

**ANALISIS PEMANFAATAN PANAS SISA DARI KOMPOR BIOMASSA
UNTUK PEMBANGKITAN LISTRIK BERBASIS TERMOELEKTRIK**

Tesis

Untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat pendidikan Strata Dua (S-2)
Sebagai Magister Energi pada Program Studi Magister Energi



Disusun oleh :

MUHAMAD ZUHUD ANDRYA

30000516420013

**PROGRAM STUDI MAGISTER ENERGI
SEKOLAH PASCASARJANA UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

JANUARI 2019

**ANALISIS PEMANFAATAN PANAS SISA DARI KOMPOR BIOMASSA
UNTUK PEMBANGKITAN LISTRIK BERBASIS TERMOELEKTRIK**

Tesis

Untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat pendidikan Strata Dua (S-2)
Sebagai Magister Energi pada Program Studi Magister Energi



Disusun oleh :

MUHAMAD ZUHUD ANDRYA

30000516420013

**PROGRAM STUDI MAGISTER ENERGI
SEKOLAH PASCASARJANA UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

JANUARI, 2019

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.



**HALAMAN PENGESAHAN
TESIS**

Analisis Pemanfaatan Panas Sisa Dari Kompor
Biomassa Untuk Pembangkitan Listrik Berbasis Termoelektrik

Disusun oleh:
MUHAMAD ZUHUD ANDRYA
30000516420013

**Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji
Pada tanggal 09 Januari 2019**

Tim Penguji,

Dosen Pembimbing I



**(Prof. Dr. Widayat, S.T., M.T.)
NIP. 19720609 199803 1 001**

Penguji I



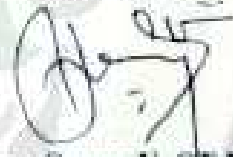
**(Dr. Suryono, S.Si., M.Si.)
NIP. 19730630 199802 1 001**

Dosen Pembimbing II



**(Mochammad Facta, ST, MT, Ph.D)
NIP. 19710616 199903 1 003**

Penguji II



**(MSK Tony Suryo U., ST, MT, Ph.D)
NIP. 19710421 199903 1 003**

**Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister Energi
Tanggal 16 Januari 2019**

Kaprodi Magister Energi

Dekan Sekolah Pascasarjana

**(Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T.)
NIP. 19651123 199403 1 003**

**(Prof. Dr. Purwanto, DEA)
NIP. 19611228 198603 1 004**

**PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Mahasiswa : Muhamad Zuhud Andrya
NIM : 30000516420013
Program Studi : Magister Energi
Sekolah : Program Pascasarjana
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Analisis Pemanfaatan Panas Sisa Dari Kompor Biomassa Untuk Pembangkitan Listrik Berbasis Termoelektrik.

Beserta perangkat yang ada. Dengan Hak bebas Royalty Noneksklusif ini Program Studi Magister Energi Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database) merawat, dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dibuat di : Semarang
Pada tanggal : **16 Januari 2019**
Yang menyatakan



Muhamad Zuhud Andrya
NIM. 30000516420013

RIWAYAT HIDUP



Muhamad Zuhud Andrya lahir di Kabupaten Lombok Timur pada tanggal 7 September 1989, menyelesaikan pendidikan SD hingga SMA Kota Praya, Kabupaten Lombok Tengah, dan menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Elektro di Sekolah Tinggi Teknik PLN (STT-PLN) Jakarta pada tahun 2012 dengan bidang minat teknik tenaga listrik arus kuat. Setelah lulus, penulis memulai karir professional di bidang swasta dengan bekerja di PT. Schneider Indonesia, dan PT. ABB Sakti Industri hingga pada tahun 2015 penulis diangkat sebagai Pegawai Negeri Sipil di Kementerian ESDM. Pada tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan program magister (S2) pada Program Magister Energi Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang.

Semarang, 16 Januari 2019

Penulis

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul "*Analisis Pemanfaatan Panas Sisa Dari Kompor Biomassa Untuk Pembangkitan Listrik Berbasis Termoelektrik*". Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Magister Energi, Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membimbing, memberi bantuan, arahan dan saran dalam penyusunan tesis ini yaitu kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Widayat, S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing Pertama atas waktu, tenaga, petunjuk, fasilitas Lab dan semua bantuannya dalam membimbing penulis;
2. Bapak Mochammad Facta, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Kedua atas semua arahan, petunjuk, waktu, tenaga, fasilitas Lab dan semua perhatiannya dalam membimbing penulis;
3. Bapak Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., selaku Kaprodi Magister Energi Sekolah Pascasarjana UNDIP, beserta jajarannya yang telah memberikan dukungan kepada penulis;
4. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Magister Energi, beserta Istri, anak, serta keluarga yang selalu memberikan dukungan terbaik selama proses perkuliahan dan pengerjaan tesis ini;

Akhir kata apabila terdapat kekurangan dalam penyusunan tesis ini, penulis memohon maaf, dan akan menerima semua bentuk saran dan kritik yang membangun guna penyempurnaan dan pengembangan ini. Semoga Allah SWT meridhai penyusunan tesis ini.

Semarang, 16 Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

Pernyataan Orisinalitas.....	i
Halaman Pengesahan Tesis.....	ii
Pernyataan Persetujuan Publikasi Tesis Untuk Kepentingan Akademis	iii
Riwayat Hidup	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi.....	vi
Daftar Tabel	viii
Daftar Gambar.....	ix
Daftar Lampiran.....	xi
Arti Lambang Dan Singkatan	xii
Intisari.....	xiii
Abstract	xiv
BAB I Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah	5
1.6. Originalitas Penelitian.....	5
BAB II Tinjauan Pustaka	9
2.1. Pemanfaatan Energi Biomassa melalui Proses Pembakaran	9
2.2. <i>Waste Heat Recovery</i> (Pemanfaatan Kembali Panas Sisa).....	11
2.3. Modul termoelektrik	12
2.3.1. Efek Seebeck pada TEG.....	14
2.3.2. Material penyusun TEG	15
2.3.3. Aplikasi Pemanfaatan TEG.....	16
2.4. Penggunaan TEG pada kompor	17
BAB III Metodologi Penelitian.....	19
3.1. Pengujian terkait pembangkit termoelektrik (TEG)	19
3.1.1. Pengujian Karakteristik TEG.....	20
3.2. Percobaan Terkait Kinerja Kompor Biomassa	24
3.2.1. Pengoperasian Kompor Biomassa.....	24
3.2.2. Pengoperasian kompor yang dipasang modul TEG.....	30
3.2.3. Perkiraan Pemanfaatan Energi Panas Kompor dengan TEG..	33
BAB IV Hasil dan Pembahasan	34
4.1. Tinjauan Letak Pemasangan Optimum Modul TEG pada Kompor.	34

4.2. Karakteristik Modul TEG	36
4.2.1. Model persamaan matematis q_a dan q_e pada modul TEC1-12706.....	46
4.2.2. Model persamaan matematis q_a dan q_e pada modul SP 1848-27145SA	47
4.3. Efisiensi Pemanfaatan Kompor.....	49
4.3.1. Potensi pemanfaatan kompor tanpa termoelektrik.....	50
4.3.2. Potensi pemanfaatan energi panas sisa menggunakan TEG... ..	51
4.3.3. Potensi pemasangan TEG maksimal.....	54
 BAB V Kesimpulan	 61
5.1. Kesimpulan	61
5.2. Saran	62
 Daftar Pustaka	 63
Lampiran A. Hasil uji karakteristik modul Termoelektrik.....	67
Lampiran B. Parameter perhitungan efisiensi energi kompor tanpa TEG dengan metode <i>boiling water methode</i>	70
Lampiran C. Hasil pengujian nilai kalor dari pelet kayu yang digunakan sebagai bahan bakar dalam penelitian ini	71
Lampiran D. Data Hasil Percobaan Pemasangan 2 unit TEG.....	72
Lampiran E. Spesifikasi Baterai Jenis Lithium-ion	75
Lampiran F. Metode perhitungan desain pengatur tegangan dc tipe <i>Buck-Boost converter</i>	76
Lampiran G. Spesifikasi Perangkat Lunak PSIM	79
Lampiran H. Spesifikasi teknis modul Termoelektrik TEC1-12706 dan SP1848-27145A.....	80
Lampiran I. Spesifikasi Teknis Kompor.....	81
Lampiran J. Sertifikat Uji Kompor Primestove Fuulwood Regular No.10007 ..	82
Lampiran K. Spesifikasi Teknis Modul Data Logger tipe USB-4718	83
Lampiran L. Tabel Properti untuk Air Saturasi	84

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Ringkasan Penelitian Terdahulu.....	6
Tabel 2.	Rekapitulasi Energi pada pemasangan TEG di dinding Kompor Biomassa dalam Penelitian ini:.....	59
Tabel 3.	Capaian yang diperoleh dibandingkan penelitian terdahulu.....	60
Tabel 4.	Hasil uji karakteristik TEG tipe TEC1-12706 dan SP1848-27145 SA menggunakan beban, $R = 15,32$ Ohm	67
Tabel 5.	Perbandingan tegangan U (teoritis) dan V percobaan pada sel TEC1- 12706 dan sel SP1848-27145SA yang diposisikan sebagai pembangkit TEG	67
Tabel 6.	Parameter perhitungan efisiensi energi kompor tanpa TEG dengan metode <i>boiling water methode</i>	70
Tabel 7.	Data hasil percobaan pemasangan 2 unit TEG secara seri di titik1.....	72
Tabel 8.	Parameter perhitungan efisiensi energi termal kompor	73
Tabel 9.	Perbandingan Jenis Baterai Tipe Lithium-ion	75
Tabel 10.	Parameter listrik dari konfigurasi 12 unit TEG yang dipasang seri dan paralel pada kompor menggunakan topologi <i>boost-converter</i>	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur modul Termoelektrik (Gao <i>et al.</i> , 2016)	14
Gambar 2.2. Penampakan sel termoelektrik (Najjar dan Kseibi, 2016).....	16
Gambar 3.1. Sel termoelektrik tipe SP 1848-27145 (Sumber: dok.pribadi).....	20
Gambar 3.2. Penampakan alat percobaan II.....	21
Gambar 3.3. Skema set up alat percobaan II.....	21
Gambar 3.4. Tampilan layar software DataLogger Advantech USB-4718	22
Gambar 3.5. Diagram langkah kerja percobaan kedua	23
Gambar 3.6. Ilustrasi penempatan sensor suhu pada dinding kompor.....	25
Gambar 3.7. a,b,c,d. Ilustrasi operasi kompor (Primestoves, n.d.)	25
Gambar 3.8. Diagram langkah kerja percobaan II	27
Gambar 3.9. Dokumentasi foto selama pelaksanaan percobaan III	28
Gambar 3.10. Diagram langkah kerja percobaan IV.....	30
Gambar 3.11. Peralatan dalam percobaan keempat	31
Gambar 3.12. Skema kompor dan TEG dalam percobaan IV.....	32
Gambar 4.1. Perbandingan hasil pengukuran suhu di tiga posisi dalam tiga kali percobaan.....	35
Gambar 4.2. Grafik rata-rata temperatur setiap titik relatif terhadap jumlah bahan bakar yang digunakan	35
Gambar 4.3. Kalor yang diserap (q_a) oleh sel TEC1-12706 dan sel SP1848 berdasarkan data percobaan.....	37
Gambar 4.4. Persentase permukaan sel TEC1-12706 dan sel SP1848 yang menerima panas q_a berdasarkan data percobaan	38
Gambar 4.5. Kalor yang dilepaskan (q_e) oleh sel TEC1-12706 dan sel SP1848 berdasarkan data percobaan.....	40
Gambar 4.6. Persentase permukaan sisi C modul TEC1-12706 dan SP 1848-27145SA yang melepaskan panas q_e berdasarkan data percobaan	41
Gambar 4.7. Grafik tegangan hasil percobaan (V) dan tegangan (U) teoritis modul TEC1-12706	42
Gambar 4.8. Grafik tegangan hasil percobaan (V) dan tegangan (U) teoritis modul SP1848-27145SA	43
Gambar 4.9. Perbandingan daya output modul TEC1-12706 dan SP1848-27145SA relatif terhadap beda temperatur dalam percobaan.....	44
Gambar 4.10. Perbandingan TEC1-12706 dan SP1848-27145 terhadap beda temperatur dalam percobaan berdasarkan Tegangan output	44
Gambar 4.11. Perbandingan sel TEC1-12706 dan SP1848-27145 terhadap beda temperatur dalam percobaan berdasarkan Arus listrik	45
Gambar 4.12. Grafik fungsi temperatur dan tegangan keluaran TEG relatif terhadap waktu percobaan	48
Gambar 4.13. Grafik Parameter listrik (tegangan, arus dan daya) output modul SP1848-27145 terhadap beda temperatur pada beban 15,32 Ohm	49

Gambar 4.14. Perubahan temperatur air, titik T_h , dan T_c TEG terukur selama percobaan.....	52
Gambar 4.15. Perubahan daya output relatif terhadap beda temperatur kedua sisi TEG selama percobaan.....	53
Gambar 4.16. Ilustrasi 12 unit TEG dipasang seri dan paralel	55
Gambar 4.17. Buck-boost converter (Hart, 2010).....	57
Gambar 4.18. Topologi <i>buck-boost converter</i> dalam simulasi PSIM.....	57
Gambar 4.19. Gambar tegangan (atas) dan arus (bawah) pada menit 0,3 s.d menit 0,4 (kondisi steady state) sebagai hasil dari simulasi PSIM.....	57
Gambar 4.20. Tegangan sumber, Tegangan keluaran, dan Duty cycle terhadap waktu percobaan.....	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Hasil uji karakteristik modul Termoelektrik.....	67
Lampiran B. Parameter perhitungan efisiensi energi kompor tanpa TEG dengan metode <i>boiling water methode</i>	70
Lampiran C. Hasil pengujian nilai kalor dari pelet kayu yang digunakan sebagai bahan bakar dalam penelitian ini	71
Lampiran D. Data Hasil Percobaan Pemasangan 2 unit TEG.....	72
Lampiran E. Spesifikasi Baterai Jenis Lithium-ion	75
Lampiran F. Metode perhitungan desain pengatur tegangan dc tipe <i>Buck-Boost converter</i>	76
Lampiran G. Spesifikasi Perangkat Lunak PSIM	79
Lampiran H. Spesifikasi teknis modul Termoelektrik TEC1-12706 dan SP1848-27145SA	80
Lampiran I. Spesifikasi Teknis Kompor.....	81
Lampiran J. Sertifikat Uji Kompor Primestove Fuulwood Regular No.10007 ..	82
Lampiran K. Spesifikasi Teknis Modul Data Logger tipe USB-4718	83
Lampiran L. Tabel Properti untuk Air Saturasi	84

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

1. Q_h : Heat flow
2. T : Temperatur
3. T_h : Temperatur yang lebih tinggi
4. T_c : Temperatur yang lebih rendah
5. T_w : Temperatur air
6. T^* : Temperatur rata-rata material
7. T_b : Temperatur air yang terdidihkan ($^{\circ}\text{C}$)
8. T_a : Temperatur terserap ($^{\circ}\text{C}$)
9. T_e : Temperatur terserap ($^{\circ}\text{C}$)
10. T_i : Temperatur air awal ($^{\circ}\text{C}$)
11. V : Tegangan (V)
12. I : Arus listrik (Amp)
13. ΔV : Beda potensial (V)
14. P : Daya listrik (W)
15. P_{input} : Daya termal yang dilepaskan bahan bakar (W)
16. P_{output} : Daya listrik yang dihasilkan (W)
17. S_{AB} : Koefisien seebeck
18. η : Efisiensi
19. ZT : Nilai figure-of-merit bahan termoelektrik
20. TE : Termoelektrik
21. TEG : Termoelektrik generator
22. TEC : Termoelektrik cooler
23. HHV : Higher Heating Value (nilai kalor tinggi)
24. LHV : Lower Heating Value (nilai kalor rendah)
25. NHV : Net Heating Value (nilai kalor netto bahan bakar)
26. E : Energi
27. $E_{out listrik}$: Energi dibangkitkan termoelektrik (kWh)
28. Δm_k : massa bahan bakar yang terbakar = $m_{awal} - m_{akhir}$ (kg)
29. m_a : massa air awal (kg)
30. m_v : massa air yang mendidih (kg)
31. H_c : nilai kalor bahan bakar (J/kg)
32. t : waktu
33. C_p : kalor spesifik air yaitu $4180 \text{ J}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$
34. H_v : kalor latent (J/kg)
35. α_m : Koefisien *Seebeck* maksimum
36. Θ_m : Hambatan termal maksimum (K/W)
37. q_a : Kalor terserap (Watt)
38. q_e : Kalor terlepas (Watt)
39. U_{max} : Tegangan inpur (V) maksimum

INTISARI

Penggunaan kompor berbahan bakar kayu masih digunakan secara luas oleh masyarakat dunia saat ini. Efisiensi pembakaran kayu pada penggunaan kompor relatif rendah karena terdapat sejumlah panas yang dapat digunakan kembali atau dipanen menjadi energi listrik. Penelitian ini menggunakan teknologi *Thermoelectric Energy Generator* (TEG) untuk memanen energi panas sekeliling kompor menjadi listrik yang sebelumnya energi tersebut terbuang. Untuk memasang TEG pada kompor, identifikasi kerja sel tipe TEC1-12706 dan tipe SP1848-27145SA dan posisi optimal pemasangan pada kompor dilakukan, dan diikuti oleh perhitungan potensi efisiensi energi termal kompor biomassa ketika TEG terpasang. Semakin tinggi beda temperatur pada kedua sisi TEG, semakin besar tegangan dibangkitkan. Model kalor yang terserap dan terlepas di masing-masing permukaan modul disajikan. Efisiensi energi termal kompor biomassa tanpa menggunakan TEG adalah 13,922% dengan bahan bakar sebanyak 400 gram pelet kayu (nilai kalor 4,298 kal/g). Dua TEG dipasang seri menghasilkan 1,48 Volt, 0,09 A ketika mereka dipasang pada kompor. Ketika sekeliling sisi kompor dipasang penuh dengan TEG, berpotensi menghasilkan energi listrik hingga 0,27 Watt. Energi sebanyak itu dapat digunakan untuk mengisi baterai *Lithium-ion* selama 53 menit jika menggunakan pengatur tegangan *buck-boost dc converter* dan berkontribusi pada penambahan efisiensi energi kompor sebesar 0,014%.

Kata kunci: Pemanenan energi, *Thermoelectric Energy Generator* (TEG), Efisiensi termal, kompor biomassa, *buck-boost dc converter*

ABSTRACT

The use of stoves with wooden fuel is widely used by the community in the developing countries. The efficiency of wood burning in the use of stoves is relatively low because there is a certain amount of heat that can be reused or harvested into electrical energy. This work uses the Thermoelectric Energy Generator (TEG) technology to harvest heat energy surrounding the stove into electricity while in previous usage the heat energy was wasted. To Apply TEG in the stove, the identification of the work of TEC1-12706 and SP1848-27145SA cells and the optimal position of the installation on the stove were carried out, and it was followed by the calculation of the potential thermal energy efficiency of biomass stoves when TEG was attached. The higher temperature difference on both sides of the TEG, the greater the voltage was generated. The modules absorbed and emitted heat on both of the module surfaces was presented. The thermal energy efficiency of biomass cook stoves without using TEG is 13,922% with fuel of 400 grams of wood pellets which equals to heat rate 4,298 cal/gr. Two TEGs in pair produced 1.48 Volt, 0.09 Amps when they attached to the stove. When round side of the stove wall is fully attached by TEGs, it has potential production of electrical energy up to 0,27 Watts. This amount of energy is able to recharge Lithium-ion batteries for 53 minutes if using buck-boost dc voltage converter, and it contribute to add the stove's energy efficiency by 0,014%.

Keywords: *energy harvesting, Thermoelectric Energy Generator, thermal efficiency, biomass cookstove, buck-boost dc converter*