



**IMPLEMENTASI DC/DC *BOOST CONVERTER* DENGAN KONTROL
MPPT *PERTURB AND OBSERVE (P&O)* SEBAGAI PENGENDALI DAYA
KELUARAN *THERMOELECTRIC GENERATOR (TEG)***

Skripsi

Oleh

Suwandi
NIM 131910201004

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



**IMPLEMENTASI DC/DC *BOOST CONVERTER* DENGAN KONTROL
MPPT *PERTURB AND OBSERVE (P&O)* SEBAGAI PENGENDALI DAYA
KELUARAN *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

Suwandi
NIM 131910201004

**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 Pengasih lagi Maha Penyayang.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Kedua Orangtua, Ibu Suwini dan Bapak Narsudi Chadiun yang tidak pernah lelah memberikan doa, memberikan dukungan moril maupun materiil dan kasih sayang yang tidak pernah henti diberikan kepadaku.
4. Kakak-kakak dan adikku yang selalu mendukung dalam hal apapun
5. Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T., Bapak Suprihadi Prasetyono S.T., M.T. alm. Bapak Bambang Supeno, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Guru-guru sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi;
7. Almamater Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
8. Keluarga besar INTEL'UJ 2013, yang telah membantu dan memberikan dukungan baik moril dan materiil
9. H2-12A service and design center, yang selalu sedia mendukung dalam suka dan duka.
10. Teman-teman ASLAB KEL dan ASLAB Sistem Tenaga yang bersedia membantu menyelesaikan tugas akhir ini
11. Teman-teman dari Purbalingga yang telah memberikan kenangan terbaik ditanah rantau.
12. Teman-teman "SUKSES SKRIPSI" dan "SKRIPSWEET" yang menjadi teman seperjuangan yang selalu sabar menghadapi ujian.
13. Serta seluruh rekan-rekan yang penulis kenal dan rekan-rekan yang membaca skripsi ini.

MOTTO

“Barang siapa yang menempuh perjalanan untuk mencari ilmu maka Allah memudahkan baginya jalan menuju surga, dan sesungguhnya para malaikat meletakkan sayapnya bagi penuntut ilmu yang ridho terhadap apa yang ia kerjakan, dan sesungguhnya orang yang alim dimintakan ampunan oleh orang-orang yang ada di langit dan orang-orang yang ada di bumi hingga ikan-ikan yang ada di air, dan keutamaan yang alim atas orang yang ahli ibadah seperti keutamaan bulan atas seluruh bintang, dan sesungguhnya ulama’ adalah pewaris para Nabi, dan sesungguhnya para Nabi tidak mewariskan dinar dan tidak mewariskan dirham, melainkan mewariskan ilmu, maka barang siapa yang mengabilnya maka hendaklah ia mengambil dengan bagian yang sempurna”

(H.R Abu Daud dan Tirmidzi)

“Siapa yang beriman kepada Allah dan Hari Akhir, maka janganlah menyakiti tetangganya. Siapa yang beriman kepada Allah dan Hari Akhir, maka muliakanlah tamunya. Dan siapa yang beriman kepada Allah dan Hari Akhir, maka berbicaralah yang baik atau diamlah”.

(HR Bukhari, Muslim, dan Ahmad)

“Dan darinya berkata: aku mendengar Rasulullah SAW. Bersabda: Dunia itu berisi laknat, seluruh isinya terlaknat, kecuali dzikir kepada Allah dan yang terkait dengannya, atau orang yang berilmu atau terpelajar.”

(HR: Tirmizi dan dia berkata hadits ini hasan)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Suwandi

NIM : 131910201004

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ”Implementasi DC/DC *Boost Converter* dengan Kontrol MPPT *Perturb And Observe* (P&O) Sebagai Pengendali Daya Keluaran *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, 25 Juli 2017

Yang menyatakan,

Suwandi

NIM 131910201004

SKRIPSI

**IMPLEMENTASI DC/DC *BOOST CONVERTER* DENGAN KONTROL
MPPT *PERTURB AND OBSERVE (P&O)* SEBAGAI PENGENDALI DAYA
KELUARAN *THERMOELECTRIC GENERATOR***

Oleh

Suwandi

NIM 131910201004

Pembimbing :

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

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Implementasi DC/DC *Boost Converter* Dengan Kontrol MPPT *Perturb And Observe* (P&O) Sebagai Pengendali Daya Keluaran *Thermoelectric Generator*” karya Suwandi 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 197004041996011001

Anggota II,

Anggota III,

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

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

Mengesahkan
Dekan,

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

RINGKASAN

Implementasi Dc/Dc *Boost Converter* Dengan Kontrol MPPT *Perturb And Observe* (P&O) Sebagai Pengendali Daya Keluaran *Thermoelectric Generator* (TEG); Suwandi, 131910201004; 2017; 106 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Energi listrik merupakan energi utama yang digunakan hampir diseluruh sisi kehidupan. Seiring kemajuan zaman, permintaan akan energi listrik di seluruh dunia semakin meningkat. Semakin hari energi listrik yang dibutuhkan oleh konsumen listrik semakin banyak, namun hal tersebut tidak diimbangi dengan pasokan energi listrik, dan kebanyakan pembangkit listrik di Indonesia masih memanfaatkan bahan bakar fosil, dimana jika secara terus menerus digunakan bahan bakar fosil akan habis. Untuk mengatasi hal tersebut maka pemasok listrik harus melakukan penghematan energi listrik kepada konsumen dengan mencari sumber energi alternatif, salah satu energi yang bisa dimanfaatkan untuk dijadikan energi listrik adalah panas buangan dengan memanfaatkan generator termoelektrik (TEG). Generator termoelektrik dapat mengkonversi langsung energi panas menjadi energi listrik. Pada penelitian digunakan 3 buah generator yang dirangkai seri.

Pada penelitian ini dirancang sebuah *boost converter* dengan kontrol MPPT sebagai pengendali daya keluaran dari TEG. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penggunaan metode *perturb and observe* terhadap daya yang dihasilkan oleh generator termoelektrik. Manfaat dari penelitian memberikan solusi dalam memperbaiki daya keluaran dengan pengaruh penggunaan metode *perturb and observe*.

Daya termoelektrik ditentukan oleh perbedaan suhu yang terdapat pada kedua sisi generator tersebut. Daya akan berubah seiring dengan perubahan suhu yang terjadi dan efisiensi dari generator masih kecil yaitu 10 %, maka diperlukan algoritma *maximum power point tracking* (MPPT) untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan oleh generator termoelektrik. MPPT bekerja dengan mengatur

pensaklaran dari *boost converter* atau *step-up converter* yang digunakan untuk menaikkan tegangan *input* untuk proses *charging* baterai. Sedangkan untuk algoritma MPPT yang digunakan adalah *perturb and observe* (P&O).

Pengujian pada penelitian ada 4 pengujian, diantaranya pengujian konverter, pengujian MPPT, pengujian generator termoelektrik dan pengujian sistem keseluruhan untuk melakukan proses *charging* baterai dengan tiga kondisi yang berbeda. Pengujian konverter dilakukan dengan 3 variasi tegangan *input* yaitu 3 V, 4 V, 5 V dan tiga variasi beban yaitu 39 ohm, 47 ohm, 61 ohm, dari pengujian tersebut dapat diketahui bahwa konverter yang dibuat telah bekerja, efisiensi rata-rata dari konverter 60 % dengan pemberian *duty cycle* mulai dari 40 % sampai 80%. Untuk pengujian generator termoelektrik diberikan kondisi suhu panas 200°C dan suhu dingin 80°C, dengan keadaan suhu tersebut generator termoelektrik mampu menghasilkan tegangan *open circuit* (V_{OC}) sebesar 11.25 V dan arus *short circuit* (I_{sc}) sebesar 1.45 A. Untuk algoritma MPPT *perturb and observe* telah bekerja untuk mencari daya maksimum. Pengujian sistem keseluruhan dilakukan dengan membandingkan performa *charging* menggunakan MPPT dan tanpa menggunakan MPPT (*direct coupled*), untuk membandingkan performa *charging* tersebut digunakan tiga kondisi tegangan baterai yaitu 5 V, 5.7V, dan 6.3V. Pada keadaan baterai 5 V daya *charging* dari MPPT mencapai 1.13 W sedangkan ketika *direct coupled* hanya 0.3, kemudian pada kondisi baterai 5.7 V daya *charging* MPPT 1.03 sedangkan *direct coupled* hanya 0.22 W, dan yang terakhir ketika keadaan baterai 6.3 V daya *charging* MPPT mencapai 0.99 sedangkan ketika *direct coupled* 0.16 W. Pada ketiga kondisi baterai yang berbeda tersebut membuktikan bahwa MPPT telah bekerja untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan oleh generator termoelektrik.

Kesimpulan dari penelitian yaitu MPPT telah bekerja untuk memaksimalkan daya dari generator termoelektrik hampir 4 kali lipat dibandingkan ketika tidak menggunakan MPPT, namun penggunaan komponen yang kurang baik pada konverter mengakibatkan *losses* daya sehingga daya yang dihasilkan generator tidak bisa sepenuhnya ditransferkan menuju beban.

SUMMARY

Implementation of DC/DC Boost Converter Using MPPT Perturb And Observe Control For Controlling Thermoelectric Generator's Output Power; Suwandi, 131910201004; 2017; 106 pages; Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Electrical energy is the main energy used almost all sides of life. As the times progressed, the demand for electrical energy worldwide increased. The more energy the electricity consumers need more and more, but this is not balanced with the supply of electrical energy, and if not constantly used fossil fuels. To overcome this it must be saving electricity with alternative power, one of the energy that can be utilized to be used as electrical energy is waste heat by utilizing thermoelectric generator (TEG). Thermoelectric generators can directly heat energy into electrical energy. In this research used 3 generator series.

In this study designed a boost converter with MPPT control as a power controller result of TEG. The purpose of this research is to know how big influence of perurb method and observe to power generated by thermoelectric generator. Compilation and observation methods.

The thermoelectric power is determined by the temperature difference present on both sides of the generator. The power will change with the temperature changes and the efficiency of the generator is still small at 10%, the maximum power point tracking (MPPT) algorithm is required for the power generated by the thermoelectric generator. MPPT works by setting switching from boost converter or step-up converter which is used to raise the input voltage for battery charging process. As for the MPPT algorithm used is perturb and observe (P & O).

Testing on the research there are 4 testing, converter test, MPPT test, thermoelectric generator test and system testing for the process of charging the battery with three different conditions. Converter test is done with 3 variation of input voltage that is 3 V, 4 V, 5 V and three variation that is 39 ohm, 47 ohm, 61 ohm, from this test can be known converter which have been made, the average efficiency of converter

60% Duty cycle ranging from 40% to 80%. For thermoelectric generator test given the condition of the hot temperature 200°C and the cold temperature 80°C , with the temperature condition of the thermoelectric generator can produce open circuit voltage (V_{OC}) of 11.25 V and short circuit current (I_{SC}) of 1.45 A. For the algorithm MPPT perturb And observe it has been working to find the maximum power. Testing using MPPT and without using MPPT (direct coupled), to compare the charging performance used three voltage conditions that is 5 V, 5.7V, and 6.3V. At the state of the battery 5 V charging power from MPPT reaches 1.13 WARA when directly added only 0.3, then the battery condition 5.7 V charging MPPT 1.03 while directly plus only 0.22 W, and the last when the battery state 6.3 V charging capacity MPPT 0.99 Whereas when directly added 0.16 W. In the three different battery conditions it is proven that MPPT has worked to maximize the power generated by thermoelectric generators.

The one who has worked to maximize the power of the thermoelectric generator almost fourfold does not use MPPT, but using the unfavorable components of the power loss converter generated by the generator can not be transferred to the load.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang maha kuasa atas segalanya, karena dengan ridho, hidayah dan petunjukNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Implementasi DC/DC Boost Converter Dengan Kontrol MPPT Perturb And Observe (P&O) Sebagai Pengendali Daya Keluaran 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. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember
4. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
5. Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T., Bapak Suprihadi Prasetyono S.T., M.T., dan alm. Bapak Bambang Supeno, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing menyelesaikan tugas akhir ini;
6. Bapak Dr. Tri Wahyu Hardianto, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku dosen penguji yang sudah memberikan saran untuk memperbaiki tugas akhir ini;
7. Kedua Orangtua Ibu Suwandi dan Bapak Narsudi Chadiun 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;
8. Kakak-kakak, dan Trisnanti adikku yang senantiasa menjadi inspirasi.

9. Moh. Choirul Anwar, Eki Rovianto, dan teman Seperjuangan yang sangat membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini dari pemberian semangat hingga membantu pelaksanaan di lapangan.
10. Keluarga besar INTEL'UJ 2013, terimakasih telah memberikan arti kekeluargaan yang luar biasa.
11. Keluarga besar Civitas Akademia Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.

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

Jember, 25 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	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	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4, Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Pembahasan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Generator Termoelektrik	5
2.1.1 Efisiensi Generator Termoelektrik	8
2.1.2 Efek <i>Seebeck</i>	10
2.1.2 Efek <i>Peltier</i>	12
2.2 <i>Boost converter</i>	14
2.2.1 Prinsip Kerja <i>Boost converter</i>	15

2.2.2 <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	20
2.2.3 Parameter Perancangan <i>Boost converter</i>	21
2.3 <i>Perturb and Observe</i>	26
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.2 Tahapan Penelitian	29
3.3 Perencanaan Jadwal Penelitian.....	31
3.4 Alat dan Bahan	31
3.5 Diagram Alir penelitian.....	33
3.6 Perancangan <i>Boost converter</i>	35
3.7 Blok Diagram Sistem	39
3.7.1 TE-MOD-10W4V-40	40
3.7.2 Baterai VRLA	41
3.8 <i>Flowchart Perturb and Observe</i>	42
3.9 Rencana Pengujian Sistem Generator Termoelektrik	45
3.9.1 Pengujian DC/DC <i>Boost converter</i>	45
3.9.2 Pengujian MPPT <i>Perturb and Observe</i>	45
3.9.3 Pengujian Generator termoelektrik	46
3.10 Desain Implementasi Alat Pemanfaatan Kompor	47
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	50
4.1 Pengujian <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	51
4.2 Hasil Perancangan <i>Data Logger</i>	52
4.3 Implementasi dan Pengujian <i>Boost Converter</i>	55
4.3.1 Implementasi <i>Boost converter</i>	55
4.3.2 Pengujian Performa <i>Boost converter</i> tanpa beban	56
4.3.3 Pengujian Performa <i>Boost converter</i> berbeban.....	58
4.3.4 Analisa <i>Power losses Boost converter</i>	63
4.4 Hasil Pengujian dan Analisa <i>Maximum Power point Tracking (MPPT)</i> <i>Perturb and Observe (P&O)</i>	67
4.5 Hasil Pengujian Generator Termoelektrik.....	71

4.5.1 Pengujian Karakteristik Generator Termoelektrik Tanpa Beban	71
4.5.2 Pengujian Karakteristik Generator Termoelektrik Berbeban	75
4.6 Pengujian Sistem <i>Charging Boost converter</i> dengan MPPT <i>Perturb and Observe (P&O)</i> Pada Generator Termoelektrik	77
4.6.1. Pengujian sistem <i>charging direct coupled</i>	77
4.6.2. Pengujian sistem <i>charging MPPT Perturb and Observe (P&O)</i>	79
4.6.3. Analisa Perbandingan Sistem <i>Charging Direct Coupled</i> dengan MPPT <i>Perturb And Observe (P&O)</i>	81
BAB 5. PENUTUP	85
5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	89

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur Termoelektrik.....	5
Gambar 2.2 Proses termolektrik mengubah energi panas menjadi listrik.....	6
Gambar 2.3 Perbandingan efisiensi peltier dengan pembangkit daya lain	9
Gambar 2.4 Efisiensi termoelektrik	11
Gambar 2.5 Ketergantungan terhadap daya termoelektrik dari beberapa material..	12
Gambar 2.6 Ketergantungan terhadap daya termoelektrik pada material silikon dengan jenis impuritas berbeda.....	12
Gambar 2.7 Pemanfaatan termoelektrik.....	13
Gambar 2.8 Rangkaian DC/DC <i>boost converter</i>	15
Gambar 2.9 Rangkaian konverter DC/DC tipe boost dan penyearah dioda (faktor daya satu)	15
Gambar 2.10 Skema <i>boost converter</i> beserta keluarannya	16
Gambar 2.11 MOSFET <i>boost converter</i> ON	16
Gambar 2.12 MOSFET <i>boost converter</i> OFF.....	17
Gambar 2.13 Gelombang keluaran <i>boost converter</i>	17
Gambar 2.14 <i>Continous conduction mode</i> dari <i>boost converter</i>	18
Gambar 2.15 <i>Discontinous Conduction mode</i> dari <i>boost converter</i>	19
Gambar 2.16 Kurva perbandingan <i>duty cycle</i> dan fungsi alih <i>boost converter</i>	19
Gambar 2.17 Kurva hubungan $\text{raiso } V$ dan <i>duty cycle</i>	20
Gambar 2.18 Kurva hubungan <i>duty cycle</i> dan efisiensi.....	20
Gambar 2.19 Rangkaian ekuivalen <i>boost converter</i> dengan tahanan parasit.....	24
Gambar 2.20 Grafik hubungan antara tegangan-arus, tegangan-daya dan kurva karakteristik MPP pada beberapa perbedaan temperatur	27
Gambar 2.21 Perbandingan karakteristik dari PV dan titik operasi osilasi dari TEG	28
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> penelitian	33

Gambar 3.2	Grafik Perbandingan tegangan keluaran dengan beban yang berbeda-beda.....	35
Gambar 3.3	Grafik perbandingan arus keluaran dengan beban yang berbeda-beda.....	35
Gambar 3.4	Desain <i>boost converter</i>	36
Gambar 3.5	Blok diagram sistem.....	39
Gambar 3.6	<i>Flowchart</i> algoritma P&O.....	42
Gambar 3.7	Posisi $\Delta P/\Delta V$ yang bekerja pada kurva daya generator termoelektrik.....	44
Gambar 3.8	Desain <i>hardware</i> generator termoelektrik.....	47
Gambar 3.9	Dimensi <i>hardware</i>	48
Gambar 4.1	<i>Board data logger</i>	52
Gambar 4.2	Blok diagram kerja <i>data logger</i>	52
Gambar 4.3	Rangkaian <i>boost converter</i>	55
Gambar 4.4	Grafik pengaruh perubahan <i>duty cycle</i> terhadap tegangan keluaran konverter tanpa beban dengan tiga variasi tegangan <i>input</i>	57
Gambar 4.5	Grafik pengaruh <i>duty cycle</i> terhadap daya <i>output boost converter</i> yang dibebani dengan tegangan input 5 V.....	60
Gambar 4.6	Grafik perbandingan pengaruh <i>duty cycle</i> terhadap tegangan dan arus <i>output boost converter</i> yang dibebani dengan tegangan input 5 V.....	61
Gambar 4.7	Grafik pengaruh perubahan <i>duty cycle</i> terhadap efisiensi <i>boost converter</i> dengan pembebanan yang berbeda.....	63
Gambar 4.8	Respon tegangan <i>output</i> terhadap variasi pembebanan konverter ..	68
Gambar 4.9	Grafik Pload dan Vload saat MPPT perturb and observe bekerja ..	68
Gambar 4.10	Pengujian respon MPPT terhadap beban 39 ohm.....	70
Gambar 4.11	Skema pengujian karakteristik generator termoelektrik tanpa beban.....	71
Gambar 4.12	Perbandingan suhu panas dan suhu dingin ketika pengujian karakteristik generator termoelektrik.....	72
Gambar 4.13	Hubungan suhu terhadap arus dan tegangan dari generator	

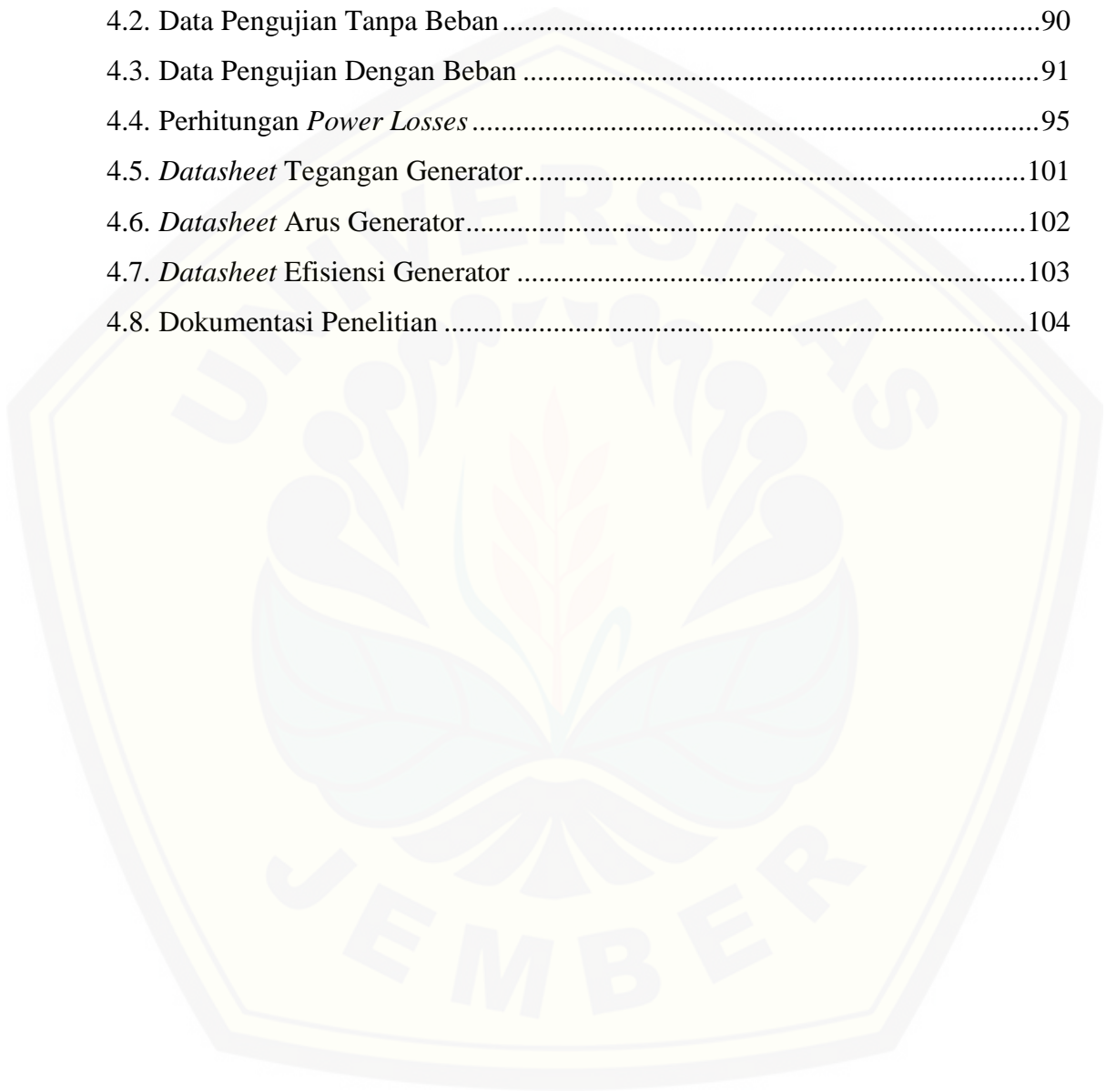
.....	72
Gambar 4.14 Grafik efisiensi generator termoelektrik	74
Gambar 4.15 Skema pengujian karakteristik generator termoelektrik berbeban..	75
Gambar 4.16 Skema pengujian sistem <i>charging direct coupled</i>	78
Gambar 4.17 Grafik sistem <i>charging direct coupled</i>	78
Gambar 4.18 Skema pengujian sistem <i>charging MPPT Perturb and Observe</i> (P&O).....	79
Gambar 4.19 Grafik sistem <i>charging MPPT Perturb and Observe</i> (P&O).....	80
Gambar 4.20 Grafik perbandingan daya <i>charging</i> baterai dengan menggunakan dua metode <i>charging</i> yang berbeda.....	82
Gambar 4.21 Perbandingan daya <i>output</i> dengan <i>losses</i> daya konverter	84

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Hasil eksperimen pada <i>single crystals</i>	9
Tabel 3.1 Perencanaan jadwal penelitian	31
Tabel 3.2 Parameter DC/DC <i>boost converter</i>	36
Tabel 3.3 <i>Data sheet</i> TE-MOD-10W4V-40	40
Tabel 3.4 Spesifikasi baterai VRLA LC-R064R5P	41
Tabel 3.5 Data percobaan pengujian DC/DC <i>boost onverter</i>	45
Tabel 3.6 Data pengujian MPPT <i>perturb and observe</i>	46
Tabel 3.7 Data pengujian sistem generator termoelektrik	46
Tabel 4.1 Pengujian gelombang <i>Pulse Width Modulation</i>	50
Tabel 4.2 Data spesifikasi penyimpanan <i>data logger</i>	54
Tabel 4.3 Data hasil penyimpanan yang sudah diproses dengan <i>software notepad</i>	54
Tabel 4.4 Komponen yang digunakan dalam pembuatan <i>boost converter</i>	55
Tabel 4.5 Pengujian tanpa beban tegangan 5 V	57
Tabel 4.6 Pengaruh perubahan <i>duty cycle</i> terhadap daya <i>output boost converter</i>	59
Tabel 4.7 Hasil pengujian pengaruh <i>duty cycle</i> terhadap efisiensi	62
Tabel 4.8 Resistansi internal (R_{in}) pada komponen <i>boost converter</i>	64
Tabel 4.9 <i>Power losses</i> pada setiap perubahan <i>duty cycle</i>	66
Tabel 4.10 Hasil pengujian MPPT dengan variasi beban	67
Tabel 4.11 Proses MPPT mencari titik daya maksimum	70
Tabel 4.12 Algoritma MPPT <i>perturb and observe</i> (P&O)	71
Tabel 4.13 Hasil perhitungan R_{in}	74
Tabel 4.14 Karakteristik generator ketika dibebani	76
Tabel 4.15 Hasil perbandingan daya <i>charging</i> generator	81
Tabel 4.16 Efisiensi dan <i>power losses boost convterter</i> saat terhubung sistem..	83

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
4.1. Kalibrasi Sensor	89
4.2. Data Pengujian Tanpa Beban	90
4.3. Data Pengujian Dengan Beban	91
4.4. Perhitungan <i>Power Losses</i>	95
4.5. <i>Datasheet</i> Tegangan Generator	101
4.6. <i>Datasheet</i> Arus Generator	102
4.7. <i>Datasheet</i> Efisiensi Generator	103
4.8. Dokumentasi Penelitian	104



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan energi utama yang digunakan hampir diseluruh sisi kehidupan. Seiring kemajuan zaman, permintaan akan energi listrik di seluruh dunia semakin meningkat. Di lain sisi, perkembangan teknologi yang terjadi mulai memunculkan beban listrik baru yang memiliki karakteristik elektrik yang baru pula. Kedua hal ini ternyata mempengaruhi sistem tenaga listrik yang digunakan untuk menyuplai energi listrik ke konsumen. Salah satu pengaruhnya adalah pada permasalahan kualitas daya listrik yang dihantarkan. Penyedia jasa listrik, dalam hal ini PLN harus bisa menyesuaikan sistem tenaga listrik yang digunakan dengan tetap memperhatikan kualitas daya listrik yang dihantarkan ke konsumen. (Aris Pramnamto, 2008)

Salah satu kendala yang dihadapi Indonesia dewasa ini adalah ketidakseimbangan antara kebutuhan konsumsi listrik pelanggan dibandingkan dengan kemampuan PLN dalam menyediakan energi listrik. Begitu juga tentang isu makin menipisnya cadangan minyak. Seperti diketahui bahwa bahan bakar untuk memproduksi sumber energi listrik berasal dari sumber energi fosil seperti batu bara dan bahan bakar minyak lain. Sumber energi fosil sendiri sewaktu-waktu bisa habis jika dilakukan pemakaian secara terus menerus. Untuk mengatasi hal tersebut maka PLN melakukan penghematan energi listrik kepada konsumen dengan mencari sumber energi alternatif untuk meningkatkan efisiensi sumber energi yang ada. (Ryuanargo dkk., 2013).

Dalam kehidupan sehari-hari sering di jumpai tungku tradisional yang sering digunakan pada rumah tangga, uap yang dihasilkan oleh tungku tersebut terbuang tanpa adanya pemanfaatan. Padahal jika uap panas buangan dari tungku tradisional tersebut dimanfaatkan dapat menghasilkan energi listrik. Uap panas buangan tersebut dapat menghasilkan listrik dengan memanfaatkan generator termoelektrik (TEG), dimana generator termoelektrik dapat menghasilkan energi listrik dengan adanya perbedaan suhu pada kedua sisi generator, yaitu sisi panas dan sisi dingin generator. Generator ini merupakan generator yang ramah lingkungan

karena tidak menghasilkan polusi lain, tidak menimbulkan kebisingan, generator ini juga merupakan energi baru terbarukan. Dan pada dasarnya pembangkit listrik termoelektrik merupakan alat paling baik untuk mengkonversi aliran panas langsung menjadi tenaga listrik melalui efek *seebeck* (Richard J, 2011). Selain itu energi yang akan dimanfaatkan bukanlah energi yang fluktuatif, tidak seperti panas matahari ataupun angin. Semakin besar perbedaan suhu yang terdapat pada kedua sisi generator maka daya yang akan dihasilkan akan lebih besar pula (Hun Sik Hana & Yun Ho Kim, 2010)

Namun satu kendala utama yang ada pada generator termoelektrik (TEG) adalah daya keluaran yang berubah-ubah karena suhu yang dihasilkan juga berubah-ubah. Untuk mengatasi kendala tersebut, maka diperlukan *maximum power point tracker* (MPPT) agar generator termoelektrik dapat bekerja pada titik daya maksimumnya atau *maximum power point* (MPP), sehingga transfer daya ke beban dapat dimaksimalkan. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Alexandros Paraskevas, dan Eftichios Koutroulis menggunakan DC/DC tipe *boost converter* dengan kontrol MPPT PI membuktikan bahwa penambahan algoritma MPPT dapat meningkatkan daya yang dihasilkan TEG (Alexandros Paraskevas & Eftichios Koutroulis, 2015). Pada penelitian ini digunakan konverter jenis *step-up* atau *boost converter*, karena konverter jenis ini memiliki efisiensi yang cukup baik (Qun Zhao & Fred C. Lee, 2003). Pada penelitian ini, digunakan metode *Perturb and Observe* (P&O) dengan memanfaatkan DC/DC *boost converter* untuk menaikkan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh generator termoelektrik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang bisa diambil adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang *boost converter* yang di implementasikan pada generator termoelektrik.
2. Bagaimana pengaruh *duty cycle* terhadap daya keluaran dari DC conveter.
3. Bagaimana perbandingan daya keluaran generator termoelektrik ketika tanpa dan dengan menggunakan metode *perturb and observe*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi hanya menggunakan generator termoelektrik tipe TE-MOD-10W4V-40.
2. Generator termoelektrik yang digunakan sejumlah 3 dan disusun secara seri.
3. Tidak membahas jenis dan produk generator termoelektrik secara detail, hanya melihat besar daya yang dihasilkan oleh sebuah generator tersebut
4. Tidak membahas semua jenis MPPT, melainkan hanya membahas *metode perturb and observe* saja.
5. Jenis DC/DC *converter* yang dibahas hanya *boost converter*.
6. Tidak membahas *charging control* baterai.
7. Pendinginan menggunakan *heatsink*, air biasa dan es.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat merancang DC/DC *boost converter* dan mengimplementasikan pada generator termoelektrik.
2. Untuk mengetahui pengaruh besarnya *duty cycle* terhadap daya dari DC/DC *boost converter*.
3. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan metode *perturb and observe* terhadap daya yang dihasilkan oleh generator termoelektrik.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat memperbaiki karakteristik dari generator termoelektrik.
2. Menghasilkan DC/DC *boost converter*.
3. Diharapkan dapat memberikan solusi dalam memperbaiki daya keluaran dengan pengaruh penggunaan metode *perturb and observe*.

1.6 Sistematika Pembahasan

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika pembahasan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode kajian yang di gunakan untuk menyelesaikan skripsi.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil penelitian dan analisi hasil penelitian.

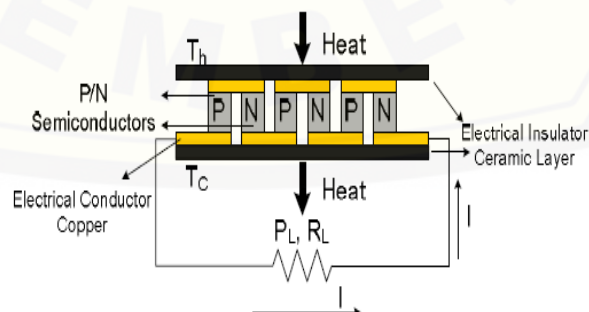
BAB 5. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

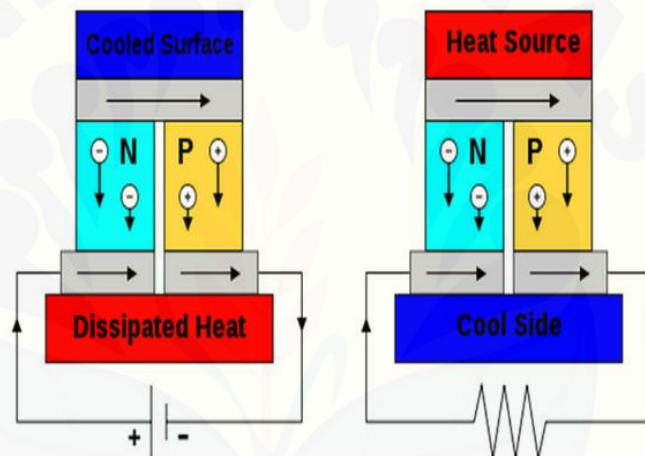
2.1 Generator Termoelektrik

Generator termoelektrik adalah sebuah alat yang dapat digunakan sebagai pembangkit tegangan listrik dengan memanfaatkan konduktivitas atau daya hantar panas dari sebuah lempeng logam. Termoelektrik merupakan konversi langsung dari energi panas menjadi energi listrik. Termoelektrik didasarkan pada sebuah efek yang disebut efek *seebeck*, yang pertama kali ditemukan pada tahun 1821 oleh Thomas Johann Seebeck. Prinsip kerja dari *efek seebeck* yang bekerja pada pembangkit termoelektrik adalah jika ada dua buah material atau lempeng logam yang tersambung berada pada lingkungan dengan suhu yang berbeda maka di dalam material atau lempeng logam tersebut akan mengalir arus listrik. Teknologi termoelektrik relatif lebih ramah lingkungan, tahan lama dan bisa digunakan dalam skala yang besar. Termoelektrik itu sendiri umumnya menggunakan bahan yang bersifat semikonduktor atau dengan kata lain menggunakan *solid-state technology*. Adapun struktur dari termoelektrik dapat dilihat pada gambar 2.1. Pada gambar tersebut ditunjukkan struktur termoelektrik yang terdiri dari suatu susunan elemen tipe-P, yakni material yang kekurangan elektron, dan terdiri juga dari susunan elemen tipe-N, yakni material yang kelebihan elektron. Panas masuk pada salah satu sisi dan dibuang dari sisi lainnya. Transfer panas tersebut menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambungan termoelektrik dan besarnya tegangan listrik yang dihasilkan sebanding dengan gradien suhu.



Gambar 2.1 Struktur termoelektrik

Dapat disimpulkan apabila batang logam dipanaskan dan didinginkan pada 2 buah kutub logam, elektron pada sisi panas logam akan bergerak aktif dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi dingin logam. Dengan kecepatan yang lebih tinggi, maka elektron dari sisi panas akan mengalami difusi ke sisi dingin dan menyebabkan timbulnya medan listrik pada logam atau material tersebut. Elemen termoelektrik yang terdiri dari semikonduktor tipe-P dan tipe-N yang dihubungkan dalam sebuah rangkaian tertutup yang terdapat pada beban. Maka perbedaan suhu yang ada pada tiap junction dan tiap semikonduktor tersebut akan menyebabkan perpindahan elektron dari sisi panas menuju sisi dingin. Proses ini diilustrasikan pada gambar 2.2. (Ryuniargo., dkk, 2013).



Gambar 2.2 Proses termoelektrik mengubah energi panas menjadi listrik

Secara umum, beberapa material generator termoelektrik yang telah diproduksi menggunakan :

1. *Silicon germanium*
2. *Lead telluride*
3. *Bismuth telluride alloys*

Ketiga material ini terbagi berdasarkan temperatur kerjanya. Untuk material *silicon germanium*, temperatur kerja paling tinggi diantara 2 material lainnya. Material ini dapat menyerap panas dalam range temperatur 750°C sampai 1000°C. Material ini dapat menyerap beda potensial yang lebih tinggi dari material

termoelektrik lainnya. Kekurangan dari material ini adalah tingginya harga, sehingga menaikkan ongkos produksinya.

Material *lead telluride* merupakan material dengan temperatur kerja menengah, dibawah material *silicon germanium*, dan diatas temperatur kerja *bismuth telluride alloys*. Material ini mempunyai temperatur kerja dengan rentang antara 400°C – 650°C.

Material yang paling umum digunakan dalam elemen termoelektrik adalah material *bismuth telluride alloys*. Dengan rentang temperatur kerja hingga 350°C, material ini umum dipakai sebagai elemen pendingin pada aplikasi pendinginan, atau kombinasi pendinginan dan pemanasan dengan adanya perbedaan temperatur yang membuat timbulnya daya listrik, dibandingkan dengan dua material yang lain, daya keluaran serta efisiensi pembangkitan *bismuth telluride* lebih kecil, tetapi dengan tersedianya sumber termal, daya yang diinginkan akan dapat tercapai.

Modul pembangkit termoelektrik mempunyai bentuk dasar dengan dua jenis, antara lain *linear shape module* (bisa dibentuk sesuai penempatannya) dengan biaya produksi yang lebih tinggi dan umumnya memerlukan pesanan dengan spesifikasi khusus. Dan *traditional square module* yang dijual secara umum dengan bentuk persegi.

Karakteristik dari elemen termoelektrik adalah *internal resistance* (ρ), *thermal conductivity* (γ) dan *thermoelectric power* (α), yang merupakan hubungan kecepatan perpindahan elektron valensi pada dua material.

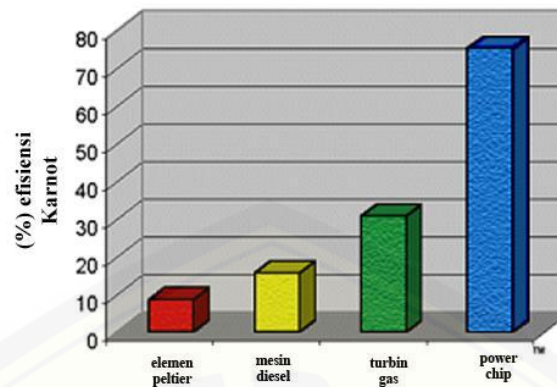
Kalor yang dilepaskan pada sisi dingin sebanding dengan suhu absolut pada sisi tersebut dan sebanding dengan jumlah elektron yang dipindahkan. Jika kedua sisi elemen peltier mempunyai suhu yang berbeda, sejumlah kalor akan berpindah dari sisi panas menuju sisi dingin. Hal ini dapat menyebabkan *power losses*. Oleh karena itu *power losses* ini harus dapat dikurangi dengan mengurangi *heat capacity* dalam peltier. Dapat dikatakan bahwa, kalor yang dipancarkan oleh sisi panas adalah jumlah dari kalor yang diserap oleh sisi dingin dan *electrical power losses*.

Generator termoelektrik tersusun dari dua lapisan keramik pada sisi paling luarnya yang berfungsi sebagai insulator listrik, dengan lapisan yang berbentuk seperti wafer. Sisi luar pada modul pembangkit termoelektrik berguna sebagai

medium perpindahan kalor. Setelah sisi luar keramik, terdapat konduktor listrik pada lapisan bawahnya yang menggunakan material tembaga atau timah, material ini berfungsi sebagai penghubung antara kedua semikonduktor tipe-p dan tipe-n, yang terdapat pada lapisan dibawahnya lagi, yang tersusun secara bergantian. sesuai dengan karakteristik yang dipunyai oleh elemen termoelektrik yang dijelaskan sebelumnya, dimana *internal resistance* atau tahanan dalam dari elemen peltier/elemen termoelektrik adalah tahanan listrik dalam peltier. Kemudian *thermal conductivity* atau konduktivitas termal adalah perpindahan kalor yang terjadi pada material yang satu dengan yang lain dalam elemen termoelektrik. Hal yang perlu diperhatikan dalam pembangkit termoelektrik adalah menjaga perbedaan temperatur sebesar mungkin, pada umumnya untuk mencapai perbedaan temperatur yang besar, digunakan perangkat untuk mendinginkan sisi dingin dari elemen peltier, berbagai variasi perangkat pendinginan telah digunakan sebelumnya dalam penelitian antara lain penggunaan heatsink. Pada penelitian kali ini, peneliti mencoba menggunakan perangkat *heat pipe* untuk memaksimalkan pelepasan kalor pada sisi dingin elemen peltier.

2.1.1 Efisiensi Generator Termoelektrik

Dalam pembangkitan daya, efisiensi karnot digunakan sebagai parameter energi, efisiensi karnot merupakan efisiensi dengan perhitungan teoritis, dianggap sebagai keadaan yang paling ideal, maka suatu mesin akan mempunyai efisiensi karnot sebesar 100%. Berbeda dengan efisiensi termal yang hampir selalu lebih kecil dari efisiensi karnot ideal. Dalam hukum kedua termodinamika, yang menyatakan tidak semua kalor dalam suatu mesin kalor akan dapat digunakan untuk melakukan kerja, efisiensi karnot menetapkan nilai batas pada fraksi kalor yang dapat digunakan. Dibandingkan dengan perangkat pembangkit daya yang lain, efisiensi dari elemen peltier masih rendah, dengan tingkat efisiensi hanya sekitar 5-8% sementara pembangkit daya dengan siklus *rankine*, seperti turbin gas, memiliki efisiensi karnot sebesar 30%, pembangkit diesel atau motor bakar memiliki efisiensi sekitar 10-15%, dengan *power chip* sebagai acuan efisiensi yang cukup baik sekitar 70- 80%.



Gambar 2.3 Perbandingan efisiensi *peltier* dengan pembangkit daya lain.
(ref:www.powerchips.com)

Tabel 2.1 Hasil eksperimen pada *single crystals* (Rowe, 1995)

Column	<i>n-p</i>	<i>T</i> (°C)	<i>C_p</i>	ρ	μ_H	α	λ	<i>Z</i>
Bi_2Te_3	<i>n</i>	582	2.3	10.0	212	240	2.0	2.9
$\text{Sb}_2\text{Te}_3 \perp$	<i>p</i>	575	21.0	3.2	244	92	1.6	1.6
$\text{Sb}_2\text{Te}_3 \parallel$	<i>p</i>	605	10.0	1.9	313	83.0	5.6	0.6
$\text{Bi}_8\text{Sb}_{32}\text{Te}_{60}$	<i>p</i>	540	4.8	10.0	176	194	1.3	3.0
$\text{Bi}_{10}\text{Sb}_{30}\text{Te}_{60}$	<i>p</i>	540	3.5	13	177	225	1.4	2.9
$\text{Bi}_9\text{Sb}_{31}\text{Te}_{60}$	<i>p</i>	530	3.9	8.9	190	206	1.5	3.2
$\text{Bi}_{40}\text{Sb}_{57}\text{Te}_3$	<i>n</i>	580	4.0	11.0	140	223	1.6	2.8
$\text{Bi}_{40}\text{Te}_{58.5}\text{Se}_{1.5}$	<i>n</i>	580	4.3	11.0	150	230	1.7	2.9

Data yang ditunjukkan pada tabel 2.1 merupakan sebaran data percobaan karakteristik dari beberapa bahan yang digunakan untuk membuat termoelektrik (TEG). N-P merupakan tipe konduktor yang dipakai, *T* (°C) merupakan temperatur saturasi dalam °C, *C_p* *carrier concentration* $\times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, ρ merupakan resistivity $\mu\Omega \text{ m}$, kemudian μ_H merupakan *mobility of carriers* $\text{cm}^2 \text{ v}^{-1}\text{s}^{-1}$, α merupakan *absolut seebeck* koefisien dengan satuan $\mu\text{V K}^{-1}$, λ merupakan konduktifitas termal $\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$, *Z* adalah *figure of merit* 10^{-3} K^{-1} .

Sedangkan untuk mengetahui besar efisiensi yang dihasilkan oleh generator dapat dicari dengan persamaan berikut ini :

$$\epsilon = \frac{T_h - T_c}{T_h} \frac{\sqrt{1 + ZT^*} - 1}{\sqrt{1 + ZT^*} + T_c/T_h} \quad (2.1)$$

- Dimana T_h = Suhu sisi dingin
 T_c = Suhu sisi panas
 Z_t = Dimensi figur merit ($zT = \alpha^2 \sigma T / \kappa$) (BiTe = 2.9)
 ϵ = Efisiensi generator termoelektrik pada saat menjadi generator

2.1.2 Efek *Seebeck*

Efek *seebeck* merupakan fenomena yang mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Jika ada dua bahan yang berbeda yang kemudian kedua ujungnya disambungkan satu sama lain maka akan terjadi dua sambungan dalam satu *loop*. Jika terjadi perbedaan temperatur di antara kedua sambungan ini, maka akan terjadi arus listrik akan terjadi. Prinsip ini lah yang digunakan termoelektrik sebagai generator (pembangkit listrik). Setiap bahan memiliki koefisien *seebeck* yang berbeda-beda. Semakin besar koefisien *seebeck* ini, maka beda potensial yang dihasilkan juga semakin besar. Karena perbedaan temperatur disini dapat diubah menjadi tegangan listrik, maka prinsip ini juga digunakan sebagai sensor temperatur yang dinamakan *thermocouple*.

Dengan adanya perbedaan suhu pada kedua titik *junction* maka akan ada beda potensial di antara kedua titik tersebut, yang dapat ditentukan dengan,

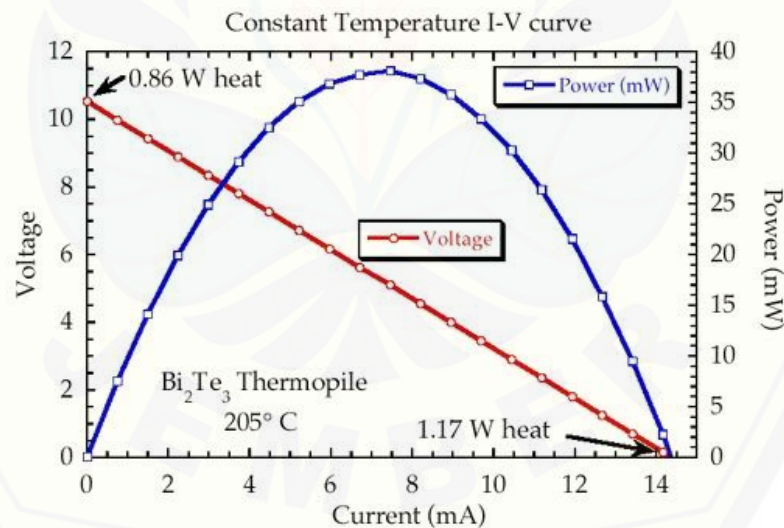
$$\Delta V = \int_{T_1}^{T_2} S_{AB} dT \quad (2.2)$$

dimana S_{AB} adalah koefisien *seebeck* dengan $T_1 < T_2$. Umumnya, ada beberapa material atau bahan dari generator termoelektrik yang sudah diproduksi antara lain *silicon germanium*, *lead telluride* dan *bismuth telluride*. Ketiga bahan ini diklasifikasikan menurut suhu kerjanya. Bahan silikon germanium memiliki suhu kerja yang paling tinggi diantara bahan generator termoelektrik lainnya. Material ini bisa menyerap panas dalam suhu 750°C sampai dengan 1000°C *rotor*. Bahan ini dapat menyerap beda potensial yang paling tinggi dari material termoelektrik yang lainnya. Adapun material *lead telluride* merupakan material generator termoelektrik yang bekerja pada suhu menengah. Pada material ini suhu kerja rentang antara 400° C sampai dengan 650°C. Namun pada umumnya bahan generator termoelektrik yang digunakan adalah material jenis *bismuth telluride*.

Material ini bekerja pada suhu rendah dengan rentang suhu kerja hingga 350°C. Material ini umumnya dipakai untuk elemen pendingin pada aplikasi pendingin, atau kombinasi pendingin dan pemanasan dengan adanya perbedaan suhu yang mengakibatkan timbulnya energi listrik. Jika terjadi perbedaan temperatur diantara kedua sambungan ini, maka akan timbul arus listrik. Semakin besar koefisien *seebeck* ini, maka semakin besar pula beda potensial yang dihasilkan. Karena perbedaan temperatur ini dapat diubah menjadi listrik, maka prinsip ini dipakai pada sensor termokopel.

$$S=dE/dt \quad (2.3)$$

Dimana S merupakan koefisien *seebeck*, sedangkan E merupakan perubahan potensial dan t merupakan suhu. Sehingga disimpulkan bahwa koefisien *seebeck* sangat dipengaruhi oleh temperatur (Archie, 1996). Untuk saat ini, tercatat bahwa efisiensi dari kerja generator termoelektrik mencapai 10%. Hasil ini lebih kecil apabila dibandingkan dengan *solar cell* yang memiliki efisiensi sebesar 14-20% (Corrigendum, 2012).

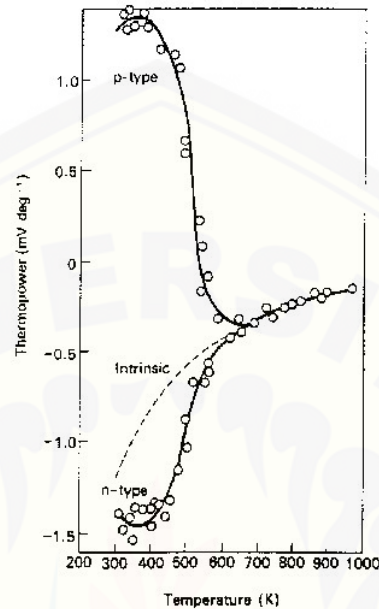


Gambar 2.4 Efisiensi termoelektrik (thermoelectrics.matsci.northwestern.edu)

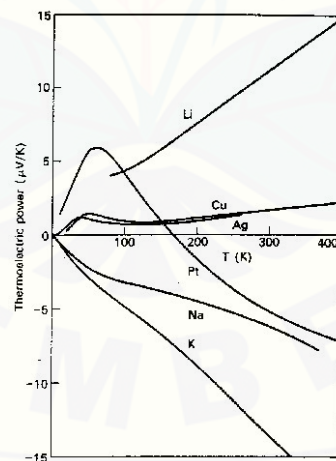
Daya keluaran maksimal dari generator dapat dicari dengan cara menggunakan persamaan dibawah ini.

$$P_{out, max} = m^2 S p n^2 \Delta T^2 / 4 R g \quad (2.4)$$

Dimana m merupakan harga termis maksimum, sedangkan S_{pn} merupakan sifat dari material yang digunakan, lalu ΔT merupakan perubahan suhu. Sedangkan R_g merupakan tahanan dalam dari elemen termoelektrik. (Culp, Archie W. 1996).



Gambar 2.5 Ketergantungan temperatur terhadap daya termoelektrik dari beberapa material.



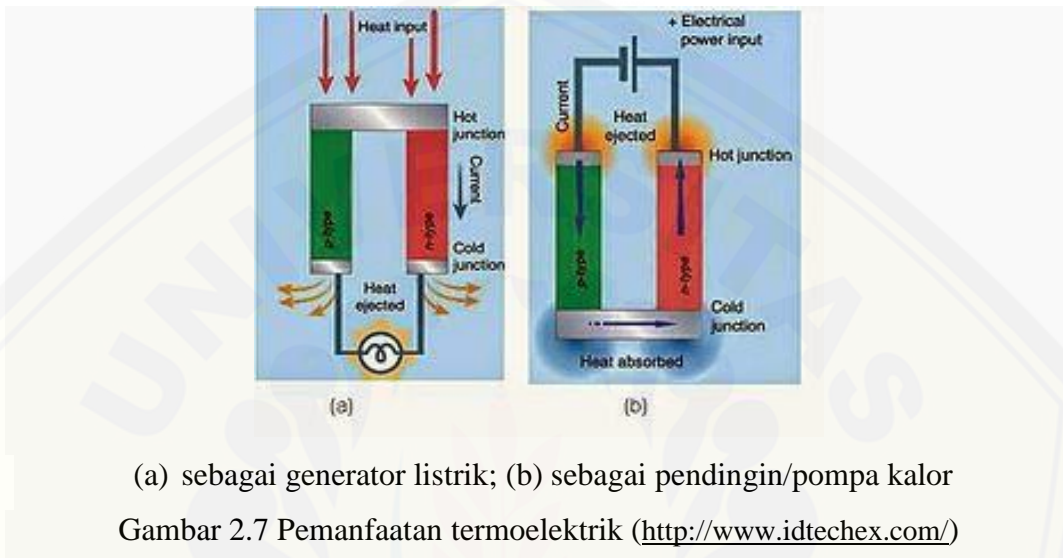
Gambar 2.6 Ketergantungan temperatur terhadap daya termoelektrik pada material silikon dengan jenis impuritas berbeda.

2.1.3 Efek *Peltier*

Kebalikan dari dari efek *seebeck*, yaitu jika dua logam yang berbeda disambungkan kemudian arus listrik dialirkan pada sambungan tersebut, maka

akan terjadi fenomena pompa kalor. Prinsip inilah yang digunakan termoelektrik sebagai pendingin/pompa kalor.

Termoelektrik terdiri dari dua buah bahan berbeda yang dihubungkan. Material yang dipilih memiliki koefisien *seebeck* cukup tinggi. Saat ini kebanyakan termoelektrik menggunakan *bismuth-telluride* sebagai bahan pembuatnya.



(a) sebagai generator listrik; (b) sebagai pendingin/pompa kalor

Gambar 2.7 Pemanfaatan termoelektrik (<http://www.idtechex.com/>)

Perangkat generator termoelektrik yang dijual biasanya berbentuk plat tipis. Salah satu termoelektrik yang dapat dengan mudah kita dapatkan berukuran 40 mm x 40 mm dengan ketebalan 3 mm dan terdapat dua buah kabel (biasanya merah dan hitam). Jika di antara kedua permukaan termoelektrik terdapat perbedaan temperatur maka tegangan listrik dihasilkan dan tegangan tersebut dapat kita ukur melalui dua kabel termoelektrik dengan menggunakan voltmeter. Jika perbedaan temperatur cukup besar, maka termoelektrik dapat menghidupkan sebuah lampu LED kecil. Listrik yang dihasilkan pada generator termoelektrik adalah listrik searah (DC).

Sebaliknya jika modul termoelektrik ini diberi tegangan maka akan terjadi perbedaan temperatur antar permukaan yang satu dengan yang lain. Tegangan ini akan menyebabkan adanya aliran arus yang melalui bahan termoelektrik sehingga terjadi efek peltier. Fenomena inilah yang disebut dengan pompa kalor. Jika dibandingkan dengan teknologi refrigerasi kompresi uap, termoelektrik memiliki berbagai macam kelebihan antara lain: Pemanas atau pendingin dapat dengan mudah diatur dengan menyesuaikan arah arusnya, sangat ringkas, tidak berisik,

tidak butuh perawatan khusus, tidak butuh refrigeran (*Freon*), tidak ada getaran. Bagaimanapun juga termolektrik masih memiliki kekurangan yaitu performanya yang terbilang masih rendah.

2.2 Boost converter

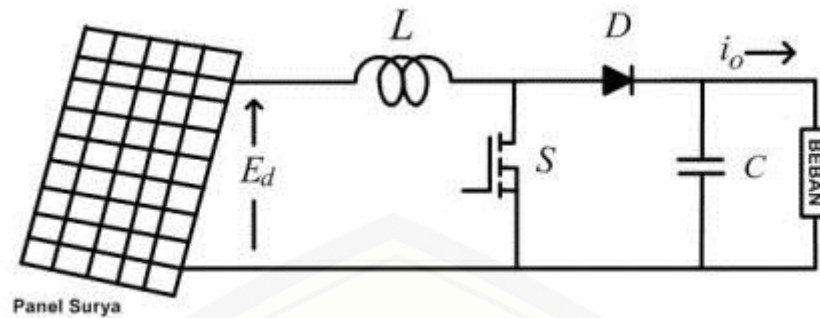
Konverter DC/DC berlaku seperti halnya trafo/*transformer* yang mengubah tegangan AC tertentu ke tegangan AC yang lebih tinggi atau lebih rendah. Tidak ada peningkatan ataupun pengurangan daya masukan selama pengkonversian bentuk energi listriknya, sehingga secara ideal persamaan dayanya dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{in} = P_{out} + P_{losses} \quad (2.5)$$

Konverter DC/DC dapat dibagi menjadi 2 kategori besar, yaitu yang terisolasi dan yang tak terisolasi. Kata 'isolasi' disini secara sederhana bermakna adanya penggunaan trafo (isolasi galvanis) antara tegangan masukan dan tegangan keluaran konverter DC/DC. Beberapa sumber menyebutkan bahwa konverter DC/DC yang tak terisolasi dengan istilah *direct converter*, dan konverter yang terisolasi dengan istilah *indirect converter*.

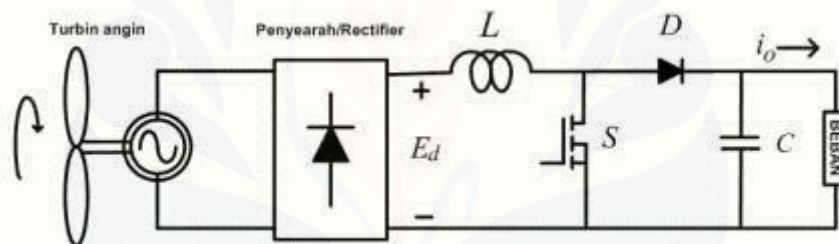
Konverter *boost* berfungsi untuk menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dibanding tegangan masukannya, atau biasa disebut dengan konverter penaik tegangan. Konverter ini banyak dimanfaatkan untuk aplikasi pembangkit listrik tenaga surya dan turbin angin.

Skema konverter jenis ini dapat dilihat pada gambar 2.8 dan gambar 2.9, dimana komponen utamanya terdiri atas MOSFET, dioda, induktor, dan kapasitor. Jika saklar MOSFET pada kondisi tertutup, arus akan mengalir ke induktor sehingga menyebabkan energi yang tersimpan di induktor naik. Saat saklar MOSFET terbuka, arus induktor ini akan mengalir menuju beban melewati dioda sehingga energi yang tersimpan di induktor akan turun. Rasio antara tegangan keluaran dan tegangan masukan konverter sebanding dengan rasio antara periode pensaklaran dan waktu pembukaan saklar. Keunggulan dari konverter *boost* adalah mampu menghasilkan arus masukan yang kontiniu.



Gambar 2.8 Rangkaian DC/DC *boost converter*

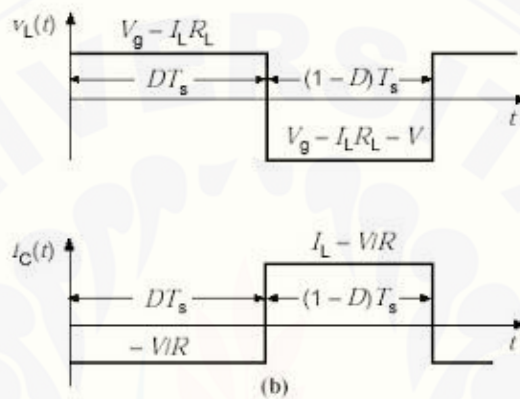
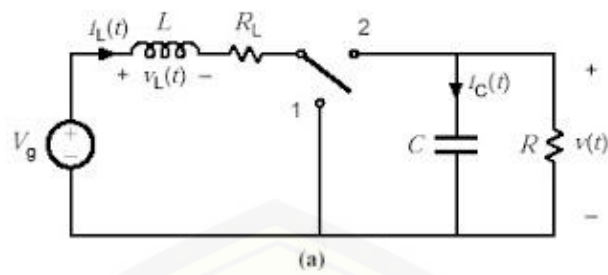
Karena arus masukan konverter dapat dijaga kontinu, pada saat konverter ini diseriakan dengan penyearah dioda, konverter ini tidak menimbulkan harmonisa pada arus sumber penyearah dioda. Atau dengan kata lain, arus sumber mempunyai bentuk gelombang mendekati sinusoidal dengan faktor daya sama dengan satu.



Gambar 2.9 Rangkaian konverter DC/DC tipe *boost* dan penyearah dioda (faktor daya satu)

2.2.1 Prinsip Kerja DC *Boost Converter*

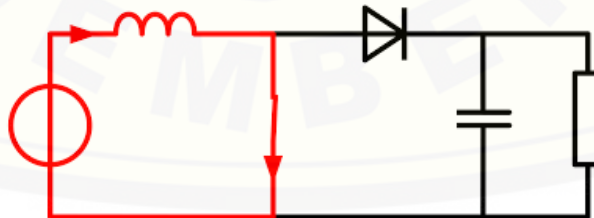
MOSFET yang digunakan pada rangkaian DC *chopper* tipe *boost* adalah bertindak sebagai saklar yang dapat membuka atau menutup rangkaian sehingga arus dapat dikendalikan sesuai dengan *duty cycle* yang diinginkan. Berikut adalah skema secara umum dari DC *chopper* tipe *boost*.



Gambar 2.10 Skema *boost converter* beserta keluarannya

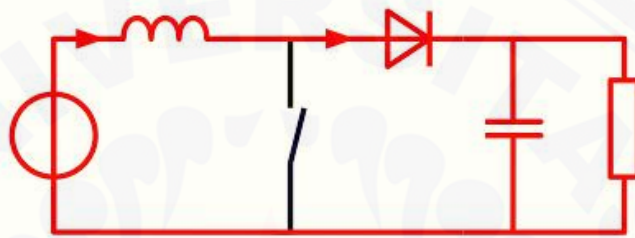
Kinerja dari *boost converter* dapat dibagi menjadi 2 kerja utama, yaitu :

1. Ketika MOSFET *on* (tertutup) dan dioda *off*, arus mengalir searah jarum jam dari sumber menuju ke induktor (terjadi pengisian arus pada induktor). Polaritas induktor pada sisi kiri lebih positif dibandingkan sisi kanannya.



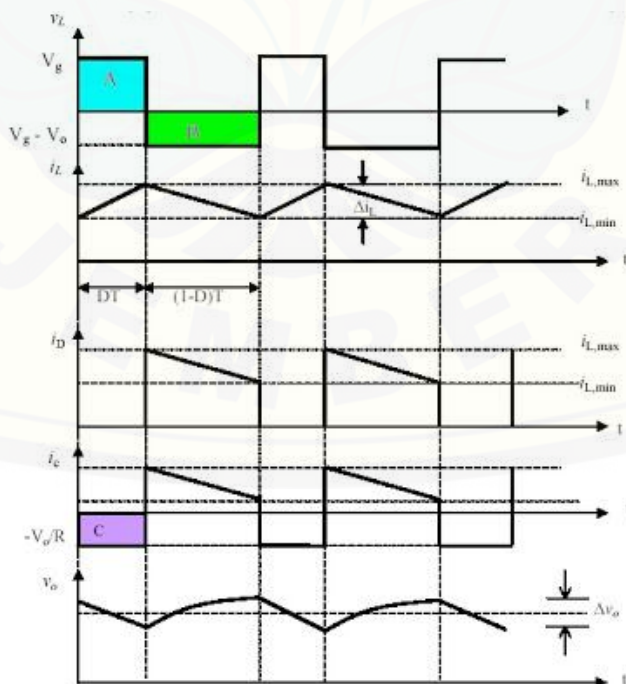
Gambar 2.11 MOSFET *boost converter* ON

2. Ketika MOSFET *off* (terbuka) dan dioda *on*, arus yang disimpan di induktor akan berkurang karena impedansi yang lebih tinggi. Berkurangnya arus pada induktor menyebabkan induktor tersebut melawannya dengan membalik polaritasnya (lebih negatif pada sisi kiri). Sehingga, arus yang mengalir pada dioda dan pada beban adalah penjumlahan antara arus pada sumber dan arus pada induktor (seri). Disaat yang bersamaan kapasitor juga akan melakukan penyimpanan energi dalam bentuk tegangan. Itulah sebabnya *boost converter* memiliki keluaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan masukannya.



Gambar 2.12 MOSFET *boost converter* OFF

Dari rangkaian DC *chopper* tipe *boost* seperti diatas, didapatkan hasil gelombang keluaran secara terperinci seperti dibawah ini :



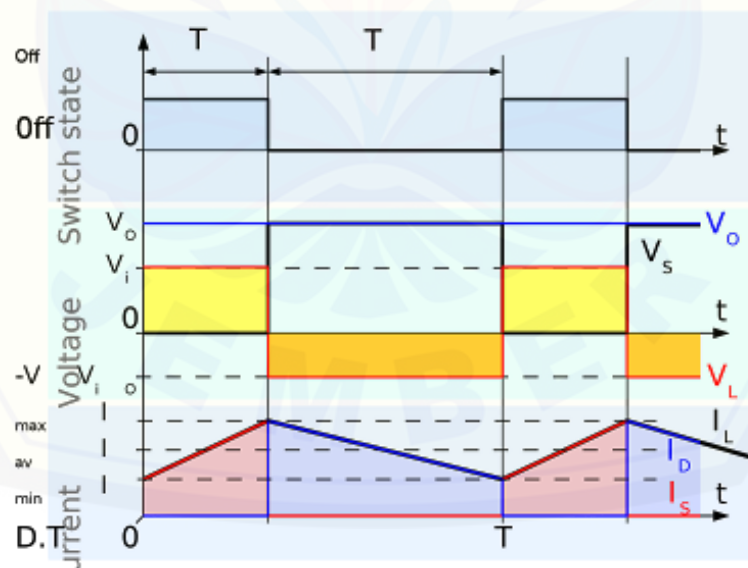
Gambar 2.13 Gelombang keluaran *boost converter*

Dari gambar dapat ditunjukkan pada gambar 2.13 bahwa arus pada beban (I_L) akan naik secara linier ketika MOSFET dalam kondisi OFF dan turun secara linier pula ketika MOSFET dalam kondisi ON. Namun penurunan arus beban (I_L) tersebut tidak mencapai nol. Sehingga gambar diatas dapat digolongkan menjadi DC chopper tipe boost mode *continuous*.

Semakin besar *duty cycle*, maka semakin besar pula tegangan keluaran yang dihasilkan DC/DC *boost converter*. Namun, tegangan keluaran tersebut selalu lebih besar atau sama dengan tegangan masukan DC *boost converter*. Semakin besarnya *duty cycle* dapat dilihat dari semakin besarnya area yang diwarnai biru muda pada gambar diatas.

- Mode *Continuous* dan *Discontinuous Boost Converter*

Pada DC *chopper Boost* dikenal dengan adanya mode *continuous* dan *discontinuous*. Mode *continuous* adalah mode dimana arus yang dihasilkan oleh induktor tidak pernah habis sampai nol ketika MOSFET pada rangkaian tersebut dalam kondisi OFF.

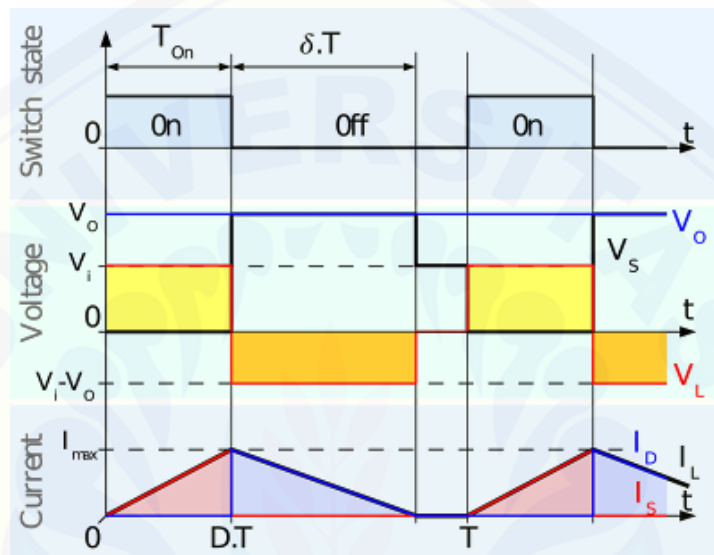


Gambar 2.14 *Continuous conduction mode* dari *boost converter*

Fungsi alih dari mode *continuous* dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 - D} \tag{2.6}$$

Sedangkan mode *discontinuous* adalah mode dimana arus yang dihasilkan oleh induktor pada saat MOSFET pada kondisi OFF, dapat mencapai nilai nol. Hal ini dikarenakan oleh adanya beban yang terlalu ringan pada rangkaian.

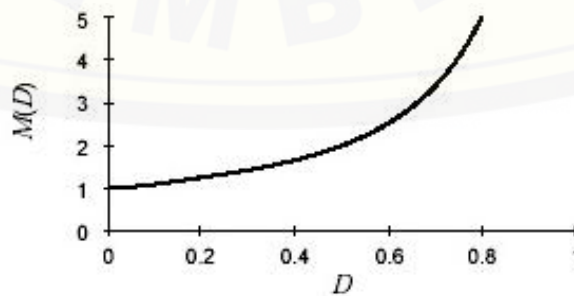


Gambar 2.15 *Discontinuous mode DC chopper tipe boost*

Fungsi alih dari mode *continuous* dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{V_i D^2 T}{2LI_o} \tag{2.7}$$

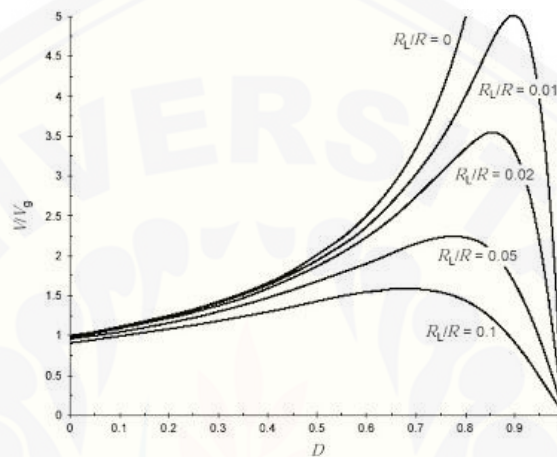
Berikut adalah grafik hubungan *duty cycle* dengan fungsi alir dari DC chopper tipe *boost*



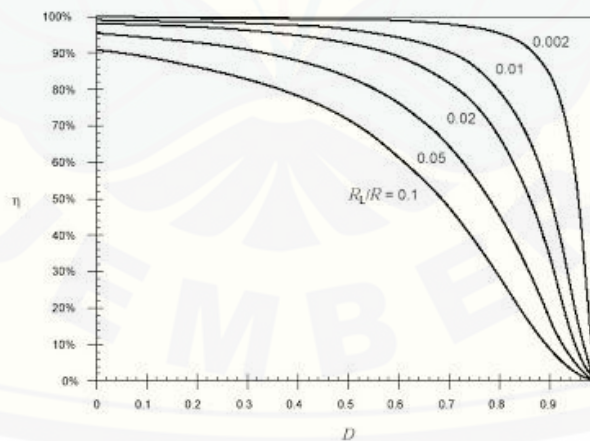
Gambar 2.16 Kurva perbandingan *duty cycle* dan fungsi alir *boost converter*

Dari gambar 2.16 dapat diketahui bahwa, semakin besar *duty cycle* (D), maka semakin besar pula fungsi alihnya. Namun, kenaikan tersebut bukanlah secara linier, melainkan secara eksponensial. Begitu pula sebaliknya, semakin kecil *duty cycle* (D), maka semakin kecil pula fungsi alihnya.

Berikut adalah kurva hubungan antara *duty cycle* dan efisiensi serta hubungan antara *duty cycle* dan rasio tegangan.



Gambar 2.17 Kurva hubungan rasio V dan *duty cycle*



Gambar 2.18 Kurva hubungan *duty cycle* dan efisiensi

2.2.2 Pulse Width Modulation (PWM)

Modulasi lebar pulsa atau yang lebih dikenal dengan sebutan PWM (*Pulse Width Modulation*) merupakan suatu teknik yang membandingkan sinyal referensi

dengan sinyal *carrier*. Pada umumnya untuk sinyal *carrier* berupa gelombang segitiga. Apabila amplitude sinyal referensi berada di atas amplitudo sinyal *carrier* maka dihasilkan sinyal *gate* “*high*” dan jika amplitude sinyal referensi berada di bawah amplitudo sinyal referensi berada di bawah amplitudo sinyal *carrier* maka dihasilkan sinyal “*low*”. *Duty cycle* adalah perbandingan antara waktu konduksi dibagi dengan total waktu antara kondisi konduksi dan tidak konduksi dikalikan seratus persen.

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} \times 100\% \quad (2.8)$$

Dari *duty cycle* tersebut nantinya akan dipakai untuk memberikan waktu konduksi dan tidak konduksinya komponen semikonduktor. Didalam teknik PWM, pulsa penyalaan yang mengontrol keadaan ON dan OFF saklar dihasilkan dari perbandingan gelombang $V_{control}$ dengan gelombang segitiga seperti pada gambar di atas. $V_{control}$ umumnya dihasilkan dengan memperbesar tegangan DC atau perbedaan antara tegangan keluaran dengan tegangan yang diinginkan. Jadi prinsip kerja dari PWM adalah jika nilai sesaat gelombang $V_{control}$ lebih besar dari gelombang segitiga, maka saklar akan menutup (ON) dan sebaliknya saklar akan membuka (OFF).

2.2.3 Parameter Perancangan *Boost Converter*

Berikut empat parameter yang diperlukan untuk menghitung daya:

1. Rentang tegangan *input*: $V_{in(min)}$ dan $V_{in(max)}$
2. Nominal tegangan *output*: V_{out}
3. *Output* arus max : I_{outmax}
4. Rangkaian yang terintegrasi yang digunakan untuk membangun *boost converter*. Hal ini diperlukan, karena beberapa parameter untuk perhitungan harus diambil dari *data sheet* dari komponen yang digunakan dalam perancangan.

Langkah-langkah perancangan *boost converter*.

a. Penentuan *Duty Cycle*

Langkah pertama dalam perancangan *boost converter* adalah menentukan besarnya *duty cycle* minimum dan *duty cycle* maksimum.

$$D_{min} = 1 - \frac{V_{I_{max}}}{V_o} \quad (2.9)$$

$$D_{max} = 1 - \frac{V_{min}}{V_o} \quad (2.10)$$

Keterangan :

D : *Duty cycle*

$V_{in(min)}$: Tegangan masukan minimum

V_{out} : Tegangan keluaran

$V_{in(max)}$: Tegangan masukan maksimum

b. Menentukan besarnya resistansi yang digunakan sebagai beban

Resistansi dalam perhitungan digunakan resistansi maksimum dan minimum yang akan digunakan sebagai beban dari *boost converter*, beban dapat ditentukan dengan menggunakan parameter tegangan *output* dan juga arus yang akan ada dalam perancangan *boost converter*

$$R_{Lmin} = \frac{V_o}{I_{Omax}} \quad (2.11)$$

$$R_{Lmax} = \frac{V_o}{I_{Omin}} \quad (2.12)$$

Keterangan :

R_{Lmin} : Resistansi minimum

R_{Lmax} : Resistansi maksimum

c. Menghitung arus *ripple* dan rms induktor

Setelah menentukan besarnya resistansi, langkah selanjutnya adalah menentukan besarnya arus *ripple* maksimum dan arus rms yang ada pada induktor dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\Delta i_{Lmax} = \frac{V_o D_{min} (1 - D_{min})^2}{f_s L} \quad (2.13)$$

$$I_{Lrms} \approx I_{I_{max}} = \frac{I_{Omax}}{1 - D_{max}} \quad (2.14)$$

Keterangan :

f_s : Frekuensi *switching*

Δi_{Lmax} : arus *ripple* maksimum induktor

I_{Lrms} : arus rms induktor

d. Menentukan besar induktansi minimum

Komponen yang selanjutnya harus ditentukan nilainya adalah induktor, induktor yang akan dirancang dapat menggunakan persamaan

$$L_{min} = \frac{R_{Lmax} D_{min} (1-D_{min})^2}{2f_s} \quad (2.15)$$

Keterangan :

L_{min} : Induktansi minimum

e. Menghitung nilai dari arus maksimum dan arus rms MOSFET

$$I_{SMmax} = I_{DMmax} = \frac{I_{Omax}}{1-D_{min}} + \frac{V_O D_{max} (1-D_{min})}{2f_s L} \quad (2.16)$$

$$I_{Srms} = \frac{\sqrt{D_{max}} I_{Omax}}{1-D_{max}} \quad (2.17)$$

Keterangan :

I_{SMmax} : *current stresses* MOSFET

I_{DMmax} : *current stresses* diode

I_{Srms} : arus rms MOSFET

f. Menentukan besarnya kapasitansi

Sebelum menentukan besarnya kapasitansi yang digunakan untuk perancangan *boost converter*, terlebih dahulu menentukan tegangan *ripple* kapasitor yang akan digunakan dengan menggunakan persamaan 2.13

$$V_r = 0.01 \times V_O \quad (2.18)$$

Setelah nilai dari tegangan *ripple* kapasitor ditemukan, langkah selanjutnya menentukan ESR (*equivalent series resistance*) dari kapasitor

$$V_{rcpp} = V_{C_{pp}} = \frac{V_r}{2} \quad (2.19)$$

$$r_{Cmax} = \frac{V_{rcpp}}{I_{DMmax}} \quad (2.20)$$

Maka besarnya kapasitansi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini

$$C_{min} = \frac{D_{max} V_O}{f_s R_{Lmin} V_{C_{pp}}} \quad (2.21)$$

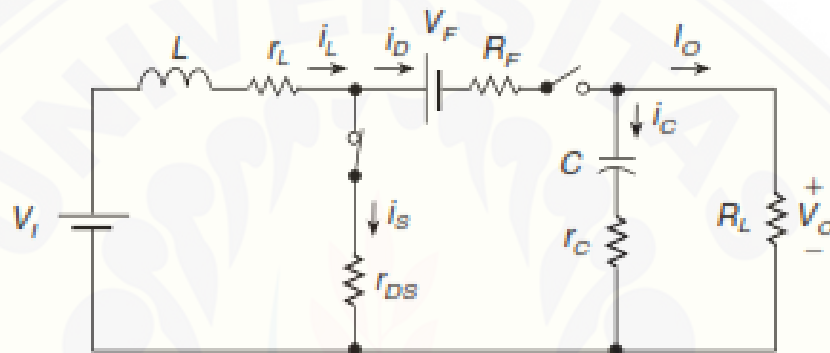
Keterangan :

V_r : Tegangan *ripple* kapasitor

r_{Cmax} : Equivalent Series Resistance (ESR)

C_{min} : kapasitansi minimum

Dalam sebuah perancangan konverter tentunya harus ditentukan *losses* daya yang kemungkinan akan terjadi karena setiap komponen elektronika mempunyai tahanan dalam yang akan menyebabkan *losses* daya konverter, selain tahanan dalam penyebab konverter mengalami *losses* daya dikarenakan MOSFET yang ada dalam konverter perancangan mengalami proses pensaklaran sehingga menghasilkan rugi-rugi daya



Gambar 2.19 Rangkaian ekuivalen *boost converter* dengan tahanan parasit

Gambar 2.19 merupakan rangkaian ekuivalen *boost converter* dengan setiap komponen terdapat tahanan parasit yang akan mengakibatkan timbulnya rugi daya ketika *boost converter* tersebut beroperasi. *Power losses* (PLS) digunakan untuk memperkirakan besar rugi daya akibat komponen konverter yang akan digunakan untuk mengetahui efisiensi dari konverter yang telah dibuat. Sehingga dapat menjadi acuan komponen yang tepat untuk *boost converter* yang dipakai. PLS adalah total rugi daya pada keseluruhan komponen konverter yaitu $PLS = P_{rds} + P_{sw} + P_D + P_{cp} + P_{rL} + P_r$. Untuk menghitung efisiensi dari rangkaian yang telah dibuat yaitu

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + PLS} 100\% \quad (2.22)$$

Pada MOSFET terdapat *drain* dan *source*, antara *drain* dan *source* mempunyai tahanan dalam yang disebut R_{DS} , dengan adanya tahanan dalam akan menyebabkan *losses* daya terjadi pada MOSFET tersebut. Untuk menentukan

besanya *losses* daya yang disebabkan oleh tahanan *drain to source* dapat digunakan persamaan

$$P_{rDS} = r_{DS} I_{srms}^2 \quad (2.23)$$

Selain *losses* daya yang di sebabkan oleh tahanan *drain to source* pada MOSFET, ketika MOSFET melakukan proses *switching* juga menyebabkan rugi-rugi *switching*, rugi *switching* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut

$$P_{sw} = f_s C_o V_{SM}^2 \quad (2.24)$$

Dengan persamaan tersebut, maka didapat total daya disipasi pada MOSFET sebagai berikut

$$P_{FET} = P_{rDS} + \frac{P_{sw}}{2} \quad (2.25)$$

Untuk rugi daya dioda dapat ditentukan dengan persamaan

$$P_D = P_{RF} + P_{VF} \quad (2.26)$$

P_{RF} merupakan *losses* yang dihasilkan karena adanya tahanan pada dioda yang digunakan pada saat perancangan

$$P_{RF} = R_F I_{Drms}^2 \quad (2.27)$$

Selain tahanan dalam dari dioda, tegangan *forward* (V_f) juga menyebabkan rugi daya yang dapat ditentukan dengan persamaan dibawah

$$P_{VF} = V_F I_{Omax} \quad (2.28)$$

Rugi-rugi pada induktor dapat diperoleh dari persamaan berikut, (r_L merupakan hambatan dalam induktor)

$$P_{rL} = r_L I_{Lrms}^2 \quad (2.29)$$

Rugi-rugi pada induktor dapat diperoleh dari persamaan berikut, (r_C merupakan hambatan dalam kapasitor)

$$P_{rC} = r_C I_{Crms}^2 \quad (2.30)$$

Dari beberapa persamaan diatas yang digunakan untuk mencari rugi-rugi daya pada setiap penggunaan komponen, maka untuk menentukan *losses* daya total dari konverter yang akan dirancang adalah

$$P_{LS} = P_{rDS} + P_{sw} + P_D + P_{rL} + P_{rC} \quad (2.31)$$

Besar daya komponen sangat dipengaruhi oleh komponen yang digunakan. sehingga pemilihan komponen sangat mempengaruhi besar daya *losses* yang dihasilkan komponen tersebut.

2.3 *Perturb and Observe*

Maximum power point tracking (MPPT) adalah sistem elektronik yang mengontrol sistem generator termoelektrik sehingga generator termoelektrik dapat beroperasi pada daya yang maksimum. MPPT bukanlah sistem pelacakan mekanis, namun kontrol elektronis yang terkonsentrasi pada titik poin karakteristik tegangan dan daya pada generator termoelektrik.

Seperti diketahui bahwa banyak sekali faktor yang mempengaruhi generator termoelektrik dalam beroperasi misalnya perbedaan temperatur antara bagian panas dan bagian dingin dari elemen termoelektrik sangat mempengaruhi daya yang bisa dihasilkan oleh elemen itu sendiri. Maka dari itu sistem MPPT memungkinkan kondisi yang variabel itu dapat dilacak daya maksimumnya pada waktu dan saat yang kita inginkan. Umumnya MPPT terdiri dari DC/DC *converter* dan kontrol digital. Dikarenakan kontrolnya berupa digital maka ada algoritma untuk mengontrolnya.

Generator termoelektrik akan terhubung langsung dengan DC/DC *converter* dalam hal ini jenis yang digunakan adalah *boost converter*, dimana sinyal *input* dari elemen *thermoelectric* yang berupa tegangan dan arus masuk sensor yang terdapat pada kontroler sistem yang digunakan, dimana di kontroler inilah nantinya diaplikasikan algoritma dalam perhitungan daya yang sinyalnya juga diambil dari *input* konverter kemudian setelah semua informasi yang dibutuhkan oleh kontroler sudah diterima, maka kontroler akan menghasilkan sinyal *outputnya* berupa PWM yang dikirimkan ke DC/DC *converter* yang nantinya akan mempengaruhi nilai tegangan dan arus keluaran yang nantinya akan masuk kedalam sebuah *storage system*.

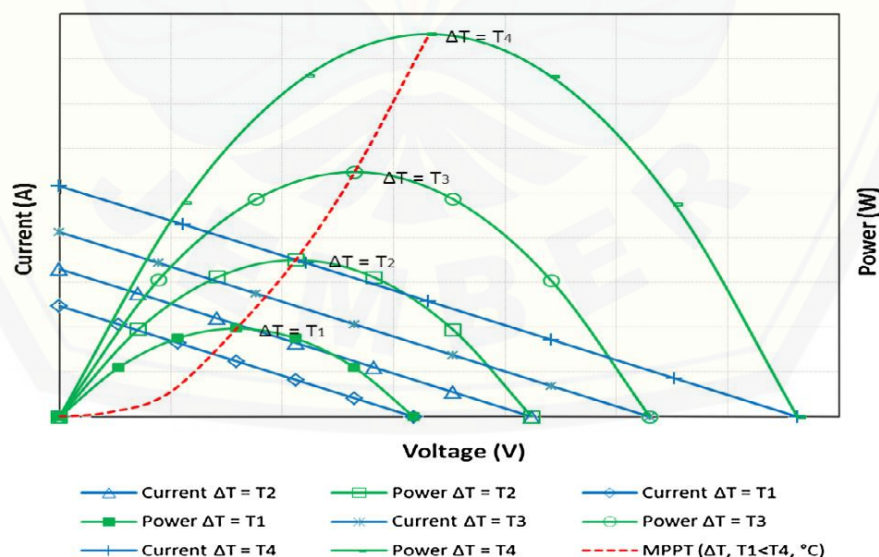
Duty cycle dalam hal ini adalah PWM (*Pulse Width Modulation*), jadi ketika ada pembacaan *input* tegangan dan arus yang berasal dari generator termoelektrik, kemudian di kalkulasi dan dapatlah daya yang diinginkan. Kemudian

dibandingkan dengan daya pada data pengambilan yang sebelumnya apakah lebih besar atau lebih kecil dibandingkan setelah menggunakan MPPT, apabila lebih besar maka data daya diperbaharui disimpan kemudian *duty cycle* akan ditambah, tujuan ditambahkan *duty cycle* disini adalah untuk mengetahui apakah setelah ditambahkan *duty cycle* daya yang dihasilkan lebih besar atau lebih kecil, algoritma ini bekerja berdasarkan dua parameter utama yaitu tegangan dan daya. Dimana ketika dV bernilai positif dan dP bernilai positif *duty cycle* akan bertambah, kemudian saat dV bernilai negative dan dP positif *duty cycle* akan berkurang, lalu saat dV bernilai positif dan dP bernilai negative *duty cycle* akan berkurang, dan yang terakhir ketika dV dan dP bernilai negative maka *perturbation* akan bernilai positif.

Beberapa metode MPPT yang sering digunakan :

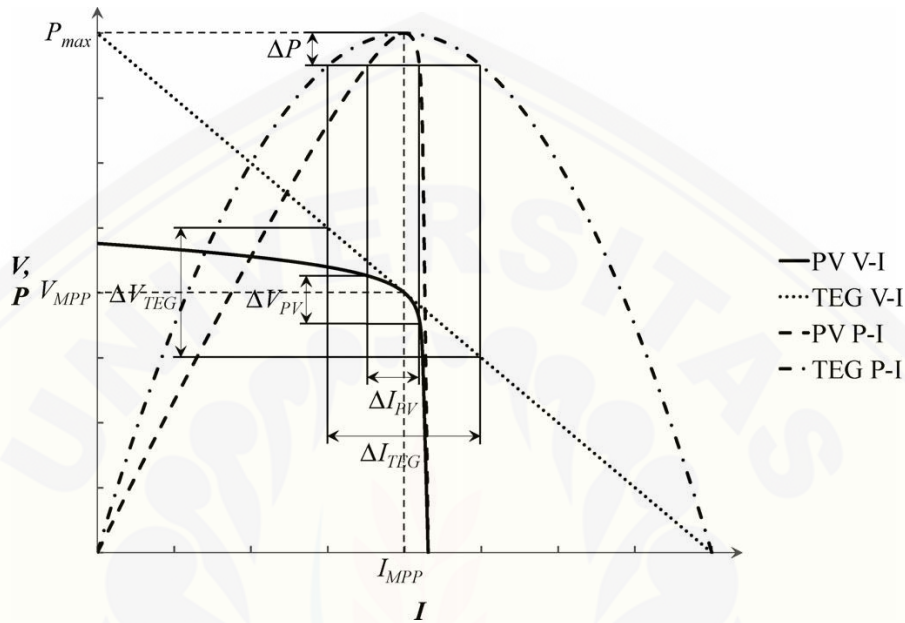
1. *Perturb and Observe (P&O)*
2. *Incremental Conductance (InCond)*
3. *Constant Voltage Method*

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.



Gambar 2.20 Grafik hubungan antara tegangan-arus, tegangan-daya dan kurva karakteristik MPP pada beberapa perbedaan temperature

Pada gambar 2.20 ditunjukkan sebuah grafik yang menunjukkan hubungan antara daya, tegangan dan arus dan juga karakteristik dari *maximum power point tracking* (MPPT) saat pada beberapa perbedaan suhu yang terjadi pada termoelektrik.



Gambar 2.21 Perbandingan karakteristik dari PV dan titik operasi osilasi dari TEG

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu 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 : Januari 2017 – April 2017

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 persiapan

Dalam tahap ini hal yang perlu diperhatikan adalah memperkirakan komponen apa saja yang nantinya akan digunakan untuk membuat alat untuk mengimplementasikan DC/DC *converter* pada sebuah generator termoelektrik yang dipasangkan pada kompor konvensional.

2. Tahap studi literatur

Mempelajari literatur tentang metode *perturb and observe* (P&O) pada generator termoelektrik guna untuk mencari titik daya maksimum dari daya yang dihasilkan oleh generator termoelektrik. Selain itu juga mempelajari literatur tentang DC/DC *boost converter*.

3. Tahap desain alat

Tahap desain ini adalah tahap untuk mendesain dan merancang bagaimana generator termoelektrik tersebut akan dipasang pada kompor konvensional. Kemudian membuat rangkaian konverter dengan software yang mendukung, setelah itu menghitung berapa besar induktansi, kapasitansi, resistansi, dll berdasarkan dari paramter perancangan yang telah ditentukan.

4. Tahap Pembuatan Alat

Pembuatan alat disesuaikan dengan desain 5tn yang telah direncanakan pada langkah awal penelitian, mulai dari bentuk alat untuk memasang generator termoelektrik, jumlah elemen termoelektrik yang digunakan, jenis konverter dc.

5. Tahap pengambilan data

Setelah tahap – tahap bagian sebelumnya dilakukan dan tidak terdapat gangguan pada rangkaian generator maupun kontrol dan algoritma dari MPPT maka tahap yang selanjutnya adalah tahap pengambilan data daya yang dihasilkan generator termoelektrik.

6. Analisa data

Analisa data dilakukan setelah mendapatkan hasil data dari data yang masuk ke dalam data logger dengan membandingkan antara daya yang dihasilkan tanpa menggunakan metode *perturb and observe* dan dengan menggunakan metode *perturb and observe*.

7. Pengambilan kesimpulan

Penarikan kesimpulan diambil dari hasil analisis yang telah melalui beberapa kali uji program sehingga mendapatkan hasil yang memuaskan.

3.3 Perencanaan Jadwal Penelitian

Perencanaan kegiatan pada penelitian disusun mulai dari persiapan sampai dengan penulisan laporan. Setiap kegiatan diberi jangka waktu tertentu untuk pelaksanaannya, adapun perencanaan jadwal penelitian adalah sebagai berikut

Tabel 3.1 Perencanaan jadwal penelitian

No	Kegiatan	Bulan															
		Januari				Februari				Maret				April			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan																
2	Studi Literatur																
3	Desain Alat																
4	Pembuatan dan pengujian simulasi MPPT																
5	Pembuatan Alat																
6	Pengambilan Data																
7	Analisa Data																
8	Pengambilan Kesimpulan																
9	Penulisan Laporan																

3.4 Alat dan Bahan

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

Alat :

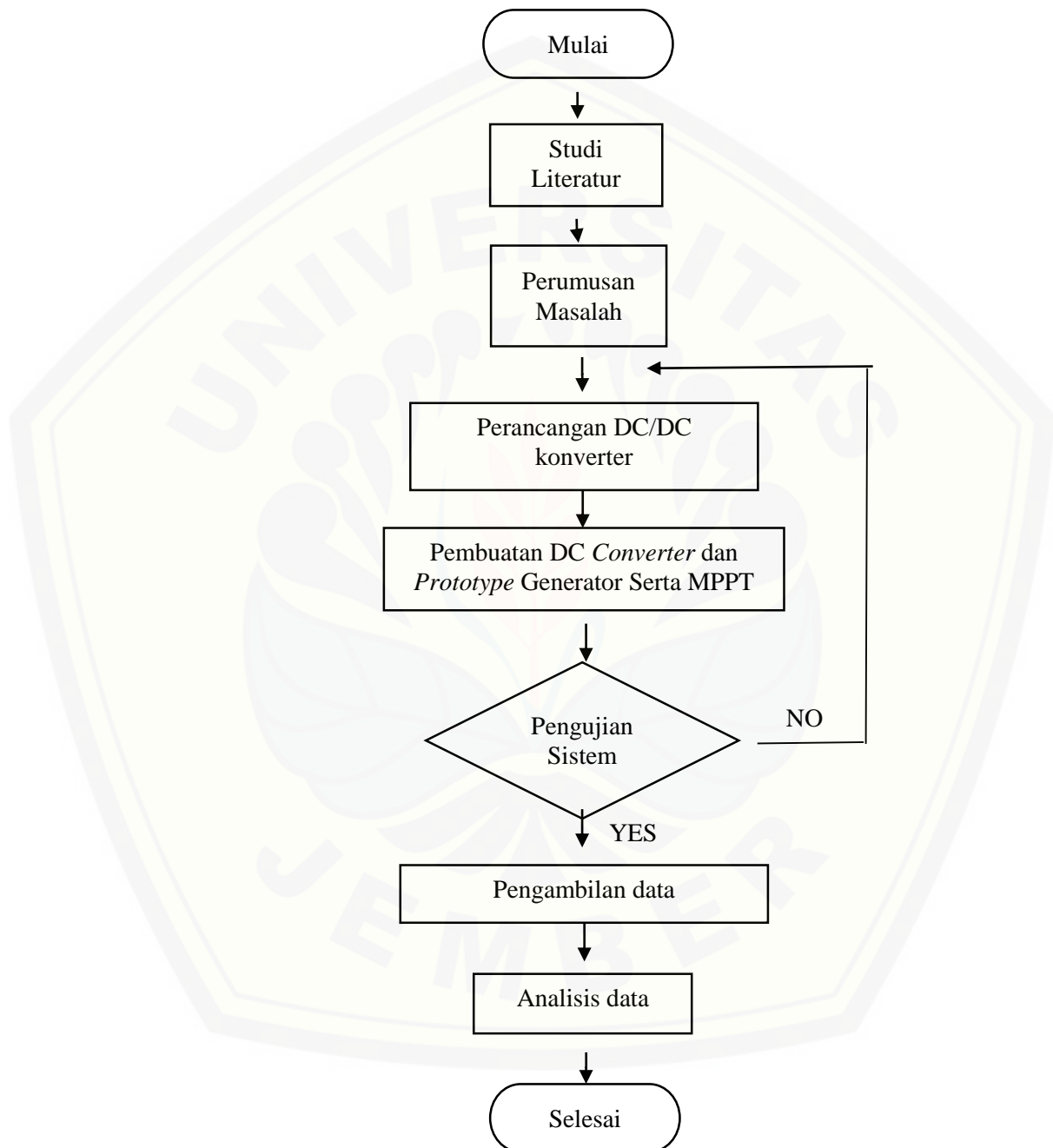
1. PC/Laptop
2. Kompor gas
3. Arduino Mega 2560
4. *Data logger*
5. *Infra red Thermometer*
6. LCR Meter
7. *Electrical Tool set*

Bahan :

1. Generator termoelektrik TE-MOD-10W4V-40
2. *DC Chopper tipe boost converter*
3. Baterai VRLA 6V 4.5 Ah
4. Pendingin generator
5. Sensor arus (INA219)
6. Sensor tegangan
7. *Thermal Paste*
8. Aluminium 5mm, 3mm, 2mm

3.5 Diagram Alir Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan mengikuti alur penelitian sesuai dengan gambar *flowchart* penelitian yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

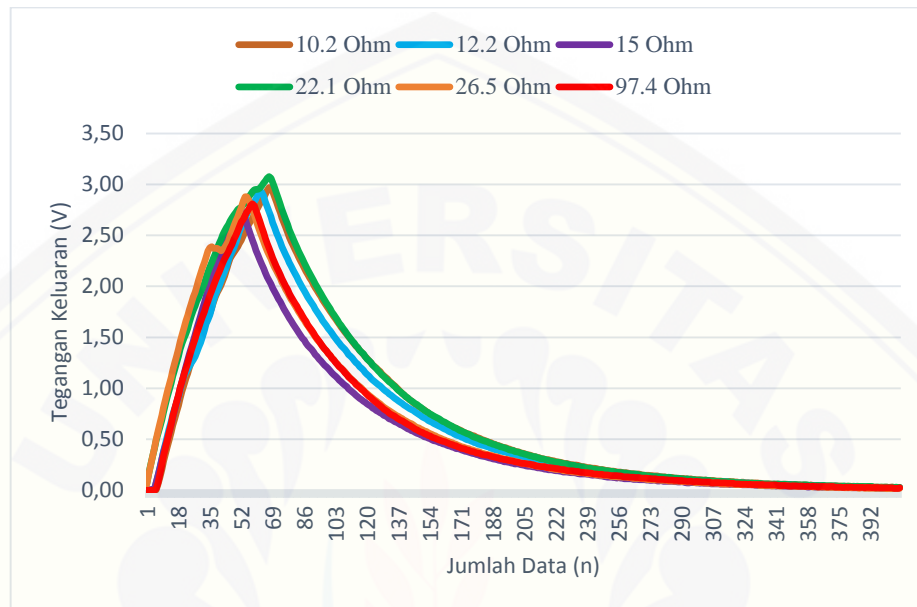


Gambar 3.1 *Flowchart* penelitian

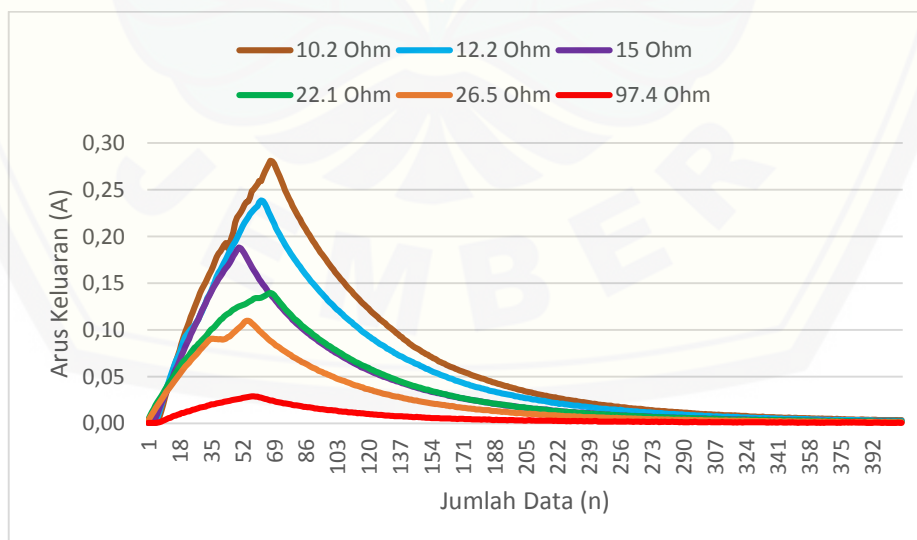
Pada gambar 3.1 dijelaskan tentang bagaimana mekanisme penelitian ini dilakukan, penelitian ini dimulai dengan studi literatur dari beberapa jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini, jurnal yang dimaksud adalah jurnal atau skripsi generator termoelektrik, kemudian yang kedua mempelajari tentang DC/DC *converter* tipe *boost converter*, dan yang terakhir adalah studi literatur tentang *maximum power point tracker* (MPPT) tipe *perturb and observe*, kemudian setelah melakukan studi literatur langkah selanjutnya dalam penelitian ini adalah perumusan masalah tentang apa saja yang akan di jelaskan atau diangkat dalam penelitian. Kemudian setelah perumusan masalah selesai, selanjutnya dilakukan perancangan DC/DC *converter* tipe *boost converter*, dalam perancangan *boost converter* kita menentukan besarnya kapasitansi, induktansi, resistansi dari komponen yang digunakan untuk membuat sebuah DC/DC *boost converter*. Ketika perancangan DC/DC *converters*nya telah selesai dilakukan, maka dilanjutkan dengan pembuatan dari DC/DC *converter* itu sendiri dan juga pembuatan *prototype* generator serta MPPT. Setelah pembuatan *prototype* telah selesai maka dilakukan pengujian sistem, pengujian sistem akan dinyatakan berhasil atau tidak berdasarkan *charging* baterai, ketika sistem telah mampu untuk *charging* baterai yang terhubung dengan sistem itu sendiri maka akan berlanjut ke langkah yang selanjutnya, namun sistem belum mampu untuk melakukan proses *charging* baterai maka akan kembali melakukan proses perancangan dari DC/DC *converter*. Setelah itu dilakukan pengambilan data keseluruhan, mulai dari data performa konverter, MPPT dan juga sistem. Analisa yang dilakukan berupa analisa perbandingan ketika sistem menggunakan metode MPPT *perturb and observe* dan tanpa menggunakan metode MPPT tersebut, ketika analisa telah selesai dilakukan maka penelitian akan dianggap selesai. Data yang dihasilkan dari penelitian nantinya akan menjadi acuan apabila terdapat suatu penelitian yang menyangkut topik pada penelitian ini.

3.6 Perancangan *Boost Converter*

Berikut merupakan data acuan yang digunakan untuk merancang *boost converter*, dimana data diperoleh dari pengujian satu buah elemen generator termoelektrik.



Gambar 3.2 Grafik perbandingan tegangan keluaran dengan beban yang berbeda-beda

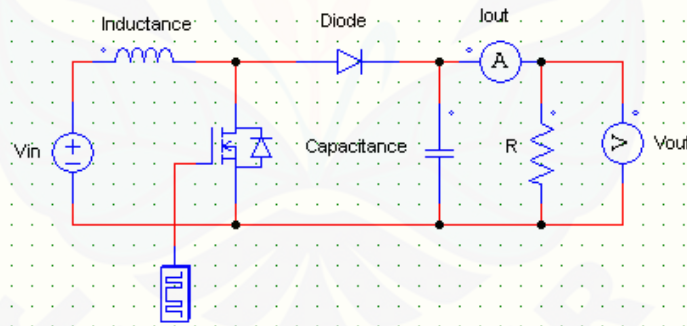


Gambar 3.3 Grafik perbandingan arus keluaran dengan beban yang berbeda-beda

Data dalam bentuk grafik yang ditampilkan pada gambar 3.2 dan gambar 3.3 merupakan data yang menjadi acuan dari parameter perancangan yang digunakan. Dimana data tersebut diperoleh dari pengujian satu buah elemen generator termoelektrik. Dalam pengujian sumber panas yang digunakan adalah api, sedangkan untuk sistem pendinginannya digunakan satu buah kipas dan juga *heatsink* yang dipasang tepat pada sisi dingin dari elemen. Untuk satu buah generator termoelektrik dapat menghasilkan tegangan hampir mencapai 3 volt dengan semua beban yang dicoba dalam penelitian dengan arus yang dikeluarkan mencapai 0,28 dengan beban terkecil.

Tabel 3.2 Parameter DC/DC *boost converter*

Tegangan Masukan	3-5 V
Tegangan Keluaran	7.4 Volt
Arus Keluaran	0.05 -1 A
Frekuensi <i>Switching</i>	200 kHz



Gambar 3.4 Desain *boost converter*

Dalam pendesainan *boost converter* dibutuhkan perhitungan untuk mencari nilai dari baik itu *duty cycle*, *filter*, maupun bebannya. Untuk menentukan nilai-nilai tersebut digunakan langkah-langkah seperti yang tertera dibawah ini :

1. Perhitungan *duty cycle*

$$D_{min} = 1 - \frac{V_{Imax}}{V_o} = 1 - \frac{5}{7.4} = 32.43 \%$$

$$D_{max} = 1 - \frac{V_{min}}{V_o} = 1 - \frac{3}{7.4} = 59.45 \%$$

2. Perhitungan Resistansi

Menentukan besarnya resistansi yang digunakan sebagai beban yang akan terhubung dengan konverter

$$R_{Lmin} = \frac{V_o}{I_{Omax}} = \frac{7.4}{1} = 7.4 \Omega$$

$$R_{Lmax} = \frac{V_o}{I_{Omin}} = \frac{7.4}{0.05} = 148 \Omega$$

3. Perhitungan Induktor

Setelah *duty cycle* ditemukan selanjutnya mencari besarnya induktansi, besarnya induktansi dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan dibawah

Arus *ripple*

$$\Delta i_{Lmax} = \frac{V_o D_{min} (1 - D_{min})^2}{f_s L} = \frac{7.4 * 0.32 (1 - 0.32)^2}{200000 * 0.0000547} = 0.148 \text{ A}$$

Arus rms

$$I_{Lrms} \approx I_{Lmax} = \frac{I_{Omax}}{1 - D_{max}} = \frac{1}{1 - 0.5945} = 2,46 \text{ A}$$

Induktansi minimum

$$L_{min} = \frac{R_{Lmax} D_{min} (1 - D_{min})^2}{2 f_s} = \frac{148 * 0.32 (1 - 0.32)^2}{2 * 200000} = 0.0000547 \text{ H}$$

Setelah nilai dari induktansi, arus *ripple* dan arus maksimum yang ada pada induktor telah ditemukan, langkah selanjutnya yaitu menghitung jumlah lilitan, pada penelitian ini jenis induktor yang digunakan digunakan yaitu *torroidal core inductor* atau inti yang berbentuk *O ring* (bentuk donat) dengan tipe T-184-1 buatan *micromental* dengan nilai $AL = 500 \mu\text{H}/100 \text{ turn}$. Untuk ukuran enamel yang digunakan dalam penelitian sebesar 10 AWG atau sebesar 2,5882 mm (berdasarkan *datasheet*).

$$N = 100 \sqrt{\frac{\text{Nilai } L (\mu\text{H})}{AL (\frac{\mu\text{H}}{100 \text{ turn}})}}$$

$$N = 100 \sqrt{\frac{54.7}{500}}$$

$$N = 33 \text{ lilitan}$$

4. Pemilihan MOSFET

Arus *switching* MOSFET

$$I_{SMmax} = I_{DMmax} = \frac{I_{Omax}}{1 - D_{min}} + \frac{V_O D_{max}(1 - D_{min})}{2f_s L}$$

$$= \frac{1}{1 - 0.32} + \frac{7.4 * 0.59(1 - 0.32)}{2 * 200000 L * 0.0000547} = 2.54 \text{ A}$$

Arus rms

$$I_{Srms} = \frac{\sqrt{D_{max}} I_{Omax}}{1 - D_{max}} = \frac{\sqrt{0.59} * 1}{1 - 0.59} = 1.92 \text{ A}$$

Dengan data seperti yang ditunjukkan dalam perhitungan yang tertera diatas maka digunakan MOSFET tipe IRF540

5. Perhitungan Kapasitor

Tegangan *ripple*

$$V_r = 0.01 \cdot V_O = 0.01 * 7.4 = 0.074 \text{ V}$$

ESR maksimum

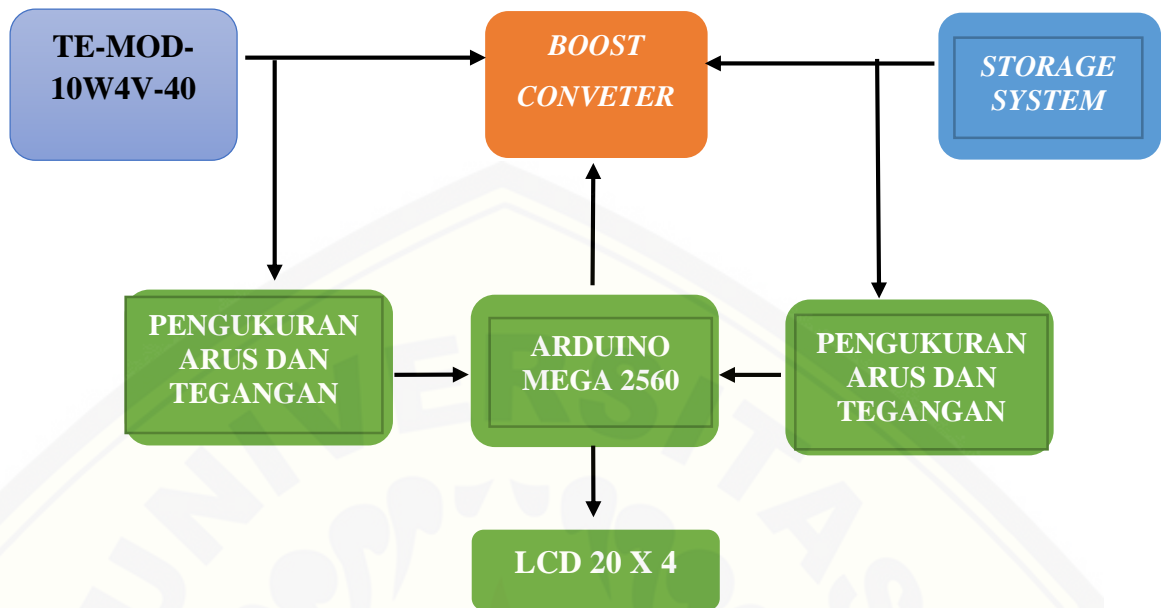
$$V_{rcpp} = V_{C_{pp}} = \frac{V_r}{2} = \frac{0.074}{2} = 0.037 \text{ V}$$

$$r_{Cmax} = \frac{V_{rcpp}}{I_{DMmax}} = \frac{0.037}{2.54} = 0.014 \text{ } \Omega$$

Sehingga didapatkan nilai dari kapasitor minimum yang akan digunakan pada *boost converter*

$$C_{min} = \frac{D_{max} V_O}{f_s R_{Lmin} V_{C_{pp}}} = \frac{0.59 * 7.4}{200000 * 7.4 * 0.037} = 0.0000809 \text{ F}$$

3.7 Blok Diagram Sistem



Gambar 3.5 Blok diagram sistem

Blok diagram yang ditunjukkan gambar 3.5 merupakan blok diagram dari sistem alat dalam penelitian, generator termoelektrik terhubung dengan beberapa sensor, yaitu sensor arus, sensor tegangan, lalu *output* dari termoelektrik yang dibaca oleh sensor selanjutnya akan masuk elemen tersebut *outputnya* masuk kedalam sebuah mikrokontroler, dimana mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini adalah arduino mega 2560, arduino mega 2560 di sini berguna untuk pemberian *duty cycle*, frekuensi, dan proses lainnya. *Ouput* tegangan yang dihasilkan oleh generator termoelektrik juga akan masuk ke dalam sebuah *boost converter*, guna dari DC/DC converter untuk menaikkan tegangan,. Tegangan yang telah dinaikkan oleh *boost converter* akan masuk kedalam baterai untuk proses *charging* baterai 6 V . Pada sistem ini digunakan metode *perturb and observe* (P&O) yang bertujuan untuk mengatur *duty cycle* yang akan masuk *boost converter*, serta mencari titik daya maksimum dari *output* yang bisa dihasilkan oleh generator termoeletrik itu sendiri untuk melakukan proses *charging* baterai 6 V. Pemasangan sensor tegangan setelah baterai sendiri bertujuan untuk memonitoring kondisi baterai, baterai akan diketahui tegangannya dengan menggunakan sensor tersebut.

Data yang ada dalam sistem akan disimpan dengan menggunakan *data logger*, data yang disimpan adalah data per detik. Kemudian data yang telah didapatkan tersebut akan ditampilkan dalam sebuah LCD 20 x 4, dimana data yang ditampilkan adalah data suhu panas, suhu dingin, tegangan baterai, arus baterai, tegangan *output* termoelektrik, arus *output* termoelektrik.

3.7.1 TE-MOD-10W4V-40

Generator termoelektrik ini menghasilkan energi listrik DC dengan memanfaatkan perbedaan suhu yang terjadi pada sisi panas dan sisi dingin yang terdapat pada generator termoelektrik. Generator termoelektrik bermaterial Bi₂Te₃ bisa bekerja pada suhu tinggi yaitu sebesar 330° C (626° F) sampai dengan suhu sebesar 400° C (752° F) tanpa mengurangi mutu modul. Pada tabel 3.3 dengan perbedaan suhu antara suhu pada sisi panas modul dan sisi dingin modul sebesar 270° C, kemudian dengan beban sebesar 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.

Tabel 3.3 *Data sheet* TE-MOD-10W4V-40

Suhu Sisi Panas (° C)	300
Suhu Pada Sisi Dingin (° C)	30
Tegangan <i>Open Circuit</i> (V)	8
Beban (ohm)	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

3.7.2 Baterai VRLA

Berikut merupakan spesifikasi dari baterai yang digunakan dalam penelitian.

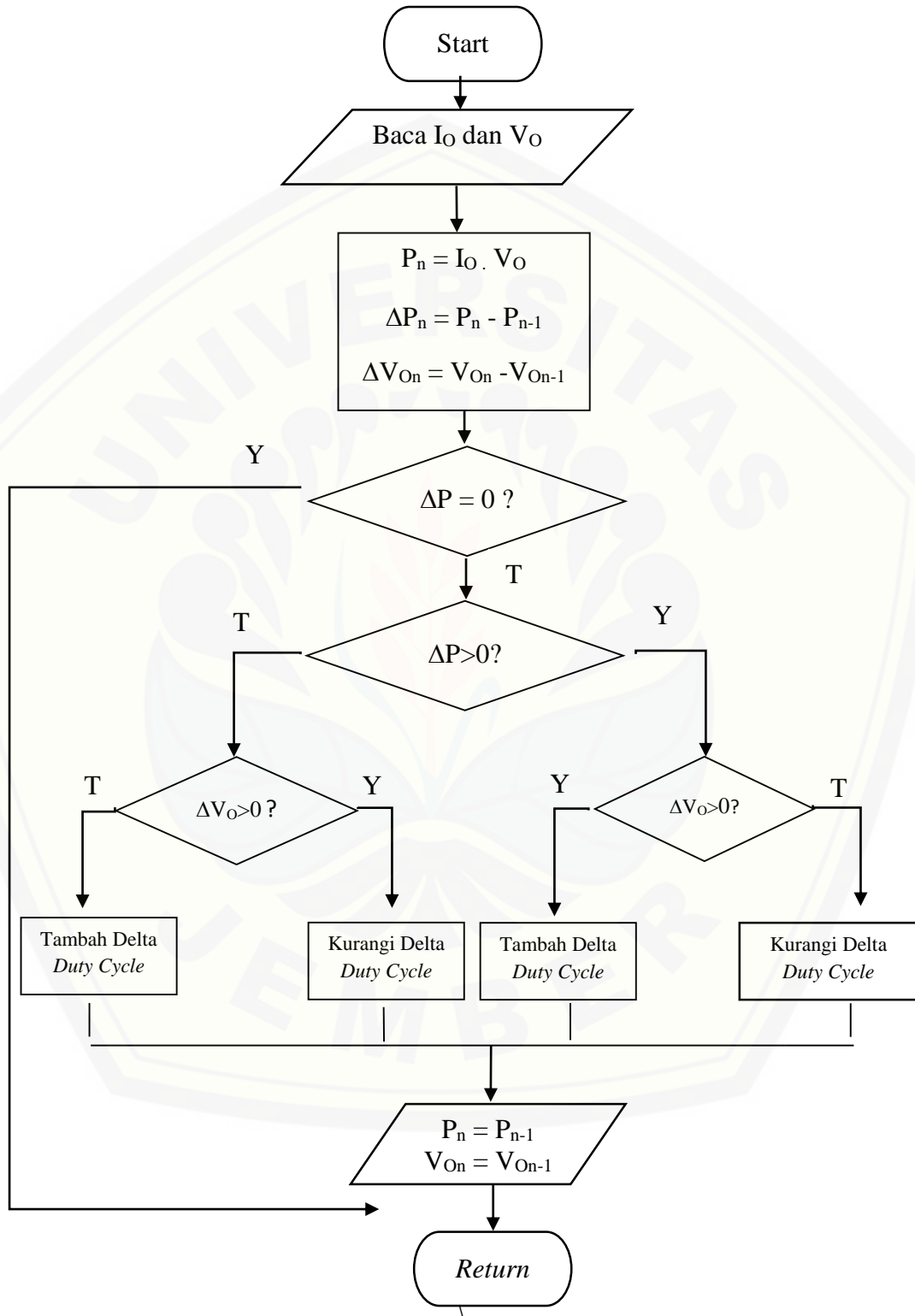
Tabel 3.4 Spesifikasi baterai VRLA LC-R064R5P

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

Tabel 3.4 menunjukkan spesifikasi dari baterai yang digunakan sebagai *storage system* dalam penelitian. Kapasitas baterai yang digunakan mempunyai kapasitas 6V/4.5Ah dengan merk VRLA.

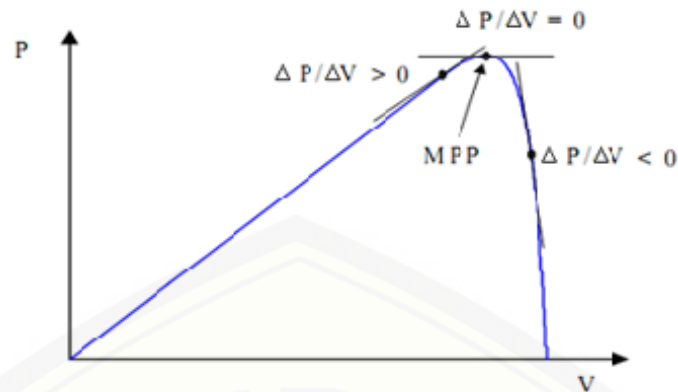
3.8 Flowchart Perturb and Observe (P&O)

Berikut ini merupakan *flowchart* algoritma *perturb and observe (P&O)*



Gambar 3.6 *Flowchart* algoritma *perturb and observe (P&O)*

Gambar 3.6 menjelaskan tentang bagaimana cara kerja dari MPPT *perturb and observe (P&O)*, dimana acuan dari MPPT jenis ini yaitu dari keluaran daya dan juga tegangan. *Flowchart* akan dimulai dengan sebuah masukan berupa pengukuran tegangan keluaran dan arus keluaran generator termoelektrik. Kemudian didalam *flowchart* ini ada beberapa proses yang dilakukan, dimana daya keluaran terbaru (P_n) didapatkan nilainya dari arus keluaran dari generator yang sekarang dikalikan dengan tegangan keluaran generator sekarang, kemudian perbedaan dari daya atau ΔP_n nilainya didapatkan dengan mengurangkan nilai dari P_n dengan P_{n-1} , sedangkan nilai dari ΔV_{on} didapatkan dengan mengurangkan V_{on} dengan nilai dari V_{on-1} . Setelah itu berlanjut ke langkah selanjutnya yaitu pengambilan keputusan apakah $\Delta P = 0$, jika iya maka proses akan berlanjut ke proses *return*, jika ΔP tidak sama dengan nol maka *flowchart* akan berlanjut ke pengambilan keputusan yang kedua, dimana pengambilan keputusan yang kedua adalah apakah $\Delta P > 0$?, jika $\Delta P > 0$ maka akan ada perbandingan lagi dilangkah selanjutnya, dan perbandingan tersebut berupa pengambilan keputusan apakah $\Delta V_0 > 0$, jika $\Delta V_0 > 0$ maka akan ditambahkan dengan delta *duty cycle*, dimana nilai dari delta *duty cycle* adalah sebesar 0.01, kemudian jika tidak maka akan dikurangkan delta *duty cyclenya*. Kemudian ketika $\Delta P < 0$, sama seperti sebelumnya akan ada pengambilan keputusan lagi, apakah $\Delta V_0 > 0$, jika $\Delta V_0 > 0$ maka akan ditambhkan dengan delta *duty cycle*, namun jika tidak maka akan dikurangkan dengan delta *duty cycle*. Kemudian dari 4 proses tersebut akan menghasilkan daya sekarang (P_n) yang nilainya akan sama dengan nilai daya sebelumnya dikurangkan dengan satu (P_{n-1}), dan data daya yang diambil adalah daya yang terbaru, begitu juga dengan tegangan keluaran terbaru (V_{on}) nilainya sama dengan nilai dari nilai tegangan keluaran yang sebelumnya dikurangkan dengan satu (V_{on-1}), tegangan terbaru akan diambil nilainya. Perbandingan yang telah dilakukan diatas dilakukan untuk menentukan proses perubahan tegangan. dari sini, tegangan generator termoelektrik akan dirubah. bisa jadi lebih besar ataupun lebih kecil. ini bergantung pada selisih daya generator termoelektrik dan juga selisih daripada tegangan yang terukur. Jika pengambilan keputusan telah dilakukan akan menghasilkan daya dan tegangan yang terbaru, setelah itu akan berlanjut ke *return*.



Gambar 3.7 Posisi $\Delta P/\Delta V$ yang berbeda pada kurva daya *thermoelectric generator*

Gambar 3.7 memperlihatkan kurva P-V dari metode *perturb and observe* atau biasa disebut dengan *hill climbing*. Salah satu kurva P-V yang mempresentasikan dasar dari metode algoritma *hill climbing*. Kurva diatas menunjukkan ketika $\Delta P/\Delta V = 0$ maka generator termoelektrik telah mencapai MPP. Kemudian juika masih berada disisi kanan dari MPP maka tegangan generator termoelektrik akan terus naik, kemudian ketika masih ada disisi kiri maka tegangan dari termoelektrik generator akan berkurang.

Arah *slope* ditentukan dengan perbandingan ΔP dan ΔV . Dengan karakteristik dari *boost converter* didapatkan ketetapan arah dari *duty cycle*. Bila hasil perbandingan (*slope*) itu jika menghasilkan nilai positif maka nilai tegangan ditambah dan bila menghasilkan nilai negatif maka nilai nilai tegangan dikurangi. Pada nilai tegangan apabila *duty cycle* dikurangi maka tegangan akan bertambah dan apabila *duty cycle* dikurangi maka tegangan akan berkurang. Dengan menentukan slope maka didapatkan referensi *duty cycle* yang baru.

3.9 Rencana Pengujian Sistem Generator Termoelektrik

Rencana pengujian yang akan dilakukan diantaranya yaitu pengujian sistem pendinginan, kemudian pengujian DC/DC converter dan yang terakhir pengujian performa dari algoritma MPPT yang digunakan.

3.9.1. Pengujian DC/DC *Boost Converter*

Pengujian konverter dilakukan dengan memberikan *duty cycle* yang berbeda-beda, pemberian *duty cycle* yang berbeda-beda bertujuan untuk mengetahui pengaruh *duty cycle* itu sendiri terhadap keluaran daya yang dihasilkan oleh DC/DC *converter*, DC/DC *converter* dianggap baik ketika dalam pengujian efisiensi melebihi atau sama dengan 70%.

Tabel 3.5 Data percobaan pengujian DC/DC *boost converter*

<i>Duty Cycle</i>	<i>Input Converter</i>			<i>Output Converter</i>			Eff
	<i>V_{in}</i> (V)	<i>I_{in}</i> (A)	<i>P_{in}</i> (W)	<i>V_{out}</i> (V)	<i>I_{out}</i> (A)	<i>P_{out}</i> (W)	
40%							
50%							
55							
60%							
65%							
70%							
75%							
80%							

3.9.2 Pengujian MPPT *Perturb And Observe* (P&O)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana perbandingan daya keluaran generator termoelektrik ketika tanpa dan dengan menggunakan metode *perturb and observe*.

Tabel 3.6 Data pengujian MPPT *perturb and observe*

Beban (ohm)	Duty cycle (%)	Performa Konverter					
		Input Konverter			Output Konverter		
		V _{in} (V)	I _{in} (mA)	P _{in} (W)	V _{out} (W)	I _{out} (mA)	P _{out} (W)

3.9.3 Pengujian Sistem Generator Termoelektrik

Pengujian sistem generator termoelektrik dilakukan dengan membedakan performa *charging* ketika sistem digunakan untuk mencharge baterai 6V secara *direct charging* (langsung tanpa menggunakan konverter), dan sistem *charging* dengan menggunakan konverter yang telah diberikan algoritma MPPT *perturb and observe*

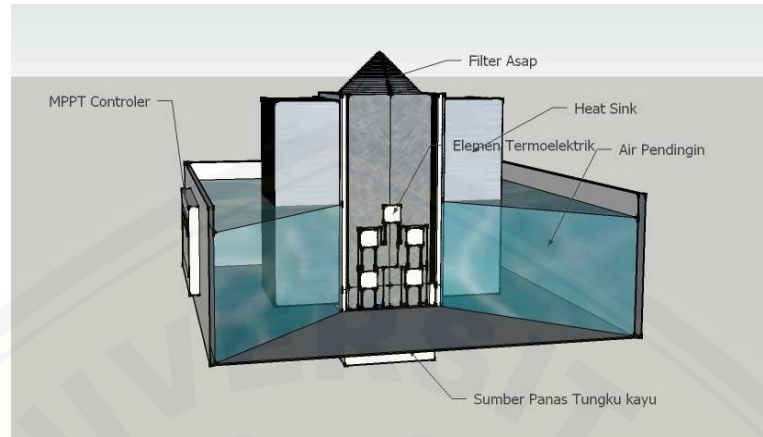
Tabel 3.7 Data pengujian sistem generator termoelektrik

V _{bat}	Direct Charge			MPPT InC		
	Voltage (V)	Arus (A)	Daya (W)	Voltage (V)	Arus (A)	Daya (W)

Pada tabel 3.7 menunjukkan bagaimana pengujian nantinya akan dapat dianalisa performa dari generator ketika menggunakan MPPT dan tanpa menggunakan MPPT, data sistem *charging* akan diketahui efisiensi dan *losses* dayanya dengan membandingkan besarnya daya yang dihasilkan dengan daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh generator termoelektrik yang telah dirancang.

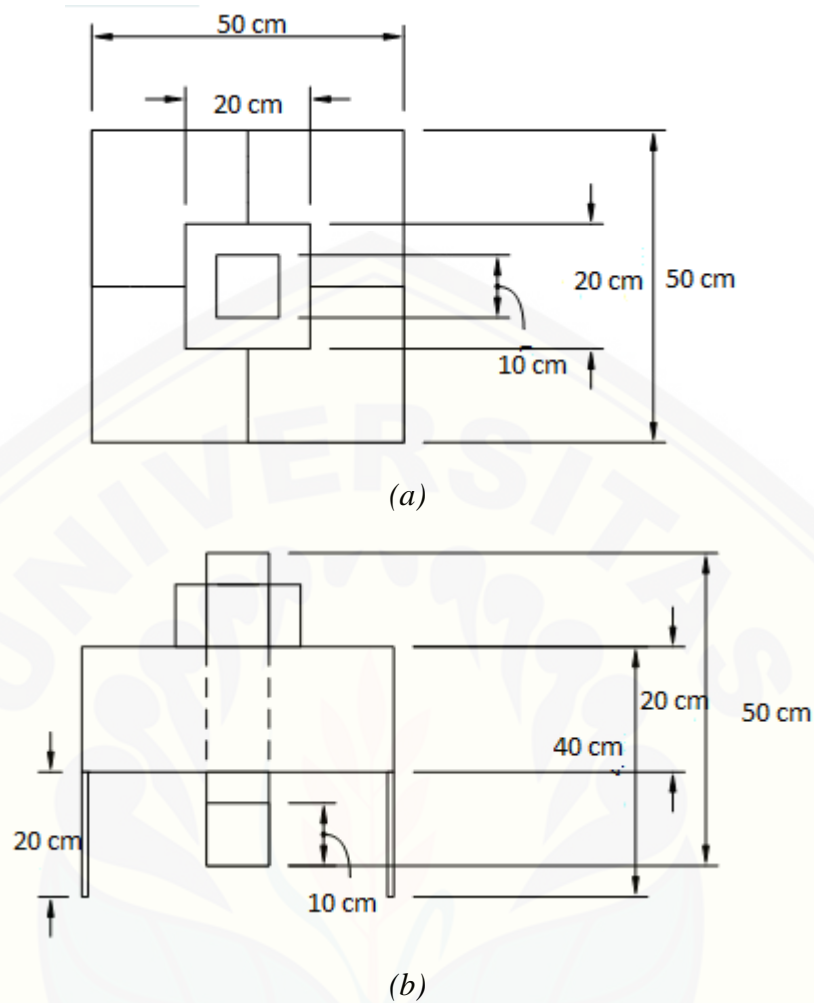
3.10 Desain Implementasi Alat Pemanfaatan Kompor

Berikut merupakan desain generator yang akan dibuat dalam penelitian :



Gambar 3.8 Desain *hardware* generator termoelektrik

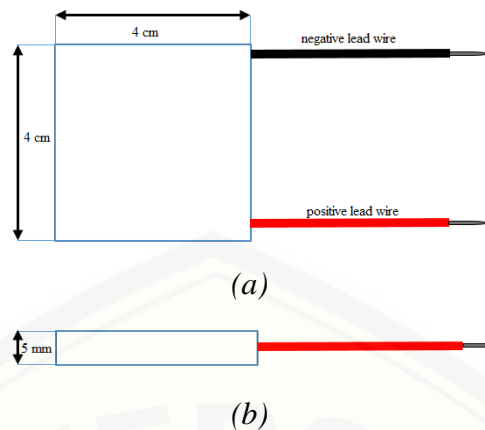
Pada gambar 3.8 dijelaskan bagaimana implementasi generator termoelektrik dengan sumber panas menggunakan sebuah kompor gas. Penggunaan emelen termoelektrik pada penelitian ini sebanyak 3 buah yang disusun secara seri. Pendinginan dari penelitian ini menggunakan air dan juga 4 buah heatsink yang tepat ditempatkan pada sisi dingin dari elemen, untuk penempatan air ditempatkan pada bak yang terbuat dari aluminium, sistem pendinginan akan sangat berpengaruh terhadap daya keluaran dari generator termoelektrik. Cerobong panas tempat ditempelkannya elemen termoelektrik berbentuk kotak, cerobong tersebut merupakan tempat yang akan dialiri udara panas yang dihasilkan dari kompor gas. Penempatan kontroler dari alat ini sendiri tepat disamping kolam pendinginan dari generator, untuk penempatan dari baterai tepat disamping dari tempat kontroler MPPT berada.



a. Tampak atas ; b. Tampak samping

Gambar 3.9 Dimensi *hardware*

Gambar 3.9 menunjukkan dimensi dari *hardware* yang akan dibuat , dimana pada gambar a menunjukkan gambar tampak atas dan gambar b menunjukkan gambar tampak samping, untuk penempatan dari generator termoelektrik berada pada cerobong keluaranya panas berbentuk persegi yang berukuran 20 x 20 cm, kemudian untuk bak pendinginan berukuran 50 x 50 cm dengan tinggi dari bak pendinginan 20 cm, untuk besar lubang untuk masuknya api kedalam cobong adalah 10 x 20 cm dengan tinggi dari penyangga bak pendingin 20 cm.



a. Tampak atas ; b. Tampak samping

Gambar 3.10 Dimensi generator termoelektrik

Gambar 3.10 menunjukkan dimensi generator yang digunakan dalam penelitian, dimana pada gambar a menunjukkan gambar tampak atas dan gambar b menunjukkan gambar tampak samping, untuk panjang dan lebar dari generator yang digunakan memiliki ukuran yang sama yaitu 4cm, sedangkan untuk tinggi dari generator yaitu 5 mm atau 0.5 cm.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang berjudul “Implementasi DC/DC *Boost Converter* Dengan Kontrol MPPT *Perturb And Observe* (P&O) Sebagai Pengendali Daya Keluaran Thermoelectric Generator” dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. *Duty cycle* berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan oleh *boost converter* yang telah dirancang, semakin besar *duty cycle* yang diberikan pada *boost converter* maka daya *output* akan semakin besar pula, pada *duty cycle* 55 % daya *output* 1.47 W kemudian ketika *duty cycle* ditambahkan menjadi 60 % daya *output* bertambah menjadi 1.75 W.
2. Efisiensi rata-rata dari generator yang telah didesain masih kecil yaitu antara 1.5 - 4 % pada $\Delta T \leq 119.5^{\circ}\text{C}$. besar efisiensi bergantung pada beda temperatur, antara sisi dingin dan sisi panas yang diterima oleh generator.
3. Daya keluaran *boost converter* yang telah diberikan algoritma MPPT *perturb and observe* digunakan untuk proses *charging* baterai lebih baik dibandingkan dengan daya *output* generator termoelektrik tanpa menggunakan algoritma MPPT, terbukti ketika melakukan proses *charging* baterai 5 V, daya *charging* ketika menggunakan MPPT mencapai 1.13 W, sedangkan ketika tanpa menggunakan MPPT hanya 0.3 W. Jika dilihat dari perbandingan daya *direct coupled* dan daya MPPT, MPPT dapat menaikkan daya hampir 4 kali lipat dari daya *charging direct coupled*.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang didapat, didapatkan beberapa kekurangan. Sehingga terdapat saran untuk lebih menyempurnakan hasil penelitian sebagai berikut

1. Kualitas penggunaan komponen dalam perancangan konverter harus lebih teliti, karena konverter memerlukan kualitas komponen yang baik, sehingga tidak banyak daya yang terbuang saat konverter ketika beroperasi.
2. Penggunaan desain lain untuk penempatan generator, sehingga generator bisa menghasilkan daya *output* yang optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahiska, R., & Mamur, H. (2014). A Review: Thermoelectric Generators in Renewable Energy. *International Journal of Renewable Energy Research*, 133.
- Alexandros Paraskevas., & Eftichios Koutroulis. (2015). A simple maximum power point tracker for thermoelectric generators. *Science Direct*. 355-365.
- Battery, B. B. (n.d.). *Valve Regulated lead Acid battery manual*. USA: B B. Battery.
- Brigitte Hauke (2014). Basic Calculation of a Boost Converter's Power Stage. *Texas Instrument*, 1-9.
- Culp, A. W., (1996). *prinsip prinsip konversi energi*. jakarta: penerbit erlangga.
- Eakburanawat, j., & Boonyaroonate, I. (2010). Development of a thermoelectric battery-charger with microcontroller-based *Maximum power* point tracking technique. 2.
- ESDM, M. (2016). *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Pengesahan RUPLT PT. PLN tahun 2016 S.D. 2025*. Jakarta: Menteri ESDM.
- Goldsmid, H. J. (2010). *Introduction to Thermoelectricity*. New York: Springer.
- Hun Sik Han., & Yun Ho Kim. (2010). Performance Measurement and Analysis of a Thermoelectric Power Generator. *IEEE*.
- Ian Laird, D. D.-C. L., (2013). High Step-Up DC/DC Topology and MPPT Algorithm for Use With a Thermoelectric Generator. *IEEE*, 28(7).
- Irwin, J. D. (2002). *The Power Electronic Handbook*. california: CRC Press.
- Kang Yi., & Yang Lu fa. (2009). The Perturbation and Observation's method based on the P-V rate of curve. *IEEE*, 1-4.
- Khalily, J. (2015). *Pemanfaatan sumber air panas di blawan bondowoso sebagai pembangkit listrik alternatif berbasis TEC*. Jember: Digital repository Universitas Jember.
- Mamur, H., & Ahiska, R. (2015). Application of a DC-DC boost converter with maximum power point tracking for low power thermoelectric generators. *Science Direct*, 265-272.

- Laird, I., & Lovatt, H. (2008). Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms for Thermoelectric Generators. *Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC'08)*, 1-6.
- Marian K. Kazimierczuk. 2008. Pulse-Width Modulated DC–DC Power Converters. USA : Markono Print Media.
- Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins. (2003). *Power Electronics Converters, Applications, and Design Third Edition*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Qun Zhao., & Fred C. Lee. (2003). High-Efficiency, High Step-Up DC–DC Converters. *IEEE*.. 65-73.
- Ryanuargo, s. a. s. p. s., (2013). generator mini dengan prinsip termoelektrik dari uap panas kondensor pada sistem pendingin. *jurnal rekayasa elektrika*.
- Rashid, M. H. (2007). *Power Electronics Handbook*. London: Academic Press.
- Riyadi, Slamet., & Budi Setiawan. (2013). Desain buck boost chopper sebagai MPPT berbasis mikrokontroler. Semarang: Seri Kajian Ilmiah.
- Rowe, D. M. (1995). *Handbook of Thermoelectrics*. united states: CRC Press.
- TEGpro. (2014, November). *TEGpro*. Retrieved from TEGpro: www.tegpro.com

LAMPIRAN

4.1 Kalibrasi Sensor



Kalibrasi sensor tegangan

Kalibrasi sensor arus INA219



Kalibrasi Termocouple



4.2 Data Pengujian Tanpa Beban

Pengujian tanpa beban dengan tegangan *input* 3 V

<i>Duty Cycle</i> (%)	Performa konverter			
	<i>V_{in}</i> (V)	<i>V_{out}</i> (V)	<i>V_{teori}</i> (V)	<i>Error</i> (%)
40	3	5	5	0
45	3	5,3	5,454545	2,833333
50	3	6	6	0
55	3	6,66	6,666667	0,1
60	3	7,4	7,5	1,333333
65	3	8,38	8,571429	2,233333
70	3	9,6	10	4
75	3	11,22	12	6,5
80	3	14,9	15	0,666667

Pengujian tanpa beban dengan tegangan *input* 4 V

<i>Duty Cycle</i> (%)	Performa Konverter			
	<i>V_{in}</i> (V)	<i>V_{out}</i> (V)	<i>V_{teori}</i> (V)	<i>Error</i> (%)
40	4	6,65	6,666667	0,25
45	4	7,27	7,272727	0,0375
50	4	7,93	8	0,875
55	4	8,76	8,888889	1,45
60	4	9,75	10	2,5
65	4	11	11,42857	3,75
70	4	12,6	13,33333	5,5
75	4	14,75	16	7,8125
80	4	18,8	20	6

4.3 Data Pengujian Dengan Beban

Data Pengujian konverter dengan berbeban dengan tegangan *input* 3 V beban 39 ohm

NO	Duty Cycle (%)	Input konverter			Output Konverter			Eff
		Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	
1	40	3	0,17	0,51	4,07	0,1	0,407	79,80392
2	45	3	0,2	0,6	4,34	0,1	0,434	72,33333
3	50	3	0,24	0,72	4,6	0,11	0,506	70,27778
4	55	3	0,29	0,87	4,94	0,12	0,5928	68,13793
5	60	3	0,35	1,05	5,26	0,13	0,6838	65,12381
6	65	3	0,41	1,23	5,55	0,13	0,7215	58,65854
7	70	3	0,49	1,47	5,83	0,14	0,8162	55,52381
8	75	3	0,58	1,74	5,94	0,14	0,8316	47,7931
9	80	3	0,68	2,04	5,76	0,14	0,8064	39,52941

Data pengujian konverter dengan berbeban dengan tegangan *input* 3 V beban 47 ohm

NO	Duty Cycle (%)	Input konverter			Output Konverter			Eff (%)
		Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	
1	40	3	0,15	0,45	4,15	0,085	0,35275	78,38889
2	45	3	0,17	0,51	4,55	0,085	0,38675	75,83333
3	50	3	0,2	0,6	4,78	0,09	0,4302	71,7
4	55	3	0,24	0,72	5,13	0,1	0,513	71,25
5	60	3	0,29	0,87	5,49	0,11	0,6039	69,41379
6	65	3	0,35	1,05	5,91	0,12	0,7092	67,54286
7	70	3	0,43	1,29	6,28	0,12	0,7536	58,4186
8	75	3	0,52	1,56	6,55	0,12	0,786	50,38462
9	80	3	0,63	1,89	6,6	0,13	0,858	45,39683

Data pengujian konverter dengan berbeban dengan tegangan *input* 3 V beban 61 ohm

NO	Duty Cycle (%)	Input konverter			Output Konverter			Eff (%)
		Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	
1	40	3	0,11	0,33	4,3	0,06	0,258	78,18182
2	45	3	0,14	0,42	4,55	0,07	0,3185	75,83333
3	50	3	0,17	0,51	4,9	0,078	0,3822	74,94118
4	55	3	0,21	0,63	5,3	0,08	0,424	67,30159
5	60	3	0,25	0,75	5,79	0,09	0,5211	69,48
6	65	3	0,3	0,9	6,27	0,09	0,5643	62,7
7	70	3	0,37	1,11	6,77	0,1	0,677	60,99099
8	75	3	0,47	1,41	7,25	0,11	0,7975	56,56028
9	80	3	0,58	1,74	7,4	0,11	0,814	46,78161

Data Pengujian konverter dengan berbeban dengan tegangan *input* 4 V beban 39 ohm

NO	Duty Cycle (%)	Input konverter			Output Konverter			Eff (%)
		Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	
1	40	4	0,23	0,92	5,47	0,13	0,7111	77,29348
2	45	4	0,27	1,08	5,84	0,14	0,8176	75,7037
3	50	4	0,33	1,32	6,2	0,15	0,93	70,45455
4	55	4	0,38	1,52	6,67	0,16	1,0672	70,21053
5	60	4	0,45	1,8	7,11	0,17	1,2087	67,15
6	65	4	0,54	2,16	7,511	0,18	1,35198	62,59167
7	70	4	0,64	2,56	7,78	0,19	1,4782	57,74219
8	75	4	0,74	2,96	7,74	0,198	1,53252	51,77432
9	80	4	0,83	3,32	7,3	0,18	1,314	39,57831

Data Pengujian konverter dengan berbeban dengan tegangan *input* 4 V beban 47 ohm

NO	Duty Cycle (%)	Input konverter			Output Konverter			Eff (%)
		V _{in} (V)	I _{in} (A)	P _{in} (W)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{out} (W)	
1	40	4	0,2	0,8	5,57	0,11	0,6127	76,5875
2	45	4	0,24	0,96	5,96	0,12	0,7152	74,5
3	50	4	0,28	1,12	6,39	0,13	0,8307	74,16964
4	55	4	0,33	1,32	6,86	0,14	0,9604	72,75758
5	60	4	0,39	1,56	7,37	0,15	1,1055	70,86538
6	65	4	0,47	1,88	7,9	0,16	1,264	67,23404
7	70	4	0,57	2,28	8,37	0,17	1,4229	62,40789
8	75	4	0,69	2,76	8,58	0,178	1,52724	55,33478
9	80	4	0,79	3,16	8,16	0,16	1,3056	41,31646

Data Pengujian konverter dengan berbeban dengan tegangan *input* 4 V beban 61 ohm

NO	Duty Cycle (%)	Input konverter			Output Konverter			Eff (%)
		V _{in} (V)	I _{in} (A)	P _{in} (W)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{out} (W)	
1	40	4	0,15	0,6	5,66	0,08	0,4528	75,46667
2	45	4	0,19	0,76	6,06	0,09	0,5454	71,76316
3	50	4	0,23	0,92	6,52	0,1	0,652	70,86957
4	55	4	0,28	1,12	7,04	0,11	0,7744	69,14286
5	60	4	0,33	1,32	7,54	0,12	0,9048	68,54545
6	65	4	0,4	1,6	8,28	0,13	1,0764	67,275
7	70	4	0,49	1,96	8,83	0,14	1,2362	63,07143
8	75	4	0,6	2,4	9,3	0,148	1,3764	57,35
9	80	4	0,72	2,88	9,27	0,14	1,2978	45,0625

Data Pengujian konverter dengan berbeban dengan tegangan *input* 5 V beban 39 ohm

NO	Duty Cycle (%)	Input konverter			Output Konverter			Eff (%)
		Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	
1	40	5	0,3	1,5	6,88	0,17	1,1696	77,97333
2	45	5	0,35	1,75	7,32	0,18	1,3176	75,29143
3	50	5	0,41	2,05	7,8	0,19	1,482	72,29268
4	55	5	0,47	2,35	8,32	0,2	1,664	70,80851
5	60	5	0,56	2,8	8,84	0,22	1,9448	69,45714
6	65	5	0,66	3,3	9,25	0,23	2,1275	64,4697
7	70	5	0,76	3,8	9,41	0,24	2,2584	59,43158
8	75	5	0,87	4,35	9,3	0,23	2,139	49,17241
9	80	5	0,96	4,8	8,44	0,2	1,688	35,16667

Data Pengujian konverter dengan berbeban dengan tegangan *input* 5 V beban 47 ohm

NO	Duty Cycle (%)	Input konverter			Output Konverter			Eff (%)
		Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	
1	40	5	0,26	1,3	7,02	0,14	0,9828	75,6
2	45	5	0,3	1,5	7,51	0,15	1,1265	75,1
3	50	5	0,35	1,75	8,04	0,16	1,2864	73,50857
4	55	5	0,42	2,1	8,7	0,17	1,479	70,42857
5	60	5	0,5	2,5	9,25	0,19	1,7575	70,3
6	65	5	0,59	2,95	9,85	0,2	1,97	66,77966
7	70	5	0,7	3,5	10,28	0,21	2,1588	61,68
8	75	5	0,82	4,1	10,31	0,21	2,1651	52,80732
9	80	5	0,93	4,65	9,86	0,2	1,972	42,4086

Data Pengujian konverter dengan beban dengan tegangan *input* 5 V beban 61 ohm

NO	Duty Cycle (%)	Input konverter			Output Konverter			Eff (%)
		Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	
1	40	5	0,21	1,05	7,15	0,11	0,7865	74,90476
2	45	5	0,25	1,25	7,7	0,12	0,924	73,92
3	50	5	0,29	1,45	8,23	0,13	1,0699	73,78621
4	55	5	0,34	1,7	8,92	0,14	1,2488	73,45882
5	60	5	0,41	2,05	9,63	0,15	1,4445	70,46341
6	65	5	0,49	2,45	10,39	0,16	1,6624	67,85306
7	70	5	0,6	3	11	0,17	1,87	62,33333
8	75	5	0,73	3,65	11,51	0,18	2,0718	56,76164
9	80	5	0,87	4,35	11,38	0,18	2,0484	47,08966

4.4 Perhitungan *Power Losses*

➤ *Duty cycle* 40 %

- Induktor

$$I_{Lrms} \approx I_{Imax} = \frac{I_{Omax}}{1 - D_{max}}$$

$$I_{Lrms} \approx I_{Imax} = \frac{1}{1 - 0.4}$$

$$I_{Lrms} = 1.66 \text{ A}$$

$$P_{rL} = r_L I_{Lrms}^2$$

$$P_{rL} = (0.183 \times (1.66)^2)$$

$$P_{rL} = 0.508 \text{ W}$$

- MOSFET

$$P_{rDS} = r_{DS} I_{Srms}^2$$

$$I_{Srms} = \frac{\sqrt{D_{max}} I_{Omax}}{1 - D_{max}}$$

$$I_{Srms} = \frac{\sqrt{0.4} \times 1}{1 - 0.4}$$

$$I_{Srms} = 1.054 \text{ A}$$

$$P_{rDS} = r_{DS} I_{Srms}^2$$

$$P_{rDS} = 0.02 \times (1.05)^2$$

$$P_{rDS} = 0.02 \text{ W}$$

$$P_{sw} = f_s C_o V_{SM}^2$$

$$P_{sw} = 200000 \times 1E^{-10} \times 7.4$$

$$P_{sw} = 0.001095 \text{ W}$$

$$P_{FET} = P_{rDS} + \frac{P_{sw}}{2}$$

$$P_{FET} = 0.02 + \frac{0.001095}{2}$$

$$P_{FET} = 0.02277 \text{ W}$$

- Dioda

$$P_{VF} = V_F I_{Omax}$$

$$P_{VF} = 0.5 \times 1 = 0.5 \text{ W}$$

$$P_{RF} = R_F I_{Drms}^2$$

$$I_{Drms} = \frac{I_{Omax}}{\sqrt{1 - D_{max}}}$$

$$I_{Drms} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0.4}}$$

$$I_{Drms} = 1.2909 \text{ A}$$

$$P_{RF} = (0.175 \times (1.2909)^2)$$

$$P_{RF} = 0.291 \text{ W}$$

$$P_D = P_{RF} + P_{VF}$$

$$P_D = 0.29 + 0.5$$

$$P_D = 0.79 \text{ W}$$

- Kapasitor

$$P_{rC} = r_C I_{Crms}^2$$

$$I_{Crms} = I_{Omax} \sqrt{\frac{D_{max}}{1 - D_{max}}}$$

$$I_{Crms} = 1 \sqrt{\frac{0.4}{1 - 0.4}}$$

$$I_{Crms} = 0.816 \text{ A}$$

$$P_{rC} = (0.043 \times (0.816)^2)$$

$$P_{rC} = 0.028W$$

- *Losses daya total*

$$P_{LS} = P_{rDS} + P_{sw} + P_D + P_{rL} + P_{rC}$$

$$P_{LS} = 0.02 + 0.001095 + 0.79 + 0.508 + 0.028$$

$$P_{LS} = 1.35 W$$

➤ *Duty cycle 60 %*

- *Induktor*

$$I_{Lrms} \approx I_{Imax} = \frac{I_{Omax}}{1 - D_{max}}$$

$$I_{Lrms} \approx I_{Imax} = \frac{1}{1 - 0.6}$$

$$I_{Lrms} = 2.5 A$$

$$P_{rL} = r_L I_{Lrms}^2$$

$$P_{rL} = (0.183 \times (2.5)^2)$$

$$P_{rL} = 1.14 W$$

- *MOSFET*

$$P_{rDS} = r_{DS} I_{Srms}^2$$

$$I_{Srms} = \frac{\sqrt{D_{max}} I_{Omax}}{1 - D_{max}}$$

$$I_{Srms} = \frac{\sqrt{0.6} \times 1}{1 - 0.6}$$

$$I_{Srms} = 1.936 A$$

$$P_{rDS} = r_{DS} I_{Srms}^2$$

$$P_{rDS} = 0.02 \times (1.93)^2$$

$$P_{rDS} = 0.075 W$$

$$P_{sw} = f_s C_O V_{SM}^2$$

$$P_{sw} = 200000 \times 1E^{-10} \times 7.4$$

$$P_{sw} = 0.001095 W$$

$$P_{FET} = P_{rDS} + \frac{P_{sw}}{2}$$

$$P_{FET} = 0.075 + \frac{0.001095}{2}$$

$$P_{FET} = 0.076 \text{ W}$$

- Dioda

$$P_{VF} = V_F I_{Omax}$$

$$P_{VF} = 0.5 \times 1 = 0.5 \text{ W}$$

$$P_{RF} = R_F I_{Drms}^2$$

$$I_{Drms} = \frac{I_{Omax}}{\sqrt{1 - D_{max}}}$$

$$I_{Drms} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0.6}}$$

$$I_{Drms} = 1.5811 \text{ A}$$

$$P_{RF} = (0.175 \times (1.5811)^2)$$

$$P_{RF} = 0.4375 \text{ W}$$

$$P_D = P_{RF} + P_{VF}$$

$$P_D = 0.4375 + 0.5$$

$$P_D = 0.93 \text{ W}$$

- Kapasitor

$$P_{rC} = r_C I_{Crms}^2$$

$$I_{Crms} = I_{Omax} \sqrt{\frac{D_{max}}{1 - D_{max}}}$$

$$I_{Crms} = 1 \sqrt{\frac{0.6}{1 - 0.6}}$$

$$I_{Crms} = 1.22 \text{ A}$$

$$P_{rC} = (0.043 \times (1.22)^2)$$

$$P_{rC} = 0.064 \text{ W}$$

- Losses daya total

$$P_{LS} = P_{rDS} + P_{sw} + P_D + P_{rL} + P_{rC}$$

$$P_{LS} = 0.075 + 0.001095 + 0.9375 + 1.14 + 0.064$$

$$P_{LS} = 2.22 \text{ W}$$

➤ Duty cycle 80 %

• Induktor

$$I_{Lrms} \approx I_{Imax} = \frac{I_{Omax}}{1 - D_{max}}$$

$$I_{Lrms} \approx I_{Imax} = \frac{1}{1 - 0.8}$$

$$I_{Lrms} = 5 \text{ A}$$

$$P_{rL} = r_L I_{Lrms}^2$$

$$P_{rL} = (0.183 \times (5)^2)$$

$$P_{rL} = 4.575 \text{ W}$$

• MOSFET

$$P_{rDS} = r_{DS} I_{Srms}^2$$

$$I_{Srms} = \frac{\sqrt{D_{max}} I_{Omax}}{1 - D_{max}}$$

$$I_{Srms} = \frac{\sqrt{0.8} \times 1}{1 - 0.8}$$

$$I_{Srms} = 4.47 \text{ A}$$

$$P_{rDS} = r_{DS} I_{Srms}^2$$

$$P_{rDS} = 0.02 \times (4.47)^2$$

$$P_{rDS} = 0.4 \text{ W}$$

$$P_{sw} = f_s C_O V_{SM}^2$$

$$P_{sw} = 200000 \times 1E^{-10} \times 7.4$$

$$P_{sw} = 0.001095 \text{ W}$$

$$P_{FET} = P_{rDS} + \frac{P_{sw}}{2}$$

$$P_{FET} = 0.4 + \frac{0.001095}{2}$$

$$P_{FET} = 0.4005 \text{ W}$$

- Dioda

$$P_{VF} = V_F I_{Omax}$$

$$P_{VF} = 0.5 \times 1 = 0.5 \text{ W}$$

$$P_{RF} = R_F I_{Drms}^2$$

$$I_{Drms} = \frac{I_{Omax}}{\sqrt{1 - D_{max}}}$$

$$I_{Drms} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0.8}}$$

$$I_{Drms} = 2.23 \text{ A}$$

$$P_{RF} = (0.175 \times (2.23)^2)$$

$$P_{RF} = 0.875 \text{ W}$$

$$P_D = P_{RF} + P_{VF}$$

$$P_D = 0.875 + 0.5$$

$$P_D = 1.375 \text{ W}$$

- Kapasitor

$$P_{rC} = r_C I_{Crms}^2$$

$$I_{Crms} = I_{Omax} \sqrt{\frac{D_{max}}{1 - D_{max}}}$$

$$I_{Crms} = 1 \sqrt{\frac{0.8}{1 - 0.8}}$$

$$I_{Crms} = 2 \text{ A}$$

$$P_{rC} = (0.043 \times (2)^2)$$

$$P_{rC} = 0.172 \text{ W}$$

- Losses daya total

$$P_{LS} = P_{rDS} + P_{sw} + P_D + P_{rL} + P_{rC}$$

$$P_{LS} = 0.4 + 0.001095 + 1.375 + 4.575 + 0.172$$

$$P_{LS} = 6.52 \text{ W}$$

4.5 Datasheet Tegangan Generator

tc/th		Suhu Panas															
		50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
Suhu Panas	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	

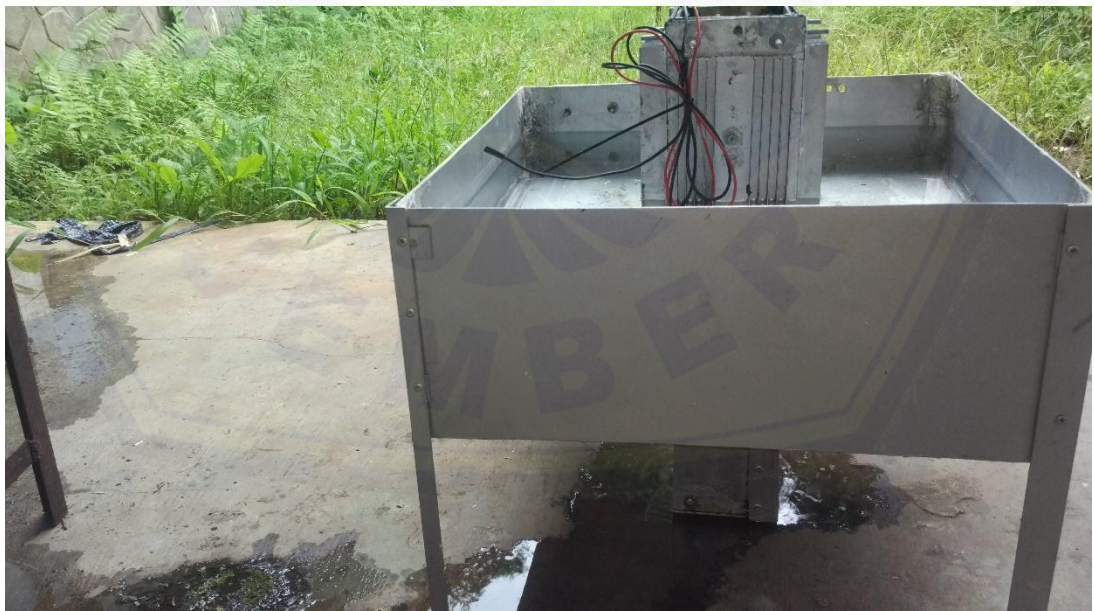
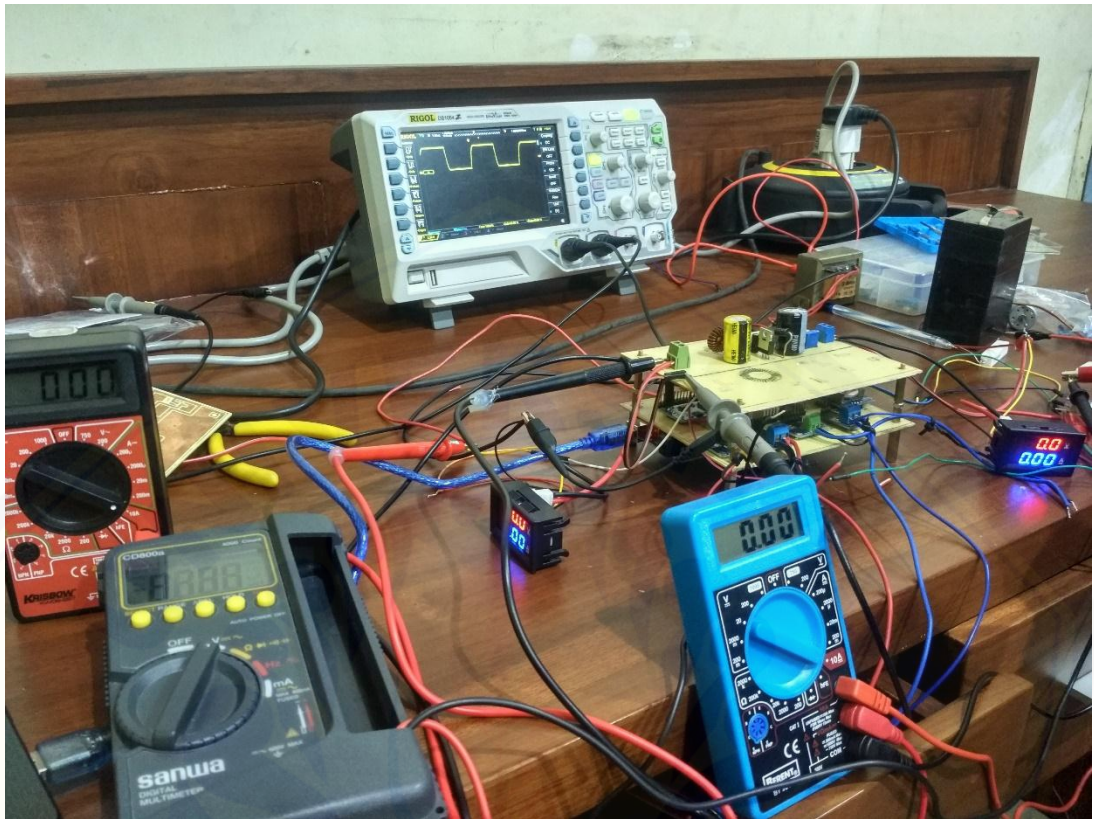
4.5 Datasheet Arus Generator

tc/th		Suhu Panas															
		50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
Suhu Dingin	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	0,01	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	0,03	0,14	0,25	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	0,04	0,15	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	0,05	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	

4.6 Datasheet Efisiensi Generator

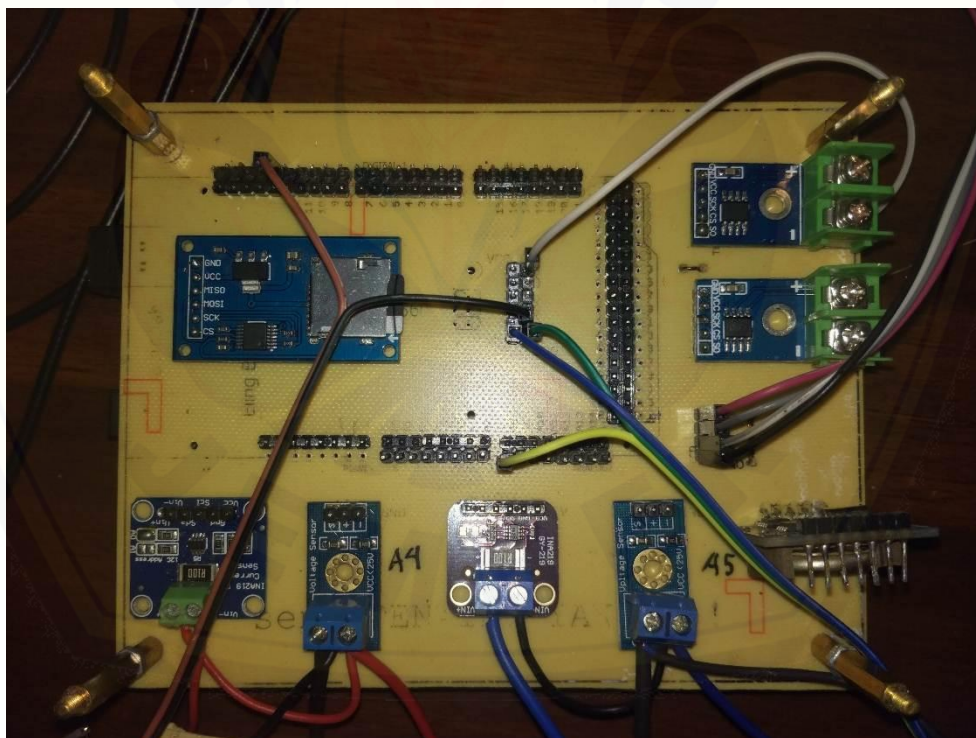
tc/th		Suhu Panas																	
		50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200		
Suhu Dingin	30	2%	3%	4%	4%	5%	5%	6%	6%	6%	6%	6%	7%	7%	7%	7%	7%		
	40	1%	2%	3%	3%	4%	4%	5%	5%	5%	5%	6%	6%	6%	6%	6%	6%		
	50	0%	1%	2%	2%	3%	3%	4%	4%	4%	5%	5%	5%	5%	6%	6%	6%		
	60	0%	0%	1%	1%	2%	2%	3%	3%	4%	4%	4%	6%	5%	5%	5%	5%		
	70	0%	0%	0%	1%	1%	2%	2%	3%	3%	3%	4%	4%	4%	4%	4%	5%	5%	
	80	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%	2%	2%	3%	3%	3%	4%	4%	4%	4%	4%	
	90	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%	2%	2%	2%	3%	3%	3%	3%	4%	4%	
	100	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%	2%	2%	3%	3%	3%	3%	
	110	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%	2%	2%	2%	2%	3%	3%
	120	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%	2%	2%	2%	2%	2%
	130	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%	2%	2%	2%	2%

4.7 Dokumentasi Penelitian





Boost converter



Data Logger