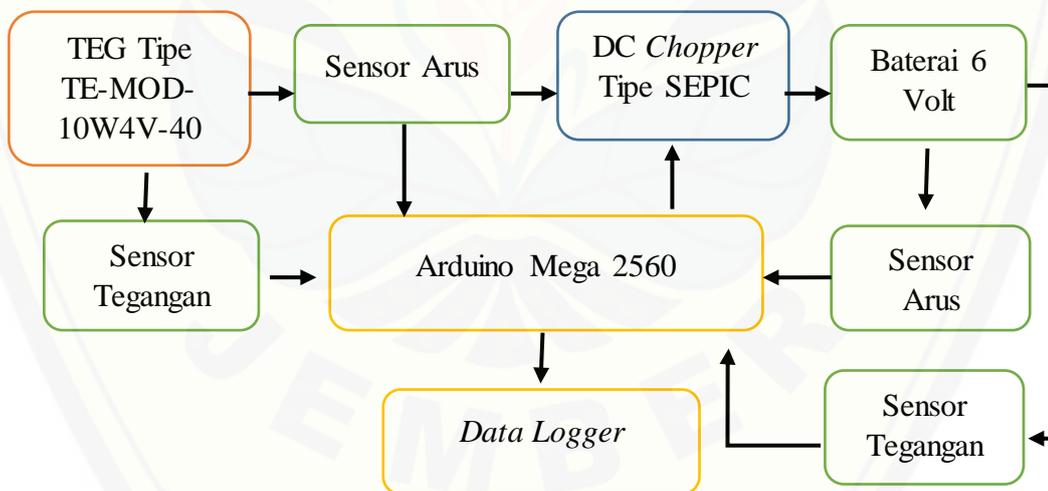
Gambar 3.1 Diagram penelitian

Seperti yang dijelaskan pada gambar 3.1, untuk penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur terhadap penelitian dengan topik maupun objek bahasan yang sama. Setelah didapatkan beberapa literatur atau referensi mengenai topik, kemudian dirumuskan masalah yang menjadi tujuan utama dari penelitian. Dalam penyelesaian masalah yang telah dirumuskan tadi, digunakan beberapa metode tertentu. Dalam penelitian ini diperlukan termoelektrik generator, DC *Chopper* dengan algoritma MPPT agar dapat mengambil data. Sehingga perlu didesain rangkaian DC *Chopper* dan algoritma MPPT yang pas untuk memudahkan dalam pengambilan data.

Ketika desain sistem DC *Chopper* dan MPPT telah direncanakan maka selanjutnya adalah pembuatan sistem itu sendiri. Dalam pembuatan sistem ini nantinya akan dilakukan perhitungan. Setelah dilakukan perhitungan kemudian

akan diimplementasikan dalam bentuk alat atau *hardware*. Setelah rangkaian tadi diimplementasikan kemudian dilakukan pengujian rangkaian dengan *charging* baterai 6 V 4.5 Ah. Saat alat dapat digunakan untuk *charging* baterai maka akan dilakukan pengambilan data yang berupa tegangan (V), arus (I), daya (P) dan suhu (ΔT). Jika sistem tersebut masih belum berjalan dengan baik maka dilakukan tinjauan dalam desain dan perencanaan. Jika sistem dapat berjalan dengan baik dan dapat digunakan untuk pengambilan data, maka dilakukan pengambilan data dengan menggunakan sistem tersebut. Setelah dilakukan pengambilan data, selanjutnya adalah menganalisis data tersebut dengan melihat performa dari TEG sebelum dan setelah dihubungkan dengan DC/DC SEPIC. Setelah data tersebut selesai dianalisis kemudian dilakukan penyusunan laporan penelitian agar dapat menjadi acuan bila terdapat suatu penelitian yang menyangkut topik pada penelitian ini.

3.5 Blok Diagram Sistem



Gambar 3.2 Blok diagram sistem

Pada gambar 3.2 menunjukkan diagram blok sistem yang akan digunakan untuk alat pengambilan data. Pada blok diagram sistem tersebut, untuk sumbernya adalah menggunakan 3 TEG yang dirangkai seri kemudian keluaran tegangan pada TEG tersebut dihubungkan pada DC *Chopper*. Pada DC *Chopper* itu sendiri

diberi algoritma MPPT dengan menggunakan Arduino mega 2560 untuk mendapatkan optimasi daya, tegangan maupun arus pada saat maksimalnya. Kemudian dari DC *Chopper* tadi keluarannya disalurkan ke baterai 6 Volt. Untuk sensor arus dan tegangan pada sistem tersebut digunakan sebagai acuan untuk program MPPT P&O. Pada Arduino mega tersebut juga terpasang *data logger* yang digunakan untuk pengambilan data tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sistem tersebut.

3.5.1 Modul TEG TE-MOD-10W4V-40

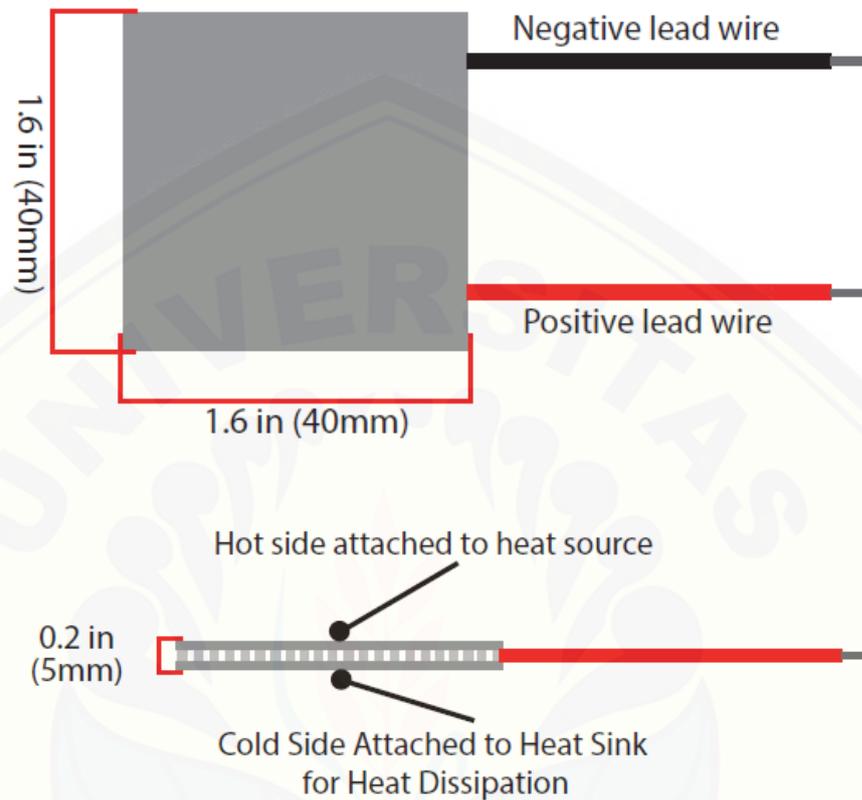
Modul termoelektrik ini didesain dengan teknologi khusus untuk mengubah sumber bersuhu panas langsung menjadi listrik. Modul termoelektrik Bi-Te ini dapat bekerja secara kontinyu atau terus menerus pada suhu tinggi yaitu 330°C (626°F) dan dapat mencapai hingga 400°C (752°F) tanpa mengurangi mutu modul. Modul termoelektrik ini akan menghasilkan energi dalam bentuk DC selama ada perbedaan panas yang ada pada kedua sisi modul. Energi keluaran dan efisiensi akan bertambah seiring dengan perbedaan suhu yang ada pada kedua sisi modul termoelektrik generator. Untuk datasheet dari modul TEG TE-MOD-10W4V-40 dapat dilihat seperti pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Datasheet TEG TE-MOD-10W4V-40 (TEGpro, 2014)

Suhu Sisi Panas ($^{\circ}\text{C}$)	300
Suhu Pada Sisi Dingin ($^{\circ}\text{C}$)	30
Tegangan Open Circuit (V)	8
Beban (ohms)	1.59
Tegangan Keluaran Saat Diberi Beban (V)	4
Arus Keluaran Saat Diber Beban (A)	2.4
Daya Keluaran Saat diberi Beban (W)	9.8

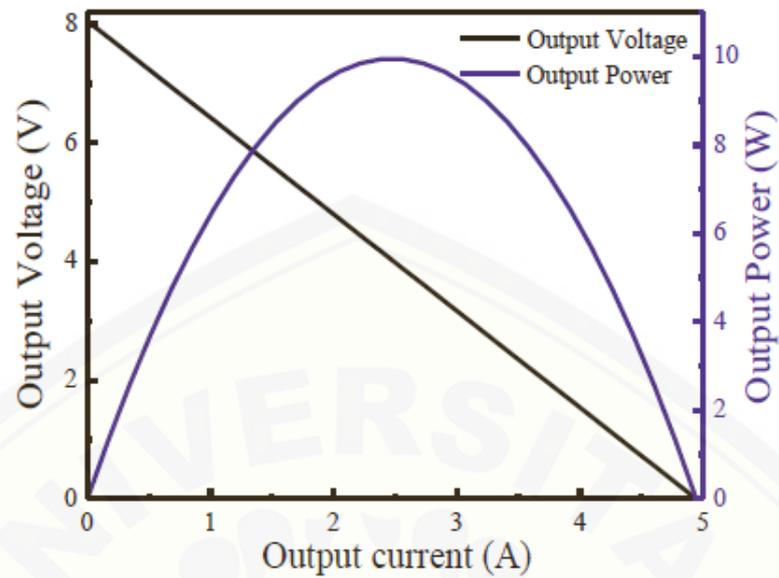
Pada tabel 3.2 dijelaskan tentang spesifikasi dari termoelektrik generator dengan tipe TE-MOD-10W4V-40 dimana dengan suhu 300°C pada sisi panas dan 30°C pada sisi dingin dengan beban 1.59 ohm didapatkan tegangan keluaran saat open circuit atau tanpa beban yaitu sebesar 8 Volt kemudian saat diberi beban

yaitu sebesar 4 Volt dengan arus keluaran dan daya saat diberi beban adalah sebesar 2.4 Ampere dan 9.8 Watt.



Gambar 3.3 Dimensi TEG

Gambar 3.3 merupakan gambar dan dimensi dari TEG TE-MOD-10W4V-40 yang akan digunakan dalam penelitian. Untuk panjang dan lebar tiap sisi TEG adalah sebesar 1,6 inch (40 mm) kemudian untuk ketebalan dari TEG adalah 0,2 inch (5mm).



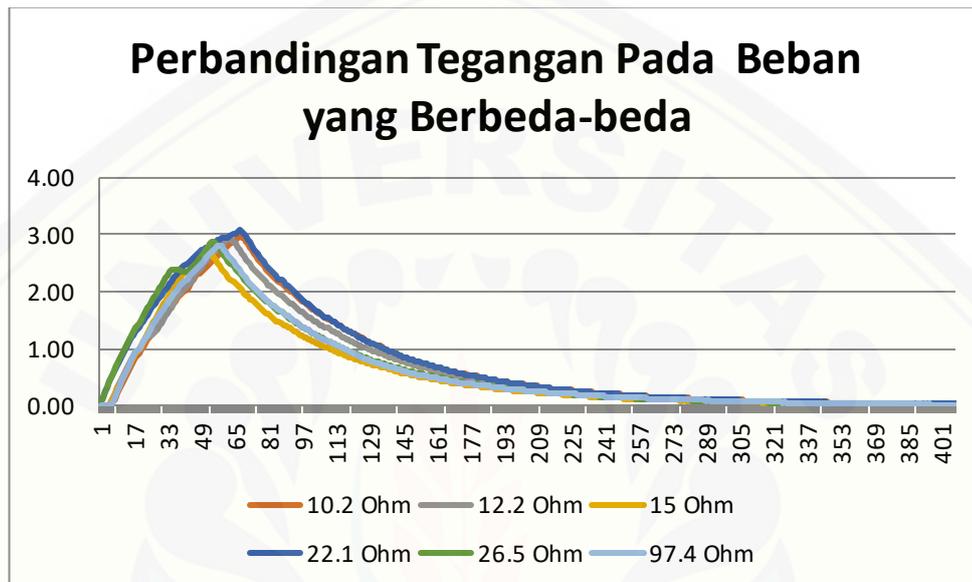
Gambar 3.4 Grafik Karakteristik TEG TE-MOD-10W4V-40 (TEGpro, 2014)

Grafik pada gambar 3.3 menunjukkan karakteristik dari TEG TE-MOD-10W4V-40 saat sisi panas dari modul tersebut diberikan suhu sebesar 300°C dan pada sisi dingin diberikan suhu sebesar 30°C .

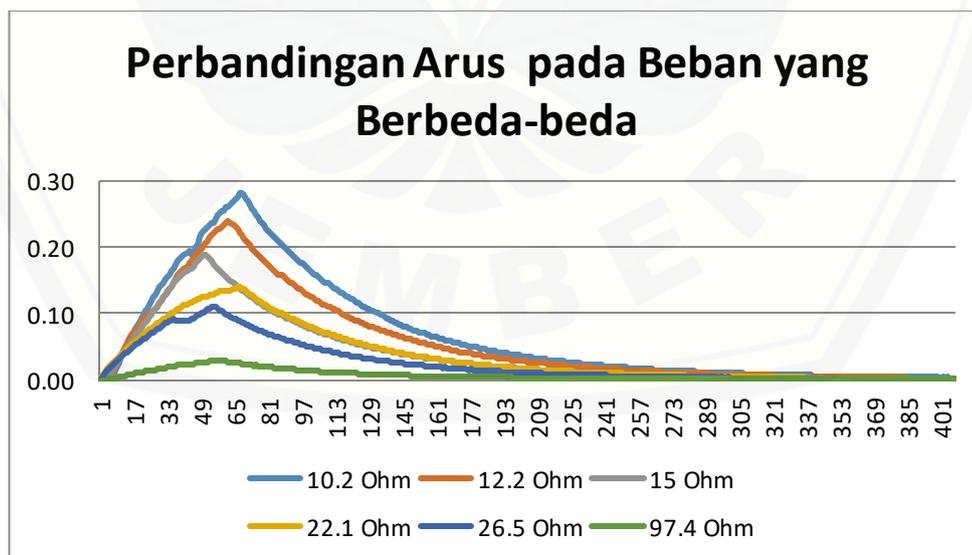


Gambar 3.5 Percobaan pengambilan data dengan 1 elemen generator

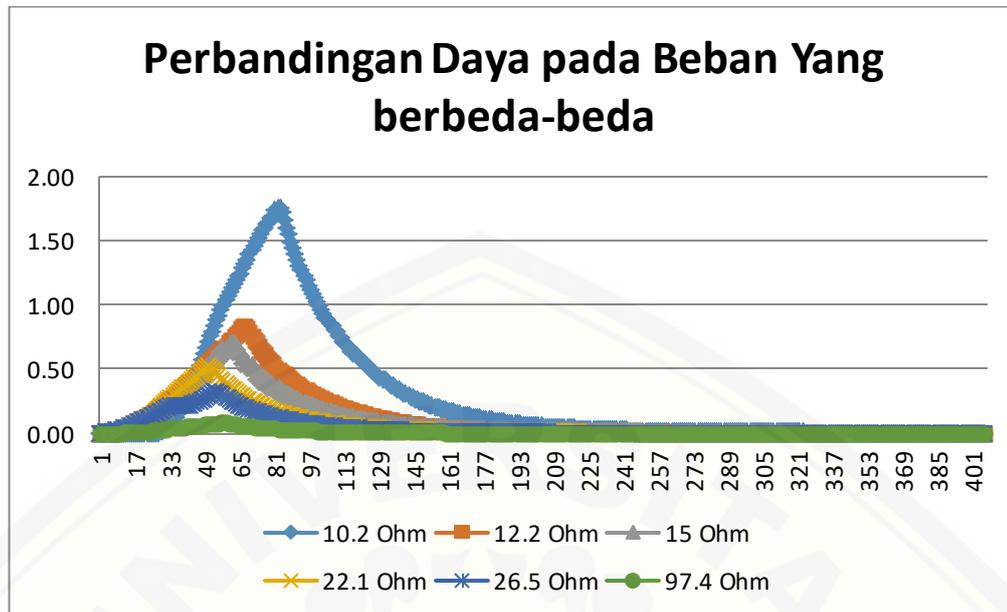
Untuk percobaan yang telah dilakukan menggunakan pemanas kompor konvensional dengan pendingin berupa kipas angin dan *heatsink* menggunakan satu buah elemen generator termoelektrik tipe TE-MOD-10W4V-40 seperti pada gambar 3.4 kita mendapatkan tegangan, arus dan daya seperti gambar 3.5, gambar 3.6, gambar 3.7 dan gambar 3.8.



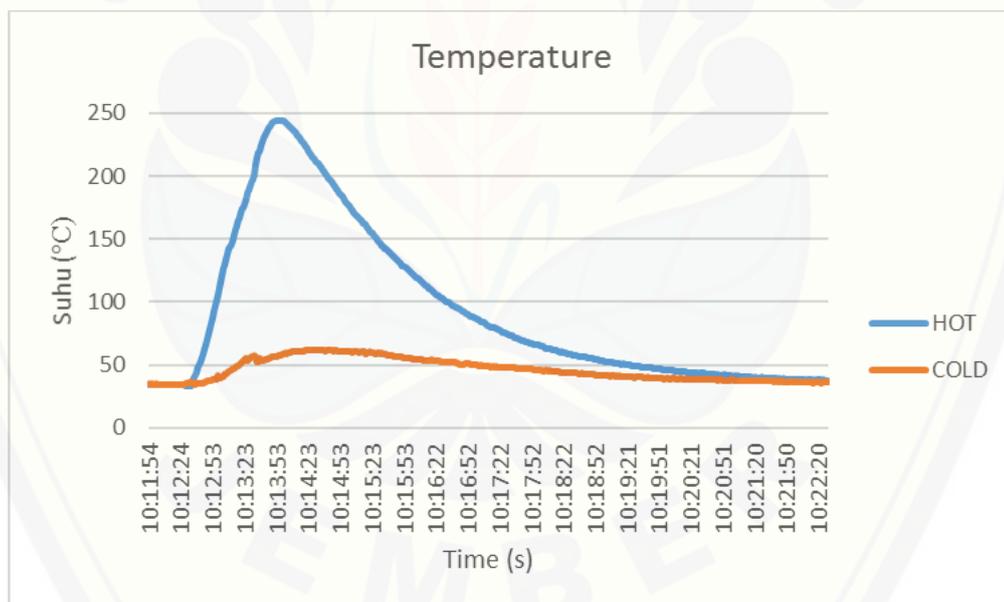
Gambar 3.6 Perbandingan tegangan pada beban yang berbeda – beda



Gambar 3.7 Perbandingan arus pada beban yang berbeda – beda



Gambar 3.8 Perbandingan daya pada beban yang berbeda – beda



Gambar 3.9 Perbandingan Suhu

Untuk generator termoelektrik yang digunakan pada penelitian akan digunakan tiga buah elemen generator termoelektrik yang disusun secara seri untuk mendapatkan tegangan yang lebih besar.

Untuk membandingkan data efisiensi dari TEG yang belum dihubungkan dengan DC/DC SEPIC dan data dari TEG yang telah dihubungkan dengan

DC/DC SEPIC, terdapat beberapa perhitungan matematis untuk mendapatkan nilai efisiensi tersebut. Sebelum mencari efisiensi terdapat parameter penting seperti tegangan, arus dan daya keluaran.

Persamaan – persamaan penting untuk mencari parameter – parameter tersebut adalah sebagai berikut:

$$\text{Tegangan keluaran, } V_o = \alpha \Delta T \quad (3.1)$$

V_o = tegangan keluaran (V)

α = koefisien seebeck (V/ °C)

ΔT = perbedaan temperature hot side dan cold side ($T_h - T_c$) (°C)

$$\text{Daya keluaran, } P_o = \frac{(\alpha \Delta T)^2}{4 R} = V_o \cdot I_o = V_o (V_{oc} - V_o) / R_{in} \quad (3.2)$$

P_o = daya keluaran (watt)

R_{in} = tahanan dalam (ohm)

$$\text{Efisiensi, } \varepsilon = \frac{T_h - T_c}{T_h} \frac{\sqrt{1 + ZT} - 1}{\sqrt{1 + ZT} + \frac{T_c}{T_h}} \quad (3.3)$$

ε = efisiensi

T_h = suhu sisi panas (°C)

T_c = suhu sisi dingin (°C)

ZT = koefisien merit

Perhitungan tersebut digunakan untuk mengetahui seberapa optimal pembangkit TEG dapat beroperasi sehingga dapat diketahui tingkat kelayakannya saat diterapkan (Jamaluddin Khalily, Supriyadi Prasetyono, Bambang Sri Kaloko, 2015). sehingga didapatkan data yang digunakan untuk perbandingan antara performa sebelum dan sesudah digunakan DC/DC SEPIC.

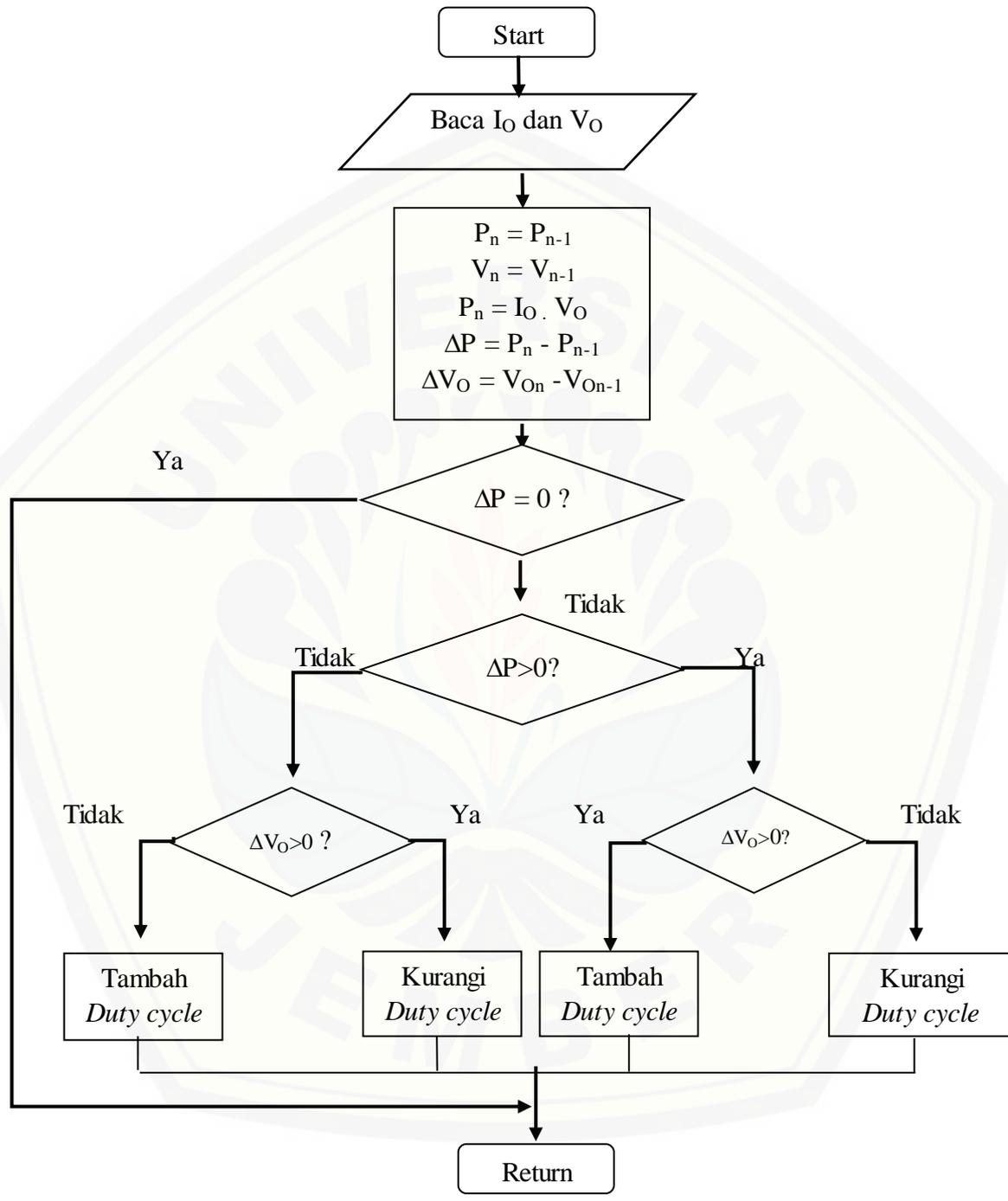
3.5.2 Baterai VRLA

Baterai yang digunakan pada penelitian ini merupakan baterai dengan kapasitas 6V/4.5Ah. Untuk spesifikasi baterai VRLA kapasitas 6V/4.5Ah secara lengkap dapat dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Spesifikasi Baterai VRLA LC-R064R5P

Nominal Voltage		6V
Rated capacity (20 Hour)		4.5 Ah
Dimensions	length	70 mm
	Width	48 mm
	Height	108 mm
	Total Height	100.0 mm
Capacity	20 Hours	4.5 Ah
	10 Hours	4.1 Ah
	3 Hour	3.6 Ah
	1 Hour	3.1 Ah
Approx. mass		0.70 kg

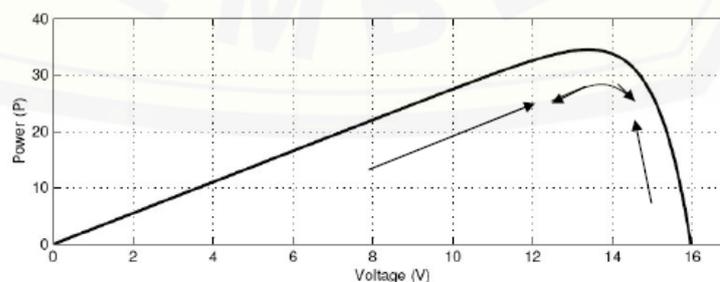
3.5.3 Algoritma MPPT *Perturb & observe* (P&O)



Gambar 3.10 Flowchart Algoritma P&O

Dalam proses *charging* baterai untuk mendapatkan daya keluaran yang maksimal digunakan controller MPPT. Pada penelitian ini akan digunakan MPPT dengan algoritma P&O. MPPT dengan algoritma P&O ini digunakan sebagai controller *duty cycle* pada switching dari DC *Chopper*. Dalam melakukan *charging* baterai 6 Volt, daya yang didapatkan untuk *charging* secara langsung tidak maksimal sehingga membuat *charging* baterai menjadi lebih lama. Dengan menggunakan controller MPPT algoritma P&O ini, dapat membuat daya yang keluar untuk *charging* baterai 6 volt lebih maksimal. Untuk memaksimalkan daya tersebut membutuhkan MPPT P&O dan DC/DC *converter*. Dengan menggunakan *converter*, daya akan meningkat disebabkan oleh proses switching *converter*. Untuk mengatur *duty cycle* pada proses switching *converter*, akan diberikan program MPPT P&O sehingga dapat mendapatkan daya yang maksimal untuk disalurkan ke baterai.

Pada Gambar 3.10 ditunjukkan flowchart dari cara kerja program controller MPPT P&O. untuk MPPT dengan algoritma P&O sendiri menggunakan parameter daya dan tegangan keluaran sebagai acuannya. Ketika perbedaan tegangan keluaran dan daya keluaran lebih besar daripada 0 maka MPPT akan menambah *duty cycle*. Ketika perbedaan tegangan keluaran dan daya keluaran lebih kecil dari 0 maka MPPT akan menambah nilai *duty cycle*. Kemudian ketika perbedaan daya keluaran lebih kecil dari 0 dan perbedaan tegangan keluaran lebih besar dari 0 maka MPPT akan mengurangi nilai *duty cycle*. Dan saat perbedaan daya keluaran lebih besar dari 0 dan perbedaan tegangan keluaran lebih kecil dari 0 maka MPPT akan mengurangi nilai dari *duty cycle*.

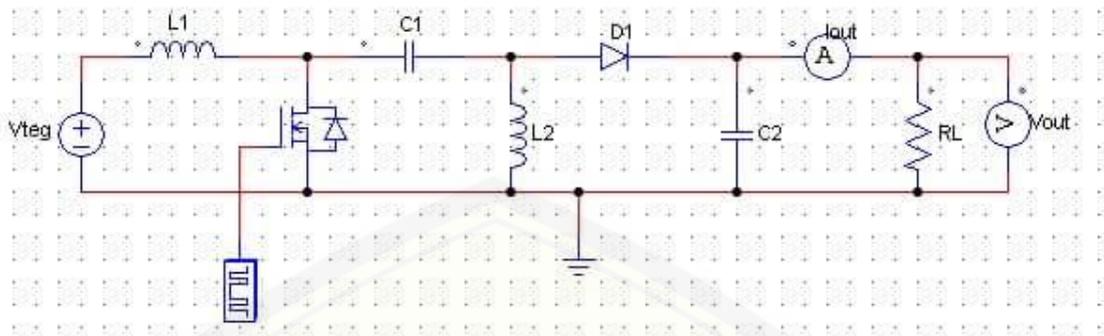


Gambar 3.11 Grafik Perturb and Observe

Untuk grafik cara kerja P&O dapat dilihat pada gambar 3.11. *Duty cycle* yang ada pada MPPT ini akan mentrigger saklar MOSFET pada DC/DC SEPIC. Jadi pada program MPPT P&O ini ketika perbedaan daya yang dihasilkan bernilai negatif atau daya yang keluar pada saat n adalah lebih besar daripada pada saat $n-1$ yaitu daya sebelumnya kemudian dibandingkan $\Delta V_o > 0?$. Maka algoritma P&O ini akan menambah atau mengurangi nilai *duty cycle* atau PWM yang telah diatur sebelumnya untuk mendapatkan daya yang maksimal. Namun ketika algoritma P&O perbedaannya bernilai positif yaitu lebih besar daripada daya yang sebelumnya maka akan dilakukan perbandingan $\Delta V_o > 0?$ untuk mengetahui saat itu kondisi titik daya berada pada sebelah kiri atau sebelah kanan dari titik maximum, sehingga *duty cycle* akan dikurangi atau ditambah untuk mencapai daya maksimumnya. Sedangkan ketika nilai daya yang keluar adalah sama dengan tegangan sebelumnya maka program tidak akan mengurangi atau menambah *duty cycle* Karena keluaran telah mencapai nilai maximumnya dan kembali membaca perubahan yang selanjutnya.

Prinsip kerja dari MPPT P&O sendiri adalah dengan mencari titik maksimal yaitu MPP (*Maximum Power Point*) dengan cara membandingkan daya terukur saat ini dengan daya yang terukur sebelumnya. Daya akan terus dibandingkan sehingga berada pada titik MPP nya yaitu pada saat perbedaan daya $\Delta P = 0$. Untuk P&O ini meskipun telah mendapat titik maksimumnya, dia tetap akan melakukan perbandingan dan penambahan, jika penambahan yang dilakukan menghasilkan keluaran yang lebih rendah maka program akan melakukan perbandingan lagi dan mengurangi *duty cycle*. Metode P&O ini disebut juga dengan metode *hill climbing*, Karena prinsip kerjanya yang terus menambahkan *duty cycle* untuk mendapatkan daya maksimum. Untuk penambahan maupun pengurangan *duty cycle* dari P&O ini sendiri adalah menggunakan pertambahan dan pengurangan sebesar 0,01.

3.5.4 Desain rangkaian DC Chopper Tipe SEPIC



Gambar 3.12 Rangkaian DC-DC SEPIC

Pada gambar 3.12 ditunjukkan rangkaian dari DC-DC Converter tipe SEPIC dimana untuk tipe SEPIC sendiri terdiri atas dua buah kapasitor dan dua buah induktor juga menggunakan satu buah dioda yang disusun seperti pada gambar 3.10. Untuk *duty cycle* yaitu yang digunakan untuk switching mosfet didapatkan dari MPPT P&O. Untuk TEG pada rangkaian ini akan digunakan 3 buah TEG dengan disusun secara seri. Untuk bebannya digunakan baterai 6 Volt.

Dalam desain sistem ini dilakukan pendesainan filter dari DC-DC Converter yang merupakan induktor dan kapasitor. Dalam pendesainan filter tersebut menggunakan perhitungan dengan menggunakan persamaan – persamaan berikut:

$$\text{Duty cycle,} \quad D = \frac{V_{out} + VD}{V_{in} + V_{out} + VD} \quad (3.4)$$

$$\text{Duty cycle maksimum,} \quad D_{max} = \frac{V_{out} + VD}{V_{in (min)} + V_{out} + VD} \quad (3.5)$$

$$\text{Duty cycle minimum,} \quad D_{min} = \frac{V_{out} + VD}{V_{in (max)} + V_{out} + VD} \quad (3.6)$$

D = *duty cycle*

Vout = Tegangan keluaran DC/DC SEPIC pada Beban (V)

Vin = Tegangan masukan atau tegangan keluaran dari TEG (V)

VD = tegangan *forward drop* dari dioda D1 (diasumsikan 0.5)

Mencari induktor,
$$L = L1 = L2 = \frac{V_{in} D}{\Delta IL f} \quad (3.7)$$

Arus *ripple* induktor,
$$\Delta IL = I_{out} \times \frac{V_o}{V_{s(\min)}} \times 40\% \quad (3.8)$$

L = induktor (H)

f = frekuensi switching pada Arduino Mega (Hz)

ΔIL = arus *ripple* induktor (A)

I_{out} = arus keluaran pada beban DC/DC SEPIC (A)

Mencari kapasitor *output* (C2),
$$C2 \geq \frac{I_{out} \times D_{max}}{V_{ripple} \times f \times VD} \quad (3.9)$$

Tegangan *ripple*,
$$V_{ripple} = \frac{I_{out} \times D_{max}}{C \times f} \quad (3.10)$$

ESR (Equivalent Series Resistance),
$$ESR \geq \frac{V_{ripple} \times VD}{IL1(peak) \times IL2(peak)} \quad (3.11)$$

Arus puncak L1,
$$IL1(peak) = I_{out} \times \frac{V_{out} + VD}{V_{in(\min)}} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \quad (3.12)$$

Arus puncak L2,
$$IL2(peak) = I_{out} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \quad (3.13)$$

Arus rms C1,
$$I_{c1(rms)} = I_{out} \times \sqrt{\frac{V_{out} + VD}{V_{in(\min)}}} \quad (3.14)$$

C = kapasitansi (F)

R = resistansi (Ω)

V_{ripple} = tegangan *ripple* (V)

$IL(peak)$ = arus puncak pada inductor (A)

$I_{c1(rms)}$ = arus rms pada C1 (A)

Pemilihan MOSFET, $I_{Q1} = I_{L1} (\text{peak}) + I_{L2} (\text{peak})$ (3.15)

I_{Q1} = Arus pada MOSFET

Tabel 3.4 Parameter desain DC/DC SEPIC

Tegangan Masukan	3 volt hingga 9 volt
Tegangan Keluaran	7.4 Volt
Arus Keluaran	1 A
Frekuensi Switching	124 kHz

Sebelum melakukan desain DC/DC SEPIC, kita memerlukan beberapa parameter yang penting dalam hal ini. Untuk parameter – parameter yang penting ini dapat dilihat pada tabel 3.4. Parameter ini ditentukan menurut baterai yang digunakan dalam sistem ini yaitu baterai 6 Volt dengan arus 4.5 Ah sehingga parameter – parameter yang dibutuhkan adalah seperti tabel 3.4.

Untuk langkah -langkah perhitungan DC/DC SEPIC adalah:

1. Menghitung *duty cycle*

$$D_{max} = \frac{7.4+0.5}{3+7.4+0.5} = 0.72$$

$$D_{min} = \frac{7.4+0.5}{9+7.4+0.5} = 0.46$$

2. Pemilihan induktor

Arus ripple:

$$\Delta I_L = I_{out} \times \frac{V_o}{V_{in} (\text{min})} \times 40\%$$

$$\Delta I_L = 1 \times \frac{7.4}{3} \times 40\% = 0.98 \text{ A}$$

Berdasarkan aturan yang baik, dalam menentukan induktansi adalah membiarkan arus *ripple peak to peak* menjadi kira – kira sebesar 40% dari arus *input* maksimum pada tegangan *input* minimalnya. (Zhang, 2013) Sehingga dalam rumus penentuan arus ripple dikalikan dengan 40%.

Induktansi:

$$L = L1 = L2 = \frac{V_{in} D}{\Delta I L f}$$

$$L = L1 = L2 = \frac{3 \times 0.72}{0.98 \times 124000} = 17.74 \text{ uH}$$

Arus puncak L1:

$$I_{L1(peak)} = I_{out} \times \frac{V_{out} + VD}{V_{in} (\text{min})} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right)$$

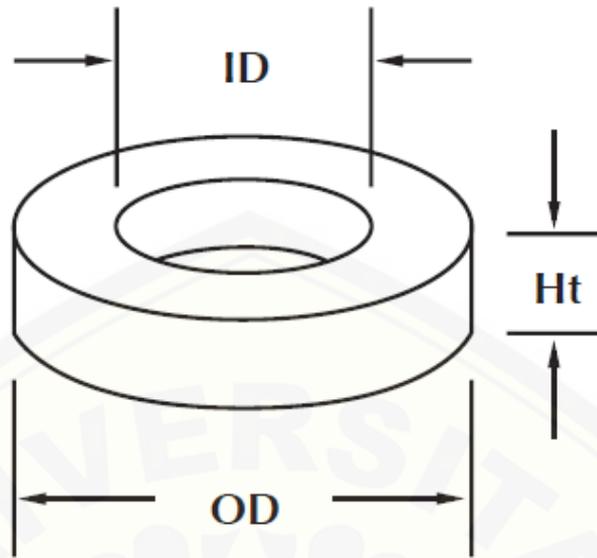
$$I_{L1(peak)} = 1 \times \frac{7.4+0.5}{3} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 3.16 \text{ A}$$

Arus puncak L2:

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

$$I_{L2(peak)} = 1 \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 1.2 \text{ A}$$

dalam hal ini kapasitas inductor 1 dan 2 yang dapat digunakan adalah sebesar 17,74 uH. Namun untuk pembuatan alat digunakan inductor dengan kapasitas 900 uH. Inductor dengan kapasitas 900 uH ini dibuat dengan menggunakan lilitan kawat email berdiameter 0,8 mm. Toroid yang digunakan merupakan toroid dengan bahan ferit yang bertipe FT 50-43.



Gambar 3.13 Dimensi toroid

Gambar 3.13 menunjukkan bentuk toroid dan bagian – bagian tooid. Untuk ID dari toroid yang digunakan adalah 7,15 mm kemudian OD sebesar 12,7 mm dan Ht sebesar 4,9 mm.

3. Pemilihan MOSFET

$$\begin{aligned} IQ1 &= IL1 \text{ (peak)} + IL2 \text{ (peak)} \\ &= 3.16 + 1.2 = 4.38 \text{ A} \end{aligned}$$

Arus RMS :

$$\begin{aligned} IQ1 \text{ (rms)} &= I_{out} \sqrt{\frac{(V_{out} + V_{in}(\text{Min}) + VD) \times (V_{out} + VD)}{V^2_{in}}} \\ &= 1,5 \sqrt{\frac{(7.4+3+0.5 \times (7.4+0.5))}{3^2}} \\ &= 1,529 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga dengan hasil tersebut digunakan MOSFET IRF 540 dengan rating arus maksimal ID (*continuous drain current*) saat suhu ruangan sebesar 20 A dan untuk batas maksimum tegangan VDS (*Voltage Drain to*

Source) dan *VGS (Voltage Gate to Source)* adalah sebesar ± 20 V dan 100 V.

4. Pemilihan kapasitor C1 atau Cs

Arus RMS pada C1 atau Cs:

$$I_{cs(rms)} = I_{out} \times \sqrt{\frac{V_{out} + VD}{V_{in(\min)}}}$$

$$I_{cs(rms)} = 1 \times \sqrt{\frac{7.4+0.5}{3}} = 1,623 \text{ A}$$

Untuk pemilihan kapasitor Cs atau kapasitor *coupling* adalah *rating* tegangan harus lebih besar daripada tegangan *input* maksimum dan memiliki arus *rating* RMS yang sesuai dengan daya keluaran. Dalam memenuhi hal ini kapasitor tantalum dan keramik sangat disarankan karena memiliki arus RMS yang tinggi. namun kapasitor elektrolit juga dapat bekerja dengan baik karena ukurannya tidak terbatas dan dapat mengakomodasi *rating* arus RMS yang dibutuhkan. Pada desain ini dipilih kapasitor elektrolit 10uF 50 V. karena kapasitor 10 uF 50 V elektrolit telah memenuhi arus *rating* RMS yang dibutuhkan.

5. Pemilihan kapasitor *output*

Vripple diasumsikan 2% dari tegangan *output*

$$V_{ripple} = 2\% \times 7.4 = 0.148 \text{ V}$$

Perhitungan ESR:

ESR kapasitor C2:

$$ESR \geq \frac{V_{ripple} \times VD}{I_{L1(peak)} \times I_{L2(peak)}}$$

$$ESR \geq \frac{0.148 \times 0.5}{3,16 \times 1,2} = 0.0195 \Omega$$

$$ESR \geq 20 \text{ m}\Omega$$

Perhitungan C_{out} :

$$C_{out} \geq \frac{I_{out} \times D_{max}}{V_{ripple} \times f \times VD}$$

$$C_{out} \geq \frac{1 \times 0.72}{0.148 \times 1240000 \times 0.5}$$

$$C_{out} \geq 78.46 \text{ uF}$$

Dari perhitungan kapasitor *output*, hasil yang diperoleh adalah sebesar 78,46 uF. Ini merupakan nilai minimal dari kapasitor yang dapat digunakan. Pada *converter* yang dipakai dipilih kapasitor dengan besar 1000 uF 35 volt sehingga dapat mereduksi *ripple* yang terjadi lebih baik.

$$I_{cin} (\text{rms}) = \frac{\Delta I_L}{\sqrt{12}} = 0.283 \text{ A}$$

Perhitungan matematis mengenai komponen – komponen DC/DC SEPIC berfungsi untuk mendapatkan komponen – komponen yang sesuai dengan tegangan maupun arus keluaran yang diinginkan menggunakan desain dari DC/DC SEPIC. Dari perhitungan yang telah dilakukan didapatkan beberapa nilai yang dibutuhkan untuk merancang DC/DC SEPIC, seperti nilai inductor 1 dan 2 kemudian kapasitor 1 dan 2 yang dapat dilihat seperti pada Tabel 3.5

Tabel 3. 5 Parameter perancangan DC/DC SEPIC

Tegangan <i>input</i>	3 – 9 Volt
Tegangan <i>output</i> (V_{out})	7.4 Volt
Arus <i>output</i> (I_{out})	1 A
Frekuensi switching (f)	124 kHz
Induktor 1 dan 2 (L_1 dan L_2)	900 uH
Kapasitor <i>output</i> (C_2)	3300 uF 35V
Kapasitor coupling (C_1)	10 uF 50V
<i>Duty min</i>	0.46
<i>Duty max</i>	0.72

3.5.5 Rugi – rugi daya SEPIC

Efisiensi *converter* berpengaruh terhadap daya yang dapat dihasilkan. Efisiensi sendiri dipengaruhi oleh rugi – rugi daya (*power losses*). Rugi – rugi daya yang dihasilkan oleh SEPIC dipengaruhi oleh komponen – komponen penyusunnya. Komponen – komponen pada SEPIC memiliki tahanan masing – masing yang dapat menghilangkannya daya yang dikeluarkan oleh *converter* dikarenakan telah terserap oleh masing – masing komponen tersebut. Persamaan 3.16 sampai dengan 3.18 merupakan rugi – rugi daya yang terdapat pada MOSFET.

$$Pr_{DS} = r_{DS} \cdot IL1rms^2 = \frac{D r_{DS} I_o^2}{Po+PLS} = \frac{D r_{DS} Po}{(1-D)^2 \cdot RL} \quad (3.16)$$

$$P_{SW} = Fs \cdot Co \cdot Vsm^2 = Fs \cdot Co (Vs + Vo)^2 \quad (3.17)$$

$$P_{FET} = Pr_{DS} + P_{sw} = \frac{Dr_{DS}I_o^2}{(1-D)^2} + \frac{1}{2}Fs \cdot Co (Vs + Vo)^2 \quad (3.18)$$

Pr_{DS} = Rugi hambatan dalam MOSFET

P_{sw} = Rugi daya switching

P_{FET} = Total rugi daya MOSFET

Persamaan 3.19 merupakan persamaa untuk menghitung rugi daya pada dioda

$$P_D = P_{VF} + P_{RF} = VfIo + \frac{RfIo^2}{1-D} = \left[\frac{Vf}{Vo} + \frac{Rf}{(1-D)Rf} \right] Po \quad (3.19)$$

P_D = Rugi daya dioda

Persamaan 3.20 dan 3.21 merupakan perhitungan untuk rugi – rugi daya yang terdapat pada inductor 1 dan 2.

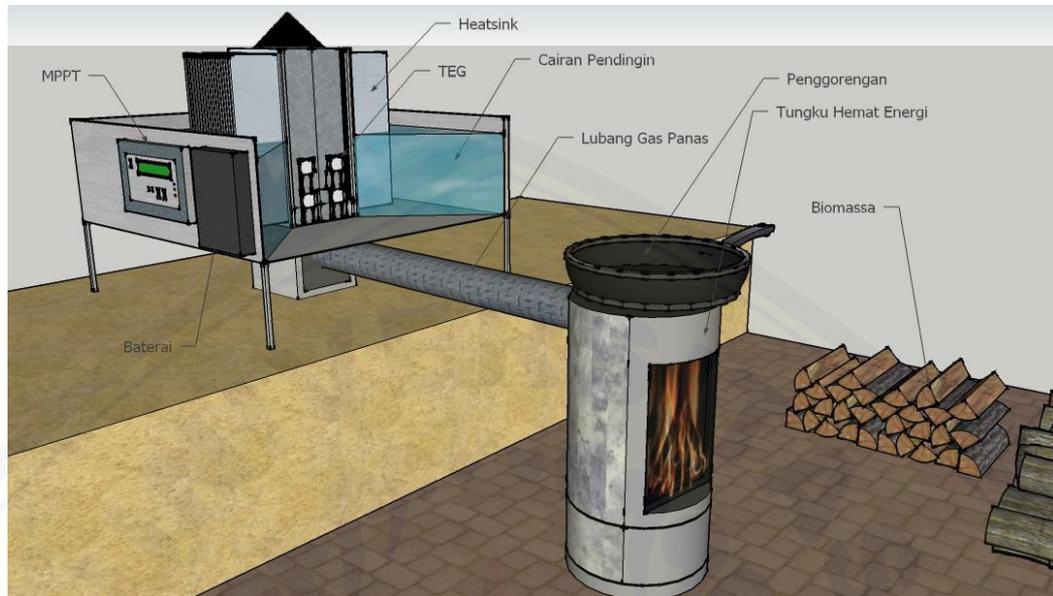
$$P_{rL1} = r_L I_{inLrms}^2 \quad (3.20)$$

$$P_{rL2} = r_{L2} I_{outLrms}^2 \quad (3.21)$$

P_{rL1} = Rugi daya pada inductor 1

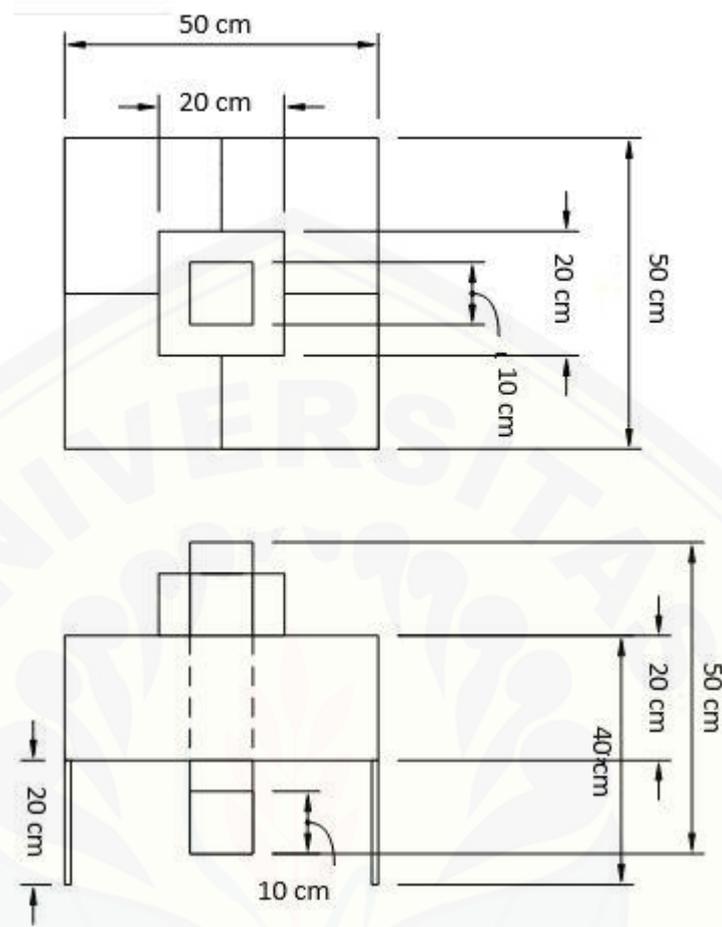
P_{rL2} = Rugi daya pada inductor 2

3.7 Desain Hardware



Gambar 3.14 Desain Termoelektrik Generator dengan MPPT P&O

Pada gambar 3.14 ditunjukkan desain TEG dengan menggunakan MPPT P&O. Dalam *prototype* tersebut terpasang 3 buah TEG yang dirangkai seri. Untuk sumber panas yang digunakan pada TEG sendiri digunakan pembakaran berada pada bagian bawah. Kemudian untuk meminimalisir asap yang diakibatkan dari pembakaran kayu digunakan filter asap. Untuk pendingin dari termoelektrik sendiri digunakan air dan *heatsink*. untuk dimensi dari *hardware* dapat dilihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Dimensi desain *hardware*

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

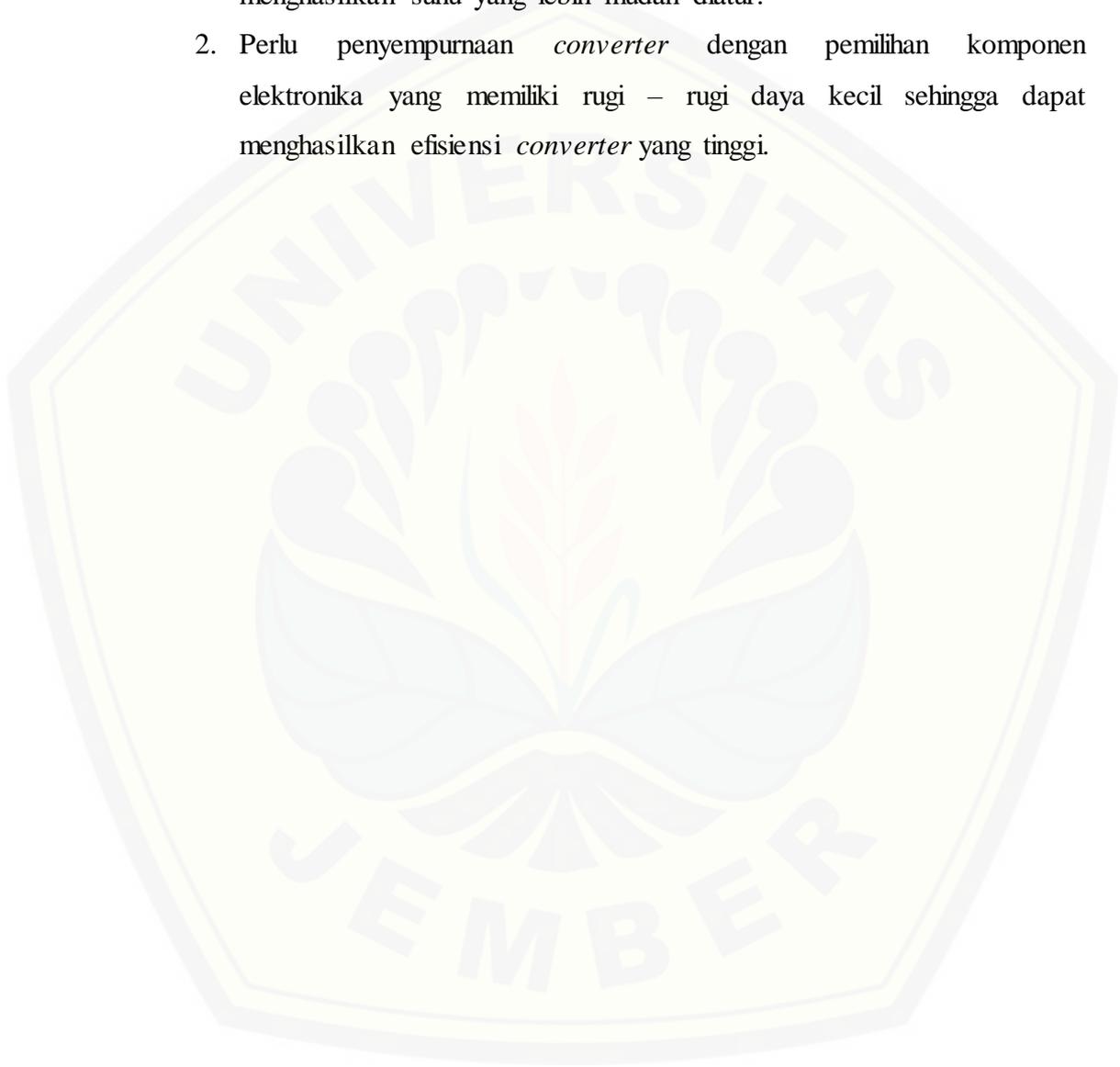
Dari penelitian yang berjudul “Penerapan Dc *Chopper* Tipe Sepic Menggunakan Kontrol *Perturb And Observe* (P&O) Berbasis Pada *Thermoelectric Generator*” dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. *Duty cycle* sangat berpengaruh terhadap performa SEPIC *converter* yang telah dirancang, saat *duty cycle* di atas 50% maka tegangan yang dikeluarkan oleh SEPIC *converter* akan lebih besar dibandingkan dengan tegangan *input* dan saat *duty cycle* di bawah 50% maka SEPIC *converter* bertindak sebagai *buck* atau penurun tegangan.
2. Performa dari SEPIC *converter* dipengaruhi oleh *duty cycle* yang digunakan, jika *duty cycle* yang digunakan kurang atau lebih dari *duty cycle* minimum dan maksimumnya yaitu 46% dan 72%, maka error yang terjadi pada *converter* akan semakin besar. Ketika dilakukan pengujian dengan kenaikan *duty cycle* 5% rata – rata kenaikan tegangan sebesar 1,56 volt ketika tanpa beban. Saat berbeban performa juga sangat dipengaruhi oleh arus yang masuk pada *converter*. Sehingga semakin kecil beban maka *power lost* juga akan semakin besar.
3. Performa control MPPT P&O dapat menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan ketika *direct coupled*, ketika melakukan *charging* dengan perbedaan suhu 101 °C, saat *direct charging* didapatkan daya sebesar 0,86 watt namun ketika menggunakan kontrol MPPT daya yang disalurkan ke beban adalah sebesar 1,15 watt atau mendapatkan kenaikan sebesar 33,7 %, sehingga dengan menggunakan MPPT P&O dapat memperoleh daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan ketika *direct* ke beban baterai 6 V 4,5 Ah.

5.2 Saran

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

1. Desain generator termoelektrik perlu penyempurnaan lagi agar dapat menghasilkan suhu yang lebih mudah diatur.
2. Perlu penyempurnaan *converter* dengan pemilihan komponen elektronika yang memiliki rugi – rugi daya kecil sehingga dapat menghasilkan efisiensi *converter* yang tinggi.



DAFTAR PUSTAKA

- Administrator. (2013, Juli 17). Retrieved from <http://www.esdm.go.id>
- Administrator. (2014, September 3). Retrieved from <http://www.esdm.go.id>
- Aksara, K. D. (2007). *Energi Alternatif*. Bogor: Yudhistira.
- D.M.Rowe, C.M. Bhandari. (1983). *Modern Thermoelectrics*. Virginia: Reston Publishing Company.
- Falin, J. (2008). Designing DC/DC converters based on SEPIC topology. *Texas Instruments Incorporated*, 18-23.
- Goldsmid, H. J. (2010). *Introduction to Thermoelectricity*. New York: Springer.
- Hayati Mamur, Rasit Ahiska. (2015). Application of a DC-DC boost converter with maximum power point tracking for low power thermoelectric generators. *Science Direct*, 265-272.
- J. Leema Rose and B. Sankaragomathi. (2016). Design, Modeling, Analysis and Simulation of a SEPIC Converter. *Middle-East Journal of Scientific Research* 24, 2302-2308.
- Jamaluddin Khalily, Suprihadi Prasetyono, Bambang Sri Kaloko. (2015). Pemanfaatan Potensi Sumber Air Panas Di Blawan Bondowoso Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berbasis Tec (Thermoelectric Cooler). *JAEI*, 1-6.
- Kang Yi, Yang Lu fa. (2009). The Perturbation and Observation's method based on the P-V rate of curve. *IEEE*, 1-4.
- Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins. (2003). *Power Electronics Converters, Applications, and Design Third Edition*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Rashid, M. H. (2007). *Power Electronics Handbook*. London: Academic Press.
- Sangeetha S., Jitha Joseph. (2016). Design and Implementation of SEPIC Converter Based PV System Using Modified Incremental Conductance Algorithm. *IEEE*.
- Shoilie Chakma, Nazmul Kabir Sikder, Shahidul Islam Khan, Suraiya Akhter. (2015). Implementation of Microcontroller Based Maximum Power Point Tracker (MPPT) Using SEPIC Converter. *IEEE*, 374-377.

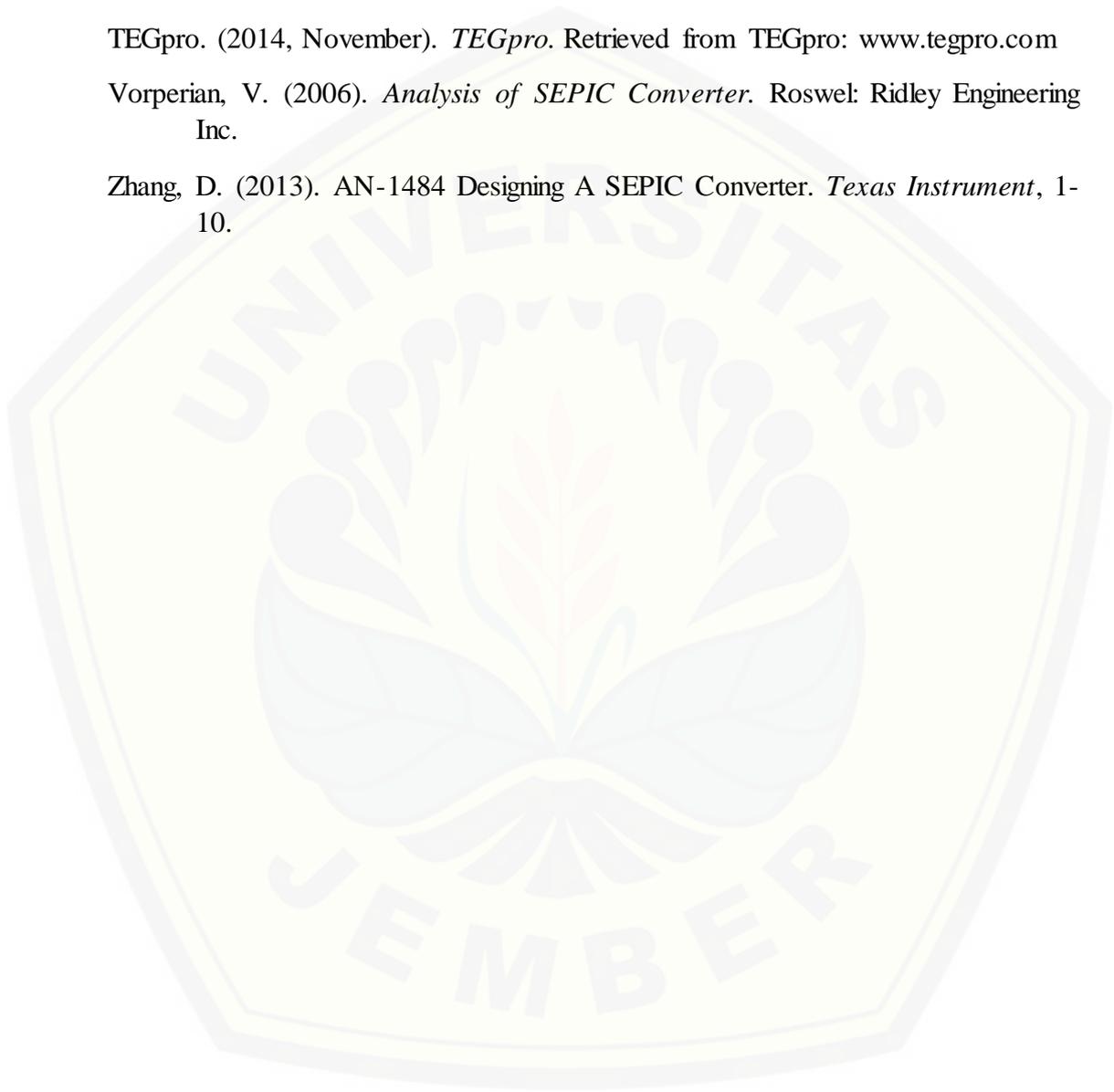
Slamet Riyadi, Fl. Budi Setiawan. (2013). Desain Buck-Boost Chopper Sebagai MPPT Berbasis Mikrokontroler. *Seri Kajian Ilmiah*, 59-65.

Soumya Ranjan Behera, Thabir Kumar Meher. (2013). *Design of Single Ended Primary Inductor DC-DC Converter*. Odisha: National Institute of Technology.

TEGpro. (2014, November). *TEGpro*. Retrieved from TEGpro: www.tegpro.com

Vorperian, V. (2006). *Analysis of SEPIC Converter*. Roswel: Ridley Engineering Inc.

Zhang, D. (2013). AN-1484 Designing A SEPIC Converter. *Texas Instrument*, 1-10.



LAMPIRAN

4.1 Kalibrasi Sensor



Kalibrasi sensor arus INA219



Kalibrasi sensor tegangan

Kalibrasi Termocouple



4.2 Data Pengujian Tanpa Beban

Pengujian Tanpa Beban Dengan Vin 3 V

<i>Duty cycle</i>	Performa Konverter				
	Vin	Vout	vteori	error	
0,4	40	3	2,5	2,0	25,00
0,45	45	3	2,9	2,5	18,15
0,5	50	3	3,1	3,0	3,33
0,55	55	3	3,76	3,7	2,55
0,6	60	3	4,51	4,5	0,22
0,65	65	3	5,51	5,6	1,10
0,7	70	3	6,8	7,0	2,86
0,75	75	3	8,56	9,0	4,89
0,8	80	3	12,08	12,0	0,67

Pengujian Tanpa Beban Dengan Vin 9 V

<i>Duty cycle</i>	Performa Konverter				
	Vin	vout	vteori	error	
0,4	40	9	8	6	33,33
0,45	45	9	8,4	7	14,07
0,5	50	9	9,07	9	0,78
0,55	55	9	11,4	11	3,64
0,6	60	9	13,79	14	2,15
0,65	65	9	16,81	17	0,57

0,7	70	9	20,7	21	1,43
0,75	75	9	25,86	27	4,22
0,8	80	9	35,42	36	1,61

4.3 Data Pengujian Dengan Beban

Pengujian konverter dengan V_{in} 3 dan Beban 39 ohm

No	Duty	Input Konverter			Output Konverter			Eff(%)
		V_{in}	I_{in} (A)	Pin	V_{out}	I_{out}	Pout	
1	40	3	0,030	0,090	1,670	0,040	0,067	74
2	45	3	0,040	0,120	2,030	0,040	0,081	68
3	50	3	0,060	0,180	2,400	0,050	0,120	67
4	55	3	0,110	0,330	3,080	0,070	0,216	65
5	60	3	0,160	0,480	3,640	0,080	0,291	61
6	65	3	0,220	0,660	4,260	0,100	0,426	65
7	70	3	0,310	0,930	4,800	0,110	0,528	57
8	75	3	0,430	1,290	5,170	0,120	0,620	48
9	80	3	0,510	1,530	4,350	0,100	0,435	28

Pengujian konverter dengan V_{in} 3 dan Beban 47 ohm

No	Duty	Input Konverter			Output Konverter			Eff(%)
		V_{in}	I_{in} (A)	Pin	V_{out}	I_{out}	Pout	
1	40	3	0,02	0,06	1,69	0,030	0,0507	85
2	45	3	0,033	0,099	2,06	0,04	0,0824	83
3	50	3	0,05	0,15	2,57	0,047	0,12079	81
4	55	3	0,09	0,27	3,15	0,060	0,189	70
5	60	3	0,13	0,39	3,74	0,070	0,2618	67
6	65	3	0,19	0,57	4,39	0,080	0,3512	62
7	70	3	0,28	0,84	5,07	0,100	0,507	60
8	75	3	0,39	1,17	5,6	0,11	0,616	53
9	80	3	0,52	1,56	5,2	0,1	0,52	33

Pengujian konverter dengan V_{in} 3 dan Beban 61 ohm

No	Duty	Input Konverter			Output Konverter			Eff(%)
		V_{in}	I_{in} (A)	P_{in}	V_{out}	I_{out}	P_{out}	
1	40	3	0,02	0,06	1,72	0,027	0,04644	77
2	45	3	0,03	0,09	2,1	0,03	0,063	70
3	50	3	0,04	0,12	2,50	0,030	0,075	63
4	55	3	0,09	0,27	3,24	0,050	0,162	60
5	60	3	0,11	0,33	3,88	0,050	0,194	59
6	65	3	0,16	0,48	4,60	0,070	0,322	67
7	70	3	0,24	0,72	5,40	0,080	0,432	60
8	75	3	0,34	1,02	6,18	0,09	0,5562	55
9	80	3	0,53	1,59	6,59	0,1	0,659	41

Pengujian konverter dengan V_{in} 9 dan Beban 39 ohm

no	duty	Input konverter			Output Konverter			Eff(%)
		V_{in}	I_{in} (A)	P_{in}	V_{out}	I_{out}	P_{out}	
1	40	9	0,100	0,900	5,590	0,130	0,727	81
2	45	9	0,150	1,350	6,670	0,160	1,067	79
3	50	9	0,220	1,980	7,920	0,190	1,505	76
4	55	9	0,370	3,330	9,770	0,240	2,345	70
5	60	9	0,530	4,770	11,260	0,270	3,040	64
6	65	9	0,760	6,840	12,700	0,310	3,937	58
7	70	9	1,100	9,900	13,750	0,330	4,538	46
8	75	9	1,530	13,770	10,600	0,260	2,756	20
9	80	9	1,700	15,300	9,200	0,220	2,024	13

Pengujian konverter dengan Vin 9 dan Beban 47 ohm

No	Duty	Input Konverter			Output Konverter			Eff(%)
		Vin	Iin (A)	Pin	Vout	Iout	Pout	
1	40	9	0,09	0,81	5,64	0,110	0,6204	77
2	45	9	0,13	1,17	6,76	0,13	0,8788	75
3	50	9	0,20	1,8	8,05	0,160	1,288	72
4	55	9	0,31	2,79	10,00	0,200	2	72
5	60	9	0,45	4,05	11,64	0,230	2,6772	66
6	65	9	0,66	5,94	13,30	0,270	3,591	60
7	70	9	0,98	8,82	14,75	0,300	4,425	50
8	75	9	1,42	12,78	12,5	0,25	3,125	24
9	80	9	1,83	16,47	9,7	0,19	1,843	11

Pengujian konverter dengan Vin 9 dan Beban 61 ohm

No	Duty	Input Konverter			Output Konverter			Eff(%)
		Vin	Iin (A)	Pin	Vout	Iout	Pout	
1	40	9	0,07	0,63	5,70	0,080	0,456	72
2	45	9	0,11	0,99	6,86	0,1	0,686	69
3	50	9	0,16	1,44	8,20	0,120	0,984	68
4	55	9	0,26	2,34	10,30	0,160	1,648	70
5	60	9	0,37	3,33	12,07	0,190	2,2933	69
6	65	9	0,55	4,95	13,99	0,220	3,0778	62
7	70	9	0,82	7,38	15,86	0,250	3,965	54
8	75	9	1,20	10,8	16,6	0,26	4,316	40
9	80	9	1,74	15,66	11,2	0,17	1,904	12

4.4 Perhitungan *Power losses*

Power lost pada beban 39 ohm dengan *duty cycle* 45% dan 55% $V_{in}=6V$

a. *Duty cycle* 45%1. Penentuan V_{out}

$$V_{out} = 6 \frac{0,45}{(1 - 0,45)} = 4.9 V$$

2. Penentuan I_{out}

$$I_{out} = \frac{4.9}{39} = 0.1259 A$$

3. Penentuan I_{in}

$$I_{in} = \frac{0.45 \cdot 0.1259}{39} = 0.103 A$$

4. Penentuan *daya output*

$$P_{out} = 4.9 \times 0.1259 = 0.618 W$$

5. Arus RMS pada induktor 1 dan 2

$$I_{L1rms} = \frac{2}{\sqrt{3}} \times 0.103 = 0,1189 A$$

$$P_{rL1} = R_{L1} \times I_{L1rms}^2 = 0,05 \times 0,1189^2 = 0,0218 W$$

$$I_{L2rms} = \frac{2}{\sqrt{3}} \times 0.1259 = 0,1453 A$$

$$P_{rL2} = R_{L2} \times I_{L2rms}^2 = 0,05 \times 0,1453^2 = 0,0266 W$$

6. Total *power lost* mosfet

$$I_{rms} = \frac{2}{\sqrt{3}} (0,102 + 0,125) = 0,2643 A$$

$$P_{cond} = R_{ds} \times I_{rms}^2 = 0,02 \times 0,264^2 = 0,0014 W$$

$$P_{sw} = F_s \cdot C_o \cdot V_{sm}^2 = 124 \cdot 10^3 \times 560 \times 10^{-12} (6+4.9)^2 = 0.0083 W$$

$$P_{mosfet} (min) = 0,0014 + 0,0083 = 0,0097 W$$

$$P_{mosfet} (max) = 0,0047 + 0,0123 = 0,00593 W$$

7. Daya ketika dioda konduksi,

$$P_{RF} = 0,175 \times \left(\frac{0,125}{\sqrt{1-0,45}}\right)^2 = 0,0297 W$$

$$P_{VF} = 0,525 \times 0,125 = 0,066 W$$

8. Daya yang dihasilkan oleh resistor internal kapasitor

$$P_{rcin} = 0,102 \sqrt{\frac{0,45}{(1-0,45)}}^2 \times 0,01 = 0,0002 \text{ W}$$

$$P_{rcs} = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} 0,102 \sqrt{\frac{0,45}{(1-0,45)}}^2 \times 0,01 \right) = 0,0002 \text{ W}$$

Cout

Icrms = Iout;

$$P_{cout} = (0,125 \times \sqrt{\frac{0,45}{(1-0,45)}})^2 \times 0,01 = 0,0333 \text{ W}$$

9. Total *power lost*

$$PLS = P_{cond} + P_{sw} + P_{rL1} + P_{rL2} + P_D + P_{rcin} + P_{rcs} + P_{rcout}$$

$$PLS = 0,0014 + 0,0083 + 0,0218 + 0,0266 + 0,0957 + 0,0002 + 0,033 + 0,0006 = 0,187 \text{ W}$$

10. Efisiensi SEPIC *converter*

$$\eta = \frac{0.61}{0.61 + 0.187} 100\% = 76,6\%$$

- b. *Duty cycle 55%*

1. Penentuan Vout

$$V_{out} = 6 \frac{0,55}{(1-0,55)} = 7,33 \text{ V}$$

2. Penentuan Iout

$$I_{out} = \frac{7,33}{39} = 0,188 \text{ A}$$

3. Penentuan Iin

$$I_{in} = \frac{0,55 \cdot 0,188}{39} = 0,2298$$

4. Penentuan daya keluaran

$$P_{out} = 7,33 \times 0,188 = 1,378 \text{ W}$$

5. Arus RMS pada induktor 1 dan 2

$$IL1_{rms} (D = 55\%) = \frac{2}{\sqrt{3}} * 0,229 = 0.2654 \text{ A}$$

$$PrL1 = RL1 \times IL1_{rms} = 0,05 \times 0.26542 = 0,0486 \text{ W}$$

$$IL2_{rms} = \frac{2}{\sqrt{3}} * 0,188 = 0.2171 \text{ A}$$

$$PrL2 = RL2 * IL2_{rms} = 0,05 \times 0.26542 = 0,0397 \text{ W}$$

6. Total *power losses* mosfet

$$I_{rms} = \frac{2}{\sqrt{3}} (0,229 + 0,188) = 0,482 \text{ A}$$

$$P_{cond} = R_{ds} \times I_{rms}^2 = 0,02 \times 0,482 = 0,0047 \text{ W}$$

$$P_{sw} = F_s \cdot C_o \cdot V_{sm}^2 = 124 \cdot 10^3 \times 560 \times 10^{-12} (6+7.33)^2 = 0,0123 \text{ W}$$

$$P_{mosfet} (\text{min}) = 0,0014 + 0,0083 = 0,0097 \text{ W}$$

$$P_{mosfet} (\text{max}) = 0,0047 + 0,0123 = 0,00593 \text{ W}$$

7. Daya saat dioda konduksi,

$$P_{RF} = 0,175 \times \left(\frac{0,188}{\sqrt{1-0,55}}\right)^2 = 0,0491 \text{ W}$$

$$P_{VF} = 0,525 \times 0,188 = 0,0987 \text{ W}$$

$$PD (45\%) = 0,0297 + 0,066 = 0,0957 \text{ W}$$

$$PD (55\%) = 0,0491 + 0,0987 = 0,1478 \text{ W}$$

8. Daya yang dihasilkan oleh resistor internal kapasitor filter

$$P_{rcin} = 0.188 \sqrt{\frac{0,55}{(1-0,55)}}^2 \times 0,01 = 0,0017 \text{ W}$$

$$P_{rcs} = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} 0,188 \sqrt{\frac{0,55}{(1-0,55)}}^2 \times 0,01 \right) = 0,2479 \text{ W}$$

C_{out}

$I_{crms} = I_{out}$;

$$P_{cout} = (0,405 \times \sqrt{\frac{0,55}{(1-0,55)}})^2 \times 0,01 = 0,0019 \text{ W}$$

9. Total *power lost*

$$PLS = P_{cond} + P_{sw} + PrL1 + PrL2 + PD + PrCin + PrCs + PrCout$$

$$\begin{aligned} \text{PLS} &= 0,0047 + 0,0123 + 0,0486 + 0,0397 + 0,1478 + 0,0017 + \\ &0,2479 + 0,0019 = 0,5046 \text{ W} \end{aligned}$$

10. Efisiensi SEPIC converter

$$\eta = \frac{1.38}{1.38 + 5046} 100\% = 73.2\%$$

Power losses pada beban 39 Ω , 47 Ω , dan 61 Ω dengan *duty cycle* 50% $V=6V$

1. Penentuan V_{out}

$$V_{out} = 6 \frac{0,5}{(1 - 0,5)} = 6 \text{ V}$$

2. Penentuan I_{out}

$$R_{39} \rightarrow I_{out} = \frac{6}{39} = 0.1538 \text{ A}$$

$$R_{47} \rightarrow I_{out} = \frac{6}{47} = 0.1277 \text{ A}$$

$$R_{61} \rightarrow I_{out} = \frac{6}{61} = 0.0984 \text{ A}$$

3. Penentuan I_{in}

$$R_{39} \rightarrow I_{in} = \frac{0.5 * 0.1538}{1-0.5} = 0.1538 \text{ A}$$

$$R_{47} \rightarrow I_{in} = \frac{0.5 * 0.127}{1-0.5} = 0.127 \text{ A}$$

$$R_{61} \rightarrow I_{in} = \frac{0.5 * 0.0984}{1-0.5} = 0.0984 \text{ A}$$

4. Penentuan daya keluaran

$$D_{39} \rightarrow P_{out} = 6 \times 0.1538 = 0.923 \text{ W}$$

$$D_{47} \rightarrow P_{out} = 6 \times 0.127 = 0.766 \text{ W}$$

$$D_{61} \rightarrow P_{out} = 6 \times 0.0984 = 0.5902 \text{ W}$$

5. Arus RMS pada induktor 1 dan 2

$$I_{L1rms}(39) = \frac{2}{\sqrt{3}} * 0.1538 = 0,1776 \text{ A}$$

$$I_{L1rms}(47) = \frac{2}{\sqrt{3}} * 0.127 = 0.1474 \text{ A}$$

$$I_{L1rms}(61) = \frac{2}{\sqrt{3}} * 0,0984 = 0.1136 \text{ A}$$

- 39 $\rightarrow PrL1 = RL1 * IL1rms = 0,183 * 0,1776 = 0,0325 \text{ W}$
- 47 $\rightarrow PrL1 = RL1 * IL1rms = 0,183 * 0,1474 = 0,027 \text{ W}$
- 61 $\rightarrow PrL1 = RL1 * IL1rms = 0,183 * 0,1136 = 0,0208 \text{ W}$

$$IL2rms (39) = \frac{2}{\sqrt{3}} * 0,1259 = 0,1776 \text{ A}$$

$$IL2rms (47) = \frac{2}{\sqrt{3}} * 0,127 = 0,1474 \text{ A}$$

$$IL2rms (61) = \frac{2}{\sqrt{3}} * 0,0984 = 0,1136 \text{ A}$$

- 39 $\rightarrow PrL2 = RL2 * IL2rms = 0,183 * 0,1776 = 0,0325 \text{ W}$
- 47 $\rightarrow PrL2 = RL2 * IL2rms = 0,183 * 0,1474 = 0,027 \text{ W}$
- 61 $\rightarrow PrL2 = RL2 * IL2rms = 0,183 * 0,1136 = 0,0208 \text{ W}$

6. Total power losses mosfet

$$39 \rightarrow Irms = \frac{2}{\sqrt{3}} (0,1538 + 0,1538) = 0,3553 \text{ A}$$

$$47 \rightarrow Irms = \frac{2}{\sqrt{3}} (0,127 + 0,127) = 0,2948 \text{ A}$$

$$61 \rightarrow Irms = \frac{2}{\sqrt{3}} (0,0984 + 0,0984) = 0,2272 \text{ A}$$

$$Pcond (39) = Rds * Irms^2 = 0,02 * 0,3553^2 = 0,0025 \text{ W}$$

$$Pcond (47) = Rds * Irms^2 = 0,02 * 0,2948^2 = 0,0017 \text{ W}$$

$$Pcond (61) = Rds * Irms^2 = 0,02 * 0,2272^2 = 0,001 \text{ W}$$

$$Psw (39) = Fs * Co * Vsm^2 = 124. 10^3 * 560 * 10^{-12} (6+6)^2 = 0,01 \text{ W}$$

$$Psw (47) = Fs * Co * Vsm^2 = 124. 10^3 * 560 * 10^{-12} (6+6)^2 = 0,01 \text{ W}$$

$$Psw (61) = Fs * Co * Vsm^2 = 124. 10^3 * 560 * 10^{-12} (6+6)^2 = 0,01 \text{ W}$$

$$Pmosfet (39) = 0,0025 + 0,01 = 0,0125 \text{ W}$$

$$Pmosfet (47) = 0,0017 + 0,01 = 0,0117 \text{ W}$$

$$Pmosfet (61) = 0,001 + 0,01 = 0,0011 \text{ W}$$

7. Daya saat dioda konduksi,

- 39

$$P_{RF} = 0,175 \times \left(\frac{0,1538}{\sqrt{1-0,5}}\right)^2 = 0,0381 \text{ W}$$

$$P_{VF} = 0,525 \times 0,1538 = 0,0808 \text{ W}$$

- 47

$$P_{RF} = 0,175 \times \left(\frac{0,127}{\sqrt{1-0,5}}\right)^2 = 0,0316 \text{ W}$$

$$P_{VF} = 0,525 \times 0,127 = 0,067 \text{ W}$$

- 61

$$P_{RF} = 0,175 \times \left(\frac{0,0984}{\sqrt{1-0,5}}\right)^2 = 0,0243 \text{ W}$$

$$P_{VF} = 0,525 \times 0,188 = 0,0516 \text{ W}$$

$$PD (39) = 0,0381 + 0,0808 = 0,1189 \text{ W}$$

$$PD (47) = 0,0316 + 0,067 = 0,0986 \text{ W}$$

$$PD (61) = 0,0516 + 0,0243 = 0,076 \text{ W}$$

8. Daya yang dihasilkan oleh resistor internal kapasitor filter

$$C_{in} \rightarrow P_{rcin} (39) = 0,1538 \sqrt{\frac{0,5}{(1-0,5)}}^2 * 0,027 = 0,0006 \text{ W}$$

$$C_{in} \rightarrow P_{rcin} (47) = 0,127 \sqrt{\frac{0,5}{(1-0,5)}}^2 * 0,027 = 0,0004 \text{ W}$$

$$C_{in} \rightarrow P_{rcin} (61) = 0,0984 \sqrt{\frac{0,5}{(1-0,5)}}^2 * 0,027 = 0,0003 \text{ W}$$

$$P_{rcs} (39) = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} 0,1538 \sqrt{\frac{0,5}{(1-0,5)}}^2 * 2,88 \right) = 0,0909 \text{ W}$$

$$P_{rcs} (47) = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} 0,127 \sqrt{\frac{0,5}{(1-0,5)}}^2 * 2,88 \right) = 0,0626 \text{ W}$$

$$P_{rcs} (61) = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} 0,0984 \sqrt{\frac{0,5}{(1-0,5)}}^2 * 2,88 \right) = 0,0372 \text{ W}$$

- Cout

$$I_{\text{rms}} = I_{\text{out}};$$

$$39 \text{ ohm, } P_{\text{cout}} = (0,1538 * \sqrt{\frac{0,5}{(1-0,5)}})^2 * 0,043 = 0,001 \text{ W}$$

$$47 \text{ ohm, } P_{\text{cout}} = (0,127 * \sqrt{\frac{0,5}{(1-0,5)}})^2 * 0,043 = 0,0007 \text{ W}$$

$$61 \text{ ohm, } P_{\text{cout}} = (0,098 * \sqrt{\frac{0,5}{(1-0,5)}})^2 * 0,043 = 0,0004 \text{ W}$$

9. Total disipasi daya (*power losses*)

$$PLS = P_{\text{cond}} + P_{\text{sw}} + P_{\text{rL1}} + P_{\text{rL2}} + P_{\text{D}} + P_{\text{rCin}} + P_{\text{rCs}} + P_{\text{rCout}}$$

- R = 39 ohm

$$PLS = 0,01 + 0,0025 + 0,0325 + 0,0325 + 0,1188 + 0,0006 + 0,0909 + 0,001 = 0,2889 \text{ W}$$

- R = 47 ohm

$$PLS = 0,0017 + 0,01 + 0,027 + 0,027 + 0,0986 + 0,0004 + 0,0626 + 0,0007 = 0,228 \text{ W}$$

- R = 61 ohm

$$PLS = 0,001 + 0,01 + 0,0208 + 0,0208 + 0,076 + 0,0003 + 0,0372 + 0,0004 = 0,1664 \text{ W}$$

10. Efisiensi SEPIC *converter*

$$\eta = \frac{0,9231}{0,9231 + 0,2889} 100\% = 76 \%$$

$$\eta = \frac{0,766}{0,766 + 0,228} 100\% = 77\%$$

$$\eta = \frac{0,5902}{0,5902 + 0,1664} 100\% = 78\%$$

4.5 Datasheet Tegangan Generator

Tc/Th	Suhu (°C)															
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
30	1,5	2,4	3,3	4,2	5,1	6	6,9	7,8	8,7	9,6	10,5	11,4	12,3	13,2	14,1	15
40	0,75	1,65	2,55	3,45	4,35	5,25	6,15	7,05	7,95	8,85	9,75	10,65	11,55	12,45	13,35	14,25
50	0	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3	7,2	8,1	9	9,9	10,8	11,7	12,6	13,5
60	0	0,15	1,05	1,95	2,85	3,75	4,65	5,55	6,45	7,35	8,25	9,15	10,05	10,95	11,85	12,75
70	0	0	0,3	1,2	2,1	3	3,9	4,8	5,7	6,6	7,5	8,4	9,3	10,2	11,1	12
80	0	0	0	0,45	1,35	2,25	3,15	4,05	4,95	5,85	6,75	7,65	8,55	9,45	10,35	11,25
90	0	0	0	0	0,6	1,5	2,4	3,3	4,2	5,1	6	6,9	7,8	8,7	9,6	10,5
100	0	0	0	0	0	0,75	1,65	2,55	3,45	4,35	5,25	6,15	7,05	7,95	8,85	9,75
110	0	0	0	0	0	0	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3	7,2	8,1	9
120	0	0	0	0	0	0	0,15	1,05	1,95	2,85	3,75	4,65	5,55	6,45	7,35	8,25
130	0	0	0	0	0	0	0	0,3	1,2	2,1	3	3,9	4,8	5,7	6,6	7,5

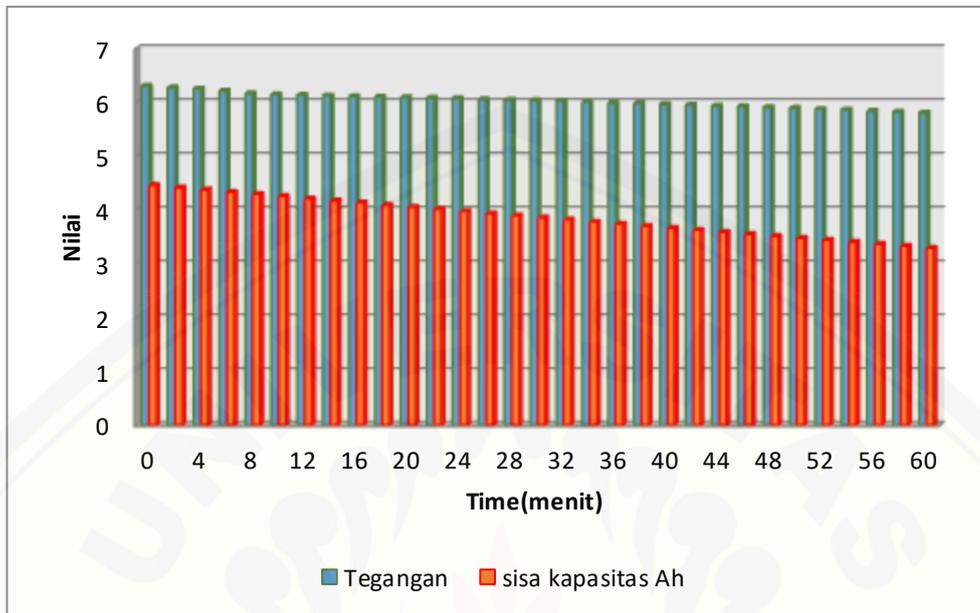
4.6 Datasheet Arus Generator

Tc/Th	Suhu Panas (°C)															
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
30	0,2	0,31	0,42	0,53	0,64	0,75	0,86	0,97	1,08	1,19	1,3	1,41	1,52	1,63	1,74	1,85
40	0,1	0,21	0,32	0,43	0,54	0,65	0,76	0,87	0,98	1,09	1,2	1,31	1,42	1,53	1,64	1,75
50	0	0,11	0,22	0,33	0,44	0,55	0,66	0,77	0,88	0,99	1,1	1,21	1,32	1,43	1,54	1,65
60	0	0	0,12	0,23	0,34	0,45	0,56	0,67	0,78	0,89	1	1,11	1,22	1,33	1,44	1,55
70	0	0	0,02	0,13	0,24	0,35	0,46	0,57	0,68	0,79	0,9	1,01	1,12	1,23	1,34	1,45
80	0	0	0	0	0,2	0,36	0,47	0,58	0,69	0,8	0,91	1,02	1,13	1,24	1,35	
90	0	0	0	0	0	0,10	0,26	0,37	0,48	0,59	0,7	0,81	0,92	1,03	1,14	1,25
100	0	0	0	0	0	0	0,16	0,27	0,38	0,49	0,6	0,71	0,82	0,93	1,04	1,15
110	0	0	0	0	0	0	0,06	0,17	0,28	0,39	0,5	0,61	0,72	0,83	0,94	1,05
120	0	0	0	0	0	0	0	0,07	0,18	0,29	0,4	0,51	0,62	0,73	0,84	0,95
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0,19	0,3	0,41	0,52	0,63	0,74	0,85

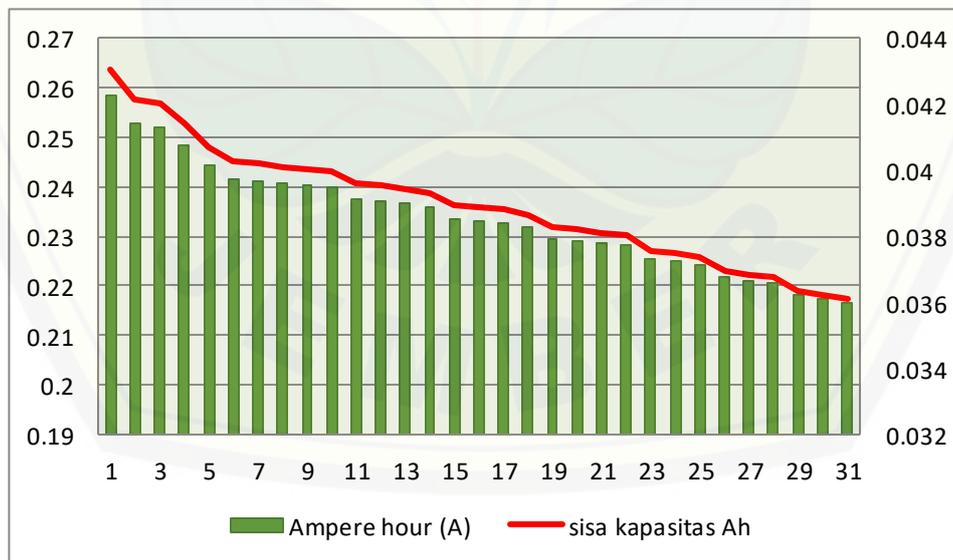
4.7 Datasheet Efisiensi Generator

Tc/Th	Suhu (°C)															
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
30	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
40	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
50	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06
60	0	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05
70	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
80	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
90	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
100	0	0	0	0	0	0	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
110	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02

4.8 Pengujian Kapasitas Baterai



Hubungan Tegangan baterai dengan kapasistas baterai



Hubungan Ah saat discharge dengan sisa kapasitas Ah baterai

4.9 Dokumentasi Penelitian

