

**PEMANFAATAN PANAS CEROBONG INSINERATOR
SEBAGAI ENERGI LISTRIK BERBASIS GENERATOR
TERMOELEKTRIK**

***HEAT UTILIZATION OF INCINERATOR CHYMNEYS BASED
ON THERMOELECTRIC GENERATOR***

**USMAN SYAMSUDDIN
P2201215003**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2018**



**PEMANFAATAN PANAS CEROBONG INSINERATOR
SEBAGAI ENERGI LISTRIK BERBASIS GENERATOR
TERMOELEKTRIK**

***HEAT UTILIZATION OF INCINERATOR CHYMNEYS BASED
ON THERMOELECTRIC GENERATOR***

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Magister Teknik Mesin / Konversi Energi

Disusun dan diajukan oleh

USMAN SYAMSUDDIN

Kepada

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

SEKOLAH PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2018



TESIS


PEMANFAATAN PANAS CEROBONG INSINERATOR SEBAGAI ENERGI LISTRIK BERBASIS GENERATOR TERMOELEKTRIK

Disusun dan diajukan oleh

USMAN SYAMSUDDIN
Nomor Pokok P2201215003

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 31 Desember 2018
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasehat,


Dr. Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME
Ketua


Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT.
Anggota

Ketua Program Studi Magister
Teknik Mesin,


Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, ST., MT.

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,


Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT.



P R A K A T A

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang berjudul **“Pemanfaatan Panas Cerobong Insinerator Sebagai Energi Listrik Berbasis Generator Termoelektrik”**.

Penyusunan tesis ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Magister pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar.

Banyak kendala yang dihadapi oleh penulis dalam rangka penyusunan tesis ini, berbagai pihak telah banyak memberikan dorongan, bantuan serta masukan sehingga dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih kepada Ibunda tercinta Hj. Taniaga, dan adik-adik. Dan tak lupa juga kepada Bapak DR. Ali Hapsah, MA. selaku perintis berdirinya Politeknik Negeri Paser tempat penulis mengabdikan sebagai pengajar.

Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk, terutama kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu. MA Selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Dr. Ing. Wahyu Haryadi Piarah, MSME selaku Ketua Komisi

nasehat dan Ibu Dr. Ir. Zuryati Djafar. MT selaku Anggota Komisi nasehat atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mulai



dari penyusunan proposal, pelaksanaan penelitian sampai dengan penyusunan tesis ini.

3. Prof. Dr. Ir. H. Syukri Himran., MSME selaku Ketua Tim Penguji, Dr. Ir. Luther Sule, MT selaku Sekretaris Tim Penguji atas waktu dan segala masukan yang bermanfaat dalam penyusunan tesis ini.
4. Dr.Eng. Jalaluddin., ST., MT selaku anggota tim penguji sekaligus sekretaris Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.
5. Seluruh staf pengajar / dosen pada program studi Teknik Mesin, konsentrasi Konversi Energi, Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin, atas bimbingan dan didikannya selama penulis kuliah.
6. Bapak Direktur beserta Staf Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin atas segala pelayanannya.
7. Kepada seluruh teman-teman Pascasarjana Teknik Mesin Unhas khususnya angkatan 2015 yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tesis ini.

Penulis menyadari bahwa naskah tesis ini masih banyak kekurangan oleh karena itu segala kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan demi perbaikan tesis ini. Akhirnya semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan energi terbarukan.

Makassar, Oktober 2018

Penulis



ABSTRAK

USMAN SYAMSUDDIN. Pemanfaatan Panas Cerobong Insinerator Sebagai Energi Listrik Berbasis Generator Termoelektrik (dibimbing oleh Wahyu Haryadi Piarah dan Zuryati Djafar).

Pembangkit daya termoelektrik (TEG) telah lama digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Ketika perbedaan temperatur terjadi antara dua material semi konduktor pada TEG, elemen termoelektrik ini akan menghasilkan perbedaan tegangan dan mengalirkan arus listrik yang dikenal dengan 'efek Seebeck'. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi energi listrik dari modul TEG sebagai sumber energi alternatif dengan memanfaatkan panas cerobong dari suatu insinerator untuk sampah non organik rumah tangga. Pengujian dilakukan dengan variasi tinggi cerobong 1, 2 dan 3 m dengan perlakuan sampah tanpa pemadatan dan dengan pemadatan serta variasi modul yang berbeda, yaitu modul tunggal, modul susun dua, modul susun tiga dan modul susun empat. Hasil pengujian menunjukkan karakteristik temperatur, daya keluaran dan efisiensi untuk modul tunggal tanpa pemadatan sampah nilainya masing-masing yaitu; 15,4 °C, 3,4 W, 1,1 % (1 m), 17,9 °C, 4,6 W, 1,3 % (2 m), 22,1 °C, 6,9 W, 1,6 % (3 m) sedangkan dengan pemadatan sampah nilainya 29,9 °C, 12,6 W, 2,2 % (1 m), 34,5 °C, 16,8 W, 2,5 % (2 m), 41,5 °C, 24,3 W, 3,0 % (3 m). Modul susun dua tanpa pemadatan sampah 17,6 °C, 9,3 W, 5,5 % (1 m), 20,1 °C, 12,0 W, 6,2 % (2 m), 23,8 °C, 16,6 W, 7,2 % (3 m) sedangkan dengan pemadatan sampah nilainya 33,0 °C, 31,0 W, 9,8 % (1 m), 36,8 °C, 38,3 W, 10,8 % (2 m), 43,6 °C, 53,2 W, 12,7 % (3 m). Modul susun tiga tanpa pemadatan nilainya 16,5 °C, 7,4 W, 7,0 % (1 m), 18,9 °C, 9,1 W, 7,5 % (2 m), 21,9 °C, 12,2 W, 8,7 % (3 m) sedangkan dengan pemadatan sampah nilainya masing-masing 31,1 °C, 24,7 W, 12,4 % (1 m), 36,8 °C, 34,1 W, 14,4 % (2 m), 42,1 °C, 44,3 W, 16,4 % (3 m). Modul susun empat tanpa pemadatan sampah nilainya 13,8 °C, 4,8 W, 7,3 % (1 m), 15,5 °C, 6,0 W, 8,1 % (2 m), 19,2 °C, 9,0 W, 9,7 % (3 m) sedangkan dengan pemadatan sampah nilainya 30,0 °C, 22,2 W, 15,0 % (1 m), 36,4 °C, 30,7 W, 17,5 % (2 m), 41,3 °C, 39,1 W, 19,7 % (3 m). Hasil ini menunjukkan bahwa TEG memiliki prospek yang cerah sebagai sumber energi listrik.
Kata kunci: Insinerator, Efek Seebeck, Generator Termoelektrik



ABSTRACT

USMAN SYAMSUDDIN. Heat Utilization of Incinerator Chimney As Electric Energy Based On Thermoelectric Generator (mentored by Wahyu Haryadi Piarah and Zuryati Djafar).

The thermoelectric generator (TEG) has long been used to produce electrical energy. When a temperature difference occurs between two semi-conductor materials on TEG, this thermoelectric element will produce a voltage difference and flow an electric current known as the 'Seebeck effect'. This research was conducted to determine the potential of electrical energy from the TEG module as an alternative energy source by utilizing chimney heat from an incinerator for household non-organic waste. Tests are carried out with a variation of 1, 2 and 3 m chimney height with solid waste treatment without compaction and compaction and module variations, namely single module (12 TEG), two stacking modules (24 TEG), three stacking modules (36 TEG) and four stacking modules (48 TEG). The test results show the characteristics of temperature, output power and efficiency for a single module (12 TEG) without compaction of waste, each of which 15,4 °C, 3,4 W, 1,1 % (1 m), 17,9 °C, 4,6 W, 1,3 % (2 m), 22,1 °C, 6,9 W, 1,6 % (3 m) with compaction is 29,9 °C, 12,6 W, 2,2 % (1 m), 34,5 °C, 16,8 W, 2,5 % (2 m), 41,5 °C, 24,3 W, 3,0 % (3 m). two stacking modules (24 TEG) without compaction of waste 17,6 °C, 9,3 W, 5,5 % (1 m), 20,1 °C, 12,0 W, 6,2 % (2 m), 23,8 °C, 16,6 W, 7,2 % (3 m) with compaction is 33,0 °C, 31,0 W, 9,8 % (1 m), 36,8 °C, 38,3 W, 10,8 % (2 m), 43,6 °C, 53,2 W, 12,7 % (3 m), three stacking modules (36 TEG) without compaction of waste 16,5 °C, 7,4 W, 7,0 % (1 m), 18,9 °C, 9,1 W, 7,5 % (2 m), 21,9 °C, 12,2 W, 8,7 % (3 m) with compaction is 31,1 °C, 24,7 W, 12,4 % (1 m), 36,8 °C, 34,1 W, 14,4 % (2 m), 42,1 °C, 44,3 W, 16,4 % (3 m). four stacking modules (48 TEG) without compaction of waste 13,8 °C, 4,8 W, 7,3 % (1 m), 15,5 °C, 6,0 W, 8,1 % (2 m), 19,2 °C, 9,0 W, 9,7 % (3 m) with compaction is 30,0 °C, 22,2 W, 15,0 % (1 m), 36,4 °C, 30,7 W, 17,5 % (2 m), 41,3 °C, 39,1 W, 19,7 % (3 m). These results indicate that the TEG has bright prospects as a source of electrical energy.

Key words: Incinerators, Seebeck Effect, Thermoelectric Generator



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PEGESAHAN	ii
PRAKATA.....	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR SIMBOL.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	3
E. Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Insinerator	5
B. Generator Termoelektrik (TEG).....	7
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Waktu dan tempat Penelitian	12
B. Alat dan Bahan yang digunakan	12
C. Instalasi TEG pada dudukan	17
D. Metode pengujian	19
E. Rancangan instalasi pengujian	20
F. Metode pengumpulan data	23
G. Diagram alir penelitian	25
Optimization Software:	
www.balesio.com	
	viii



H. Rencana dan jadwal penelitian	25
BAB IV PEMBAHASAN	
A. Analisa data dan perhitungan	27
B. Pembahasan	29
1. Modul tunggal (12 TEG)	29
2. Modul susun dua (24 TEG)	42
3. Modul susun tiga (36 TEG).....	55
4. Modul susun empat (48 TEG)	69
5. Perbandingan Modul	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	98
B. Saran	100
DAFTAR PUSTAKA	101
LAMPIRAN	103



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Rencana dan jadwal penelitian	26



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1	Insinerator tipe <i>batch</i>6
Gambar 2	Insinerator tipe kontinyu 7
Gambar 3	Struktur generator termoelektrik.....8
Gambar 4	Insinerator mini12
Gambar 5	Timbangan digital13
Gambar 6	Pengukur temperatur digital14
Gambar 7	Multimeter digital.....14
Gambar 8	Rangkaian lampu led dan resistor14
Gambar 9	<i>Power Supply</i>15
Gambar 10	Dudukan TEG15
Gambar 11	<i>Heatsink</i>16
Gambar 12	Kipas16
Gambar 13	Termal Pasta16
Gambar 14	Pemasangan TEG pada Dudukan17
Gambar 15	Pemasangan matras dan heatsink pada dudukan TEG17
Gambar 16	Pemasangan dudukan TEG pada Insinerator18
Gambar 17	Pemasangan Kabel Termokopel18
Gambar 18	Kabel TEG dihubungkan ke Multimeter.....19
Gambar 19	Rancangan Instalasi Pengujian.....20
Gambar 20	Rangkaian Modul Tunggal (12 TEG).....20
Gambar 21	Rangkaian Modul susun dua (24 TEG)21
Gambar 22	Rangkaian Modul susun tiga (36 TEG)21
Gambar 23	Rangkaian Modul susun empat (48 TEG)22
Gambar 24	Titik pengukuran pada TEG22
Gambar 25	Titik-titik pengukuran pada insinerator23
Gambar 26	Diagram alir penelitian25
Gambar 27	Sejarah Temperatur Api rerata (T_A avg) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....30



Gambar 28	Sejarah Temperatur Badan rerata ($T_B avg$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	31
Gambar 29	Sejarah Temperatur Cerobong Bawah rerata ($T_{CB avg}$) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	31
Gambar 30	Sejarah Temperatur Cerobong atas rerata ($T_{CA avg}$) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	32
Gambar 31	Beda Temperatur rerata ($\Delta T avg$) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	33
Gambar 32	Beda tegangan (ΔV) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	33
Gambar 33	Panas yang diserap (QH) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	34
Gambar 34	Panas yang dilepas (qL) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	34
Gambar 35	Daya keluaran (P) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	35
Gambar 36	Efisiensi (η) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	36
Gambar 37	Sejarah Temperatur Api rerata ($T_A avg$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	36
Gambar 38	Sejarah Temperatur Badan rerata ($T_B avg$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	37
Gambar 39	Sejarah Temperatur Cerobong Bawah rerata ($T_{CB avg}$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	38
Gambar 40	Sejarah Temperatur Cerobong atas rerata ($T_{CA avg}$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	38
Gambar 41	Beda Temperatur rerata ($\Delta T avg$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	39
Gambar 42	Beda tegangan (ΔV) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi cerobong	40



Gambar 43	Panas yang diserap (Q_H) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	40
Gambar 44	Panas yang dilepas (q_L) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	41
Gambar 45	Daya keluaran (P) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	42
Gambar 46	Efisiensi (η) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	42
Gambar 47	Sejarah Temperatur Api rerata ($T_A \text{ avg}$) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	43
Gambar 48	Sejarah Temperatur Badan rerata ($T_B \text{ avg}$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	44
Gambar 49	Sejarah Temperatur Cerobong Bawah rerata ($T_{CA} \text{ avg}$) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	45
Gambar 50	Sejarah Temperatur Cerobong atas rerata ($T_{CA} \text{ avg}$) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	45
Gambar 51	Beda Temperatur rerata ($\Delta T \text{ avg}$) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	46
Gambar 52	Beda tegangan (ΔV) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	46
Gambar 53	Panas yang diserap (Q_H) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	47
Gambar 54	Panas yang dilepas (q_L) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	48
Gambar 55	Daya keluaran (P) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi cerobong.....	48
Gambar 56	Efisiensi (η) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	49
Gambar 57	Sejarah Temperatur Api rerata ($T_A \text{ avg}$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	50
Gambar 58	Sejarah Temperatur Badan rerata ($T_B \text{ avg}$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	50



Gambar 59	Sejarah Temperatur Cerobong Bawah rerata ($T_{CB\ avg}$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	51
Gambar 60	Sejarah Temperatur Cerobong atas rerata ($T_{CA\ avg}$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	52
Gambar 61	Beda Temperatur rerata ($\Delta T\ avg$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	52
Gambar 62	Beda tegangan (ΔV) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	53
Gambar 63	Panas yang diserap (QH) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	54
Gambar 64	Panas yang dilepas (qL) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	54
Gambar 65	Daya keluaran (P) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	55
Gambar 66	Efisiensi (η) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	55
Gambar 67	Sejarah Temperatur Api rerata ($T_A\ avg$) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	56
Gambar 68	Sejarah Temperatur Badan rerata ($T_B\ avg$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	57
Gambar 69	Sejarah Temperatur Cerobong Bawah rerata ($T_{CB\ avg}$) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	58
Gambar 70	Sejarah Temperatur Cerobong atas rerata ($T_{CA\ avg}$) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	59
Gambar 71	Beda Temperatur rerata ($\Delta T\ avg$) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	59
Gambar 72	Beda tegangan (ΔV) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	60
Gambar 73	Panas yang diserap (QH) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi cerobong	60



Gambar 74	Panas yang dilepas (q_L) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	61
Gambar 75	Daya keluaran (P) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	62
Gambar 76	Efisiensi (η) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	62
Gambar 77	Sejarah Temperatur Api rerata ($T_A \text{ avg}$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	63
Gambar 78	Sejarah Temperatur Badan rerata ($T_B \text{ avg}$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	64
Gambar 79	Sejarah Temperatur Cerobong Bawah rerata ($T_{CB} \text{ avg}$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	64
Gambar 80	Sejarah Temperatur Cerobong atas rerata ($T_{CA} \text{ avg}$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	65
Gambar 81	Beda Temperatur rerata ($\Delta T \text{ avg}$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	66
Gambar 82	Beda tegangan (ΔV) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	66
Gambar 83	Panas yang diserap (QH) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	67
Gambar 84	Panas yang dilepas (q_L) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	68
Gambar 85	Daya keluaran (P) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	68
Gambar 86	Efisiensi (η) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	69
Gambar 87	Sejarah Temperatur Api rerata ($T_A \text{ avg}$) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	70
Gambar 88	Sejarah Temperatur Badan rerata ($T_B \text{ avg}$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	70



Gambar 89	Sejarah Temperatur Cerobong Bawah rerata ($T_{CB\ avg}$) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	71
Gambar 90	Sejarah Temperatur Cerobong atas rerata ($T_{CA\ avg}$) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	72
Gambar 91	Beda Temperatur rerata ($\Delta T\ avg$) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	72
Gambar 92	Beda tegangan (ΔV) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	73
Gambar 93	Panas yang diserap (QH) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	74
Gambar 94	Panas yang dilepas (qL) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi cerobong	74
Gambar 95	Daya keluaran (P) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	75
Gambar 96	Efisiensi (η) tanpa pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	76
Gambar 97	Sejarah Temperatur Api rerata ($T_A\ avg$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	76
Gambar 98	Sejarah Temperatur Badan ($T_B\ avg$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	77
Gambar 99	Sejarah Temperatur Cerobong Bawah ($T_{CB\ avg}$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	78
Gambar 100	Sejarah Temperatur Cerobong atas rerata ($T_{CA\ avg}$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	78
Gambar 101	Beda Temperatur rerata ($\Delta T\ avg$) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	79
Gambar 102	Beda tegangan (ΔV) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	80
Gambar 103	Panas yang diserap (QH) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	80
Gambar 104	Panas yang dilepas (qL) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	81



Gambar 105 Daya keluaran (P) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong	82
Gambar 106 Efisiensi (η) dengan pemadatan sampah pada 3 variasi tinggi cerobong.....	82
Gambar 107 Perbandingan temperatur api rerata ($T_A avg$) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi tinggi cerobong tanpa pemadatan sampah.....	83
Gambar 108 Perbandingan temperatur badan rerata ($T_B avg$) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi tinggi cerobong tanpa pemadatan sampah	84
Gambar 109 Perbandingan Temperatur Cerobong Bawah ($T_{CB avg}$) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi tinggi cerobong tanpa pemadatan sampah	84
Gambar 110 Perbandingan Temperatur Cerobong atas rerata ($T_{CA avg}$) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi tinggi cerobong tanpa pemadatan sampah	85
Gambar 111 Perbandingan beda temperatur rerata ($\Delta T avg$) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi cerobong tanpa pemadatan sampah.....	86
Gambar 112 Perbandingan beda tegangan (ΔV) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi cerobong tanpa pemadatan sampah.....	87
Gambar 113 Perbandingan panas yang diserap (QH) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi cerobong tanpa pemadatan sampah.....	87
Gambar 114 Perbandingan panas yang dilepas (qL) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi cerobong tanpa pemadatan sampah.....	88
Gambar 115 Perbandingan daya keluaran (P) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi cerobong dengan pemadatan sampah...	89
Gambar 116 Perbandingan efisiensi (η) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi cerobong tanpa pemadatan sampah	89



Gambar 117 Perbandingan temperatur api rerata ($T_A \text{ avg}$) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi cerobong dengan pepadatan sampah.....	90
Gambar 118 Perbandingan temperatur badan rerata ($T_B \text{ avg}$) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi cerobong dengan pepadatan sampah	91
Gambar 119 Perbandingan temperatur cerobong bawah rerata ($T_{CB} \text{ avg}$) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi cerobong dengan pepadatan sampah	92
Gambar 120 Perbandingan temperatur Cerobong atas rerata ($T_{CA} \text{ avg}$) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi cerobong dengan pepadatan sampah	92
Gambar 121 Perbandingan beda temperatur rerata ($\Delta T \text{ avg}$) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi cerobong dengan pepadatan sampah	93
Gambar 122 Perbandingan beda tegangan (ΔV) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi cerobong dengan pepadatan sampah...	94
Gambar 123 Perbandingan panas yang diserap (Q_H) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi cerobong dengan pepadatan sampah.....	95
Gambar 124 Perbandingan panas yang dilepas (q_L) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi cerobong dengan pepadatan sampah...	95
Gambar 125 Perbandingan daya keluaran (P) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi cerobong dengan pepadatan sampah...	96
Gambar 126 Perbandingan efisiensi (η) pada 4 variasi modul terhadap 3 variasi cerobong dengan pepadatan sampah.....	97



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Tabel sifat udara pada tekanan 1 atmosfer	102
Lampiran 2 Tabel konduktivitas termal bahan pada temperatur ruangan	103
Lampiran 3 Tabel koefisien perpindahan panas konveksi.....	104
Lampiran 4 Gambar proses pengambilan data	105
Lampiran 5 Data penelitian.....	109



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
α	Koefisien Seebeck	V/°C
ΔV	Perbedaan tegangan	V
ΔT	Perbedaan temperatur	°C
T_h	Temperatur sisi panas modul	°C
T_c	Temperatur sisi dingin modul	°C
I	Arus listrik	A
R_I	Beban internal modul	Ω
R_L	Beban eksternal modul	Ω
T_a	Temperatur lingkungan	°C
Q_h	Laju perpindahan panas	W
k	konduktifitas termal bahan	W/m.°C
P	Daya yang dihasilkan	W
η	Efisiensi	%



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Energi tidak lepas dari kehidupan manusia dalam menjalankan aktifitasnya sehari-hari. Kebutuhan akan energi semakin meningkat seiring dengan berkembangnya teknologi. Akan tetapi, tidak semua sumber energi yang dimanfaatkan dapat diperbaharui sehingga suatu saat sumber energi itu akan habis, seperti halnya energi fosil. Energi fosil merupakan energi yang berasal dari sumber daya fosil seperti batu bara dan minyak bumi yang terjadi akibat adanya penimbunan fosil selama berjuta tahun lamanya. Sumber energi fosil sewaktu-waktu bisa habis jika dilakukan pemakaian terus dan ironisnya, energi fosil inilah yang paling banyak digunakan [1].

Pengembangan energi alternatif seperti energi angin, sel matahari (solar cell), OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion), panas bumi, aliran sungai, sampah serta sumber-sumber lain yang berasal dari tumbuh-tumbuhan seperti pohon jarak dan energi biogas perlu mendapatkan perhatian yang serius baik dari pemerintah, industri, perguruan tinggi dan masyarakat. Selain pengembangan energi alternatif, perhatian mengenai penghematan energi atau konservasi energi perlu juga mendapat perhatian yang sama karena dengan

mat energi atau meningkatkan efisiensi termal suatu sistem



energi dapat memperpanjang habisnya persediaan bahan bakar yang berasal dari fosil [2].

Dalam rangka mendukung upaya pemerintah dalam mengembangkan sumber energi alternatif, kami berusaha menawarkan salah satu solusi yakni pemanfaatan limbah panas dari insinerator untuk menghasilkan energi listrik. Dengan memanfaatkan teori efek seebeck, limbah panas ini bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan arus listrik. Prinsip kerja dari efek Seebeck yang bekerja pada sistem pembangkit termoelektrik adalah: jika dua buah material logam (umumnya semi konduktor) yang tersambung berada di lingkungan dengan temperatur yang berbeda maka di material tersebut akan mengalir arus listrik atau gaya gerak listrik [3]. Apabila efek ini diterapkan pada incinerator dengan temperatur limbah panas yang mempunyai interval 200-1500 °C maka perbedaan temperatur antara keduanya dapat dimanfaatkan untuk memperoleh gaya gerak listrik yang selanjutnya disimpan di dalam sebuah baterai. Energi listrik yang dibangkitkan tersebut dapat dimanfaatkan untuk cadangan listrik rumah tangga atau menyuplay listrik ke sistem insinerator tersebut.

Berdasarkan uraian tersebut diatas penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul “ Pemanfaatan Panas Cerobong Insinerator Sebagai Energi Listrik Berbasis Generator Termoelektrik”.

Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka dirumuskan masalah sebagai berikut:



1. Bagaimana karakteristik temperatur yang ada pada cerobong insinerator?
2. Berapa besar energi panas pada cerobong insinerator yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik menggunakan generator termoelektrik?
3. Bagaimana kinerja dari generator termoelektrik pada cerobong insinerator tersebut?

C. Tujuan penelitian

Tujuan penelitian yang akan dicapai pada penelitian ini berdasarkan rumusan masalah diatas adalah:

1. Menentukan karakteristik temperatur pada cerobong insinerator.
2. Menentukan besar energi panas dari cerobong insinerator yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik dengan menggunakan generator termoelektrik
3. Menentukan kinerja dari generator termoelektrik pada cerobong insinerator.

D. Batasan masalah

Pada penulisan ini ada beberapa masalah yang dibatasi agar tidak menyimpang dari apa yang diteliti. Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada energi panas dari cerobong insinerator yang digunakan untuk membakar sampah plastik (botol air mineral).



2. Konverter dari energi panas ke energi listrik menggunakan generator termoelektrik.
3. Insinerator yang digunakan adalah tipe insinerator mini (3 Kg) sampah
4. Dimensi peralatan uji disesuaikan dengan yang ada di pasaran.
5. Tidak membahas rancang bangun incinerator.

E. Manfaat penelitian

Penelitian ini untuk memberikan informasi mengenai unjuk kerja dari generator termoelektrik dalam memanfaatkan energi panas dari insinerator yang dikonversi menjadi energi listrik dan juga sebagai sumber informasi pengetahuan untuk pengembangan energi alternatif.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Insinerator

Insinerator adalah tungku pembakaran untuk mengolah limbah padat yang mengkonversi materi padat (sampah) menjadi materi gas, dan abu. Insinerasi merupakan proses pengolahan limbah padat dengan cara pembakaran pada temperatur lebih dari 800°C untuk mereduksi sampah mudah terbakar (combustible) yang sudah tidak dapat didaur ulang lagi, membunuh bakteri, virus, dan kimia toksik. Insinerasi pada dasarnya ialah proses oksidasi bahan-bahan organik menjadi bahan anorganik. Prosesnya sendiri merupakan reaksi oksidasi cepat antara bahan organik dengan oksigen. Prinsip kerja incinerator berlangsung melalui 3 tahap yaitu:

1. Membuat air dalam sampah menjadi uap air, sampah menjadi kering dan siap terbakar.
2. Terjadi proses pirolisis, yaitu pembakaran tidak sempurna dimana temperatur belum terlalu tinggi.
3. Proses pembakaran sempurna

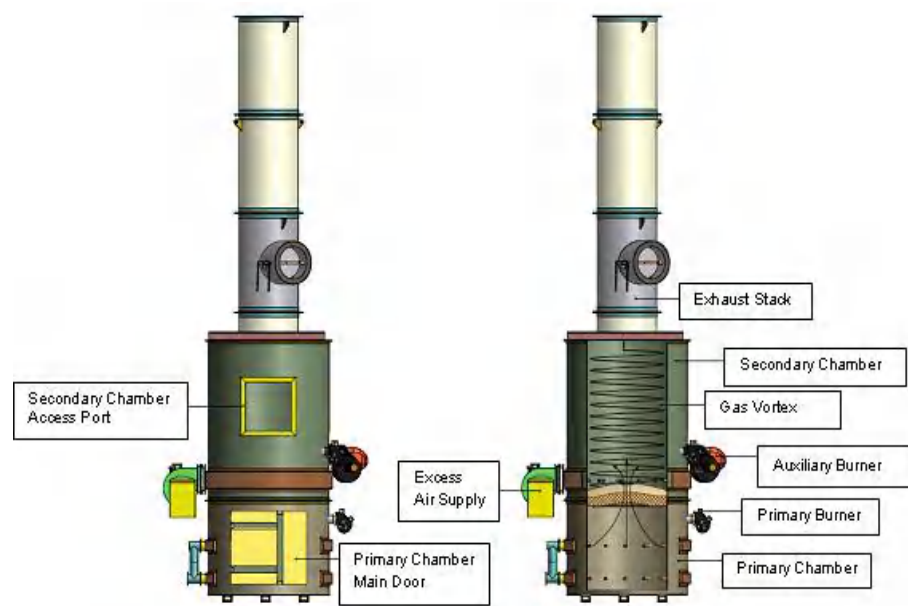
Dengan insinerator tersebut penumpukan sampah dapat diminimalisir karena dapat mengurangi volume sampah 85-95 % dan mengurangi massa padat sampah 70-80 % sebelum diangkut ke Tempat Pembuangan Akhir [4].

Insinerator adalah alat yang digunakan untuk proses pembakaran yang berfungsi untuk merubah bentuk sampah menjadi lebih kecil



dan praktis serta menghasilkan sisa pembakaran yang sterill sehingga dapat dibuang langsung ke tanah. Energi panas hasil pembakaran dalam insinerator dapat digunakan sebagai energi alternative bagi proses lain seperti pemanasan atau pengeringan dan energi listrik [4].

Berdasarkan metode penyuplaiannya, insinerator diklasifikasikan menjadi dua tipe, yaitu insinerator tipe *kontinyu* dan tipe *batch*. Pada insinerator tipe *kontinyu*, sampah dimasukkan secara terus-menerus dengan debit tetap, sedangkan tipe *batch*, sampah dimasukkan sampai mencapai batas maksimum kemudian dibakar secara bersamaan di dalam ruang bakar [5].

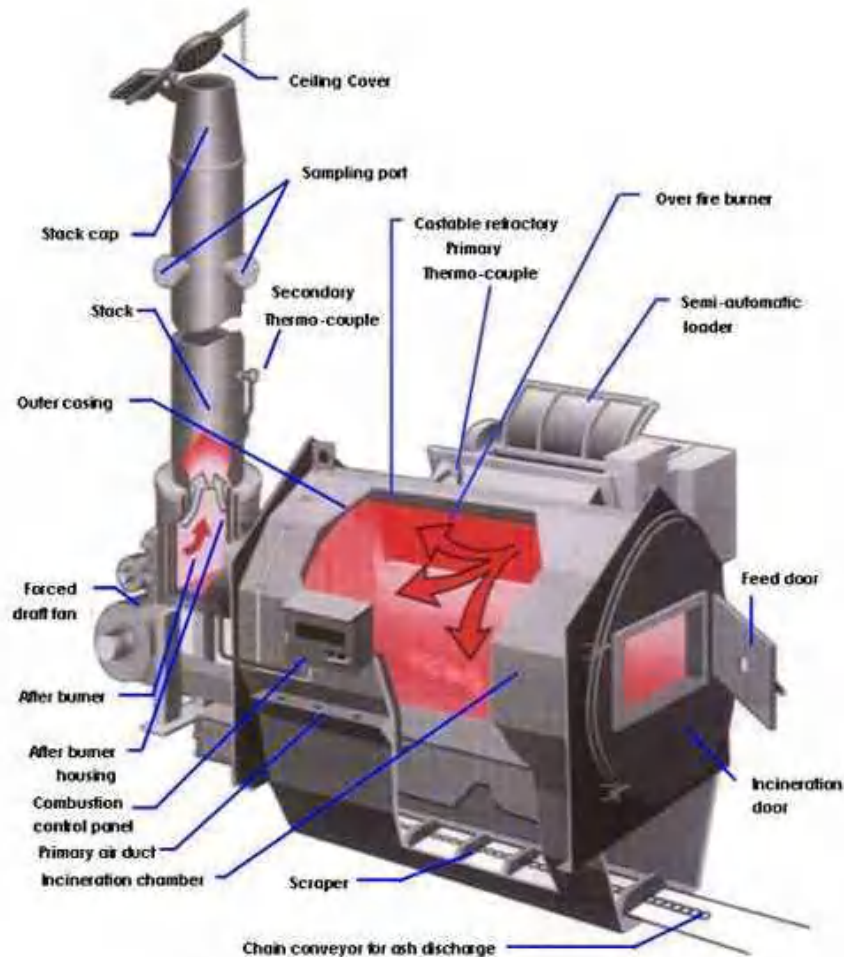


Gambar 2.1 Insinerator tipe *batch* [5].

Teknologi insinerator ini adalah salah satu alat pemusnah sampah berdasarkan pembakaran pada suhu tinggi dan secara aman bagi lingkungan sehingga pengoperasiannya pun mudah, karena keluaran emisi yang dihasilkan berwawasan



lingkungan dan dapat memenuhi persyaratan dari Kementerian Lingkungan Hidup sesuai dengan Kep.Men LH No.13/ MENLH/3/1995 [6].



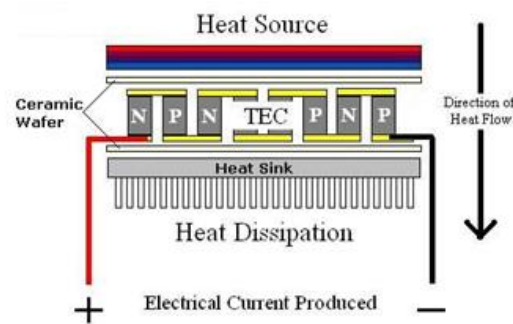
Gambar 2.2 Insinerator tipe kontinyu [5].

B. Generator Termoelektrik (TEG)

Generator termoelektrik (TEG) adalah suatu pembangkit listrik didasarkan pada efek Seebeck, yang pertama kali ditemukan 821 oleh Thomas Johann Seebeck. Prinsip kerja dari efek



Seebeck yang bekerja pada sistem pembangkit termoelektrik adalah: jikalau dua buah material logam (umumnya semi konduktor) yang tersambung berada di lingkungan dengan temperatur yang berbeda maka di material tersebut akan mengalir arus listrik atau gaya gerak listrik. Apabila efek ini diterapkan pada insinerator, maka perbedaan temperatur antara cerobong insinerator dan temperatur lingkungan dapat dimanfaatkan untuk memperoleh gaya gerak listrik [7].



Gambar 2.3. Struktur generator termoelektrik [7]

Gambar 2.3 menunjukkan struktur generator termoelektrik (TEG) yang terdiri dari suatu susunan elemen tipe-n (material dengan kelebihan elektron) dan tipe-p (material dengan kekurangan elektron). Panas masuk pada satu sisi dan dibuang dari sisi yang lainnya, menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambungan termoelektrik. Besarnya tegangan yang dihasilkan sebanding dengan gradien temperatur [7].

Dalam sebuah penelitian yang mengembangkan *battery charger* berbasis termoelektrik. Sistem yang dikembangkan menghasilkan daya

um sebesar 7,99 Watt. Penelitian tersebut menggunakan kalor panas buang dari tungku api tradisional dan juga dinding



tungku. Generator termoelektrik ini juga telah dikembangkan untuk diaplikasikan pada laptop. Pembangkit tersebut menggunakan panas yang dihasilkan dari gas butan. Daya yang dihasilkan adalah sekitar 13,35 Watt [8]. Penelitian lain yang mengembangkan dan menguji pembangkit termoelektrik pada tungku api tradisional di Libanon dengan menggunakan konveksi bebas pada sisi termoelektrik yang menghasilkan daya sebesar 4,2 Watt [9].

Ada beberapa kelebihan dari penggunaan generator termoelektrik (TEG) sebagai sarana konversi panas menjadi listrik, antara lain aman terhadap lingkungan, sederhana, berukuran kecil, sangat ringan, tidak bersuara dan tidak memerlukan perawatan karena tidak ada bagian yang bergerak. Disamping kelebihan tersebut teknologi ini juga memiliki kekurangan, yaitu efisiensinya yang rendah. Meskipun demikian apabila sumber energi untuk mengaktifkan teknologi ini didapatkan dari sumber panas yang tersedia secara gratis, maka permasalahan efisiensi yang rendah tidak menjadi faktor penghalang utama untuk penerapannya. Disamping itu beberapa langkah untuk menaikkan efisiensinya yaitu mengoptimalkan komponen-komponen pada generator termoelektrik, meningkatkan kualitas manufaktur dan perancangan unjuk kerjanya yang lebih baik dengan pengembangan material termoelektrik yang digunakan [10].

Nilai efisiensi modul termoelektrik dapat ditingkatkan dengan

panas didisipasi diatas sisi dingin modul, seperti penggunaan *fan*, *water jacket* atau hanya dengan memberikan



temperatur lingkungan diatas sisi dingin modul untuk menjaga perbedaan temperatur dengan sisi panasnya. Penggunaan *heatsink* untuk membantu meningkatkan pelepasan kalor pada sisi dingin sehingga meningkatkan efisiensi dari modul tersebut. Potensi pembangkitan daya dari modul termoelektrik tunggal akan berbeda-beda bergantung pada ukuran, konstruksi dan perbedaan temperaturnya. Perbedaan temperatur yang makin besar antara sisi panas dan sisi dingin modul akan menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar. Modul-modul termoelektrik dapat juga disambungkan bersama baik secara seri ataupun paralel seperti baterai untuk menghasilkan tegangan atau arus listrik. Tiap modul mampu menghasilkan tegangan rata-rata 1-2 V DC dan bahkan sampai 5 V DC bergantung pada variasi beda temperaturnya, tetapi umumnya satu modul termoelektrik menghasilkan 1,5-2 V DC [11].

Dalam menganalisis kinerja modul termoelektrik, koefisien Seebeck yang menggambarkan tegangan (gaya gerak listrik) timbul karena perbedaan suhu menjadi sangat penting. Koefisien Seebeck dapat dinyatakan oleh persamaan berikut [12-13]:

$$\alpha = \frac{\Delta V}{(T_h - T_c)} \quad (2.1)$$

di mana:

ΔV = Beda tegangan (V)

α = koefisien Seebeck antara dua bahan semikonduktor, P dan N (V/ °C)

T_h = temperatur sisi panas modul (°C)

T_c = temperatur sisi dingin modul (°C)



Sementara arus listrik yang dihasilkan diberikan oleh persamaan berikut

[14]:

$$I = \frac{\alpha \Delta T}{R_i + R_L} = \frac{\alpha (T_h - T_c)}{R_i + R_L} \quad (2.2)$$

di mana:

I = Arus listrik yang mengalir pada rangkaian (A)

R_i = Tahanan internal modul termoelektrik (Ω)

R_L = Tahanan eksternal (Ω)

$$\Delta T = T_h - T_c$$

Panas yang diserap (Q_H) dari sumber panas pada permukaan sisi panas (T_h) ke permukaan sisi dingin (T_c) adalah sebagai berikut [9]:

$$Q_H = (\alpha I T_h) + K (T_h - T_c) \quad (2.3)$$

Di mana:

$$K = \frac{k A}{L}$$

k = konduktivitas termal modul TEG, 0,9977 W/m. $^{\circ}$ C

A = Luas penampang yang dilalui energi panas (m^2)

L = Tebal medium yang dilalui energi panas (m)

Daya keluaran (P) yang dihasilkan untuk melawan beban eksternal [9] dan efisiensi (η) generator termoelektrik adalah sebagai berikut [13]:

$$P = I^2 \cdot R_L \quad (2.4)$$

$$\eta = \frac{P}{Q_H} \quad (2.5)$$

