
Jurnal ***Rekayasa Elektrika***

VOLUME 11 NOMOR 5

DESEMBER 2015

Potensi Energi Listrik pada Gas Buang Sepeda Motor

163-168

Melda Latif, Nuri Hayati, dan Uyung Gatot S. Dinata

JRE	Vol. 11	No. 5	Hal 157-188	Banda Aceh, Desember 2015	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620x
-----	---------	-------	-------------	------------------------------	--------------------------------------

Potensi Energi Listrik pada Gas Buang Sepeda Motor

Melda Latif¹, Nuri Hayati², dan Uyung Gatot S. Dinata¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

Kampus Limau Manis, Padang 25163

e-mail: melda_latif@ft.unand.ac.id

Abstrak—Sumber energi fosil semakin menipis akibat banyaknya kebutuhan yang menggunakan energi, terutama di sektor industri dan otomotif yang merupakan sektor pengguna energi terbanyak sekaligus sektor penghasil panas buang tertinggi. Hal tersebut menyebabkan banyaknya pengembangan sumber energi alternatif, terutama di bidang pemanfaatan energi panas. Penelitian ini memanfaatkan energi panas buang knalpot sepeda motor menjadi energi listrik dengan menggunakan *Thermo Electric Generator* (TEG). Dengan menggunakan prinsip *thermocouple* yaitu adanya perbedaan suhu dari sisi panas dan sisi dingin TEG, maka tegangan dapat dihasilkan. Pengujian dilakukan dengan tiga titik uji yaitu di kepala, badan dan mulut knalpot. Tegangan output maksimum yang dihasilkan di kepala knalpot lebih besar dibanding di badan dan mulut knalpot. Ini disebabkan karena perubahan suhu di kepala knalpot lebih besar dibanding posisi lain. Di kepala knalpot, tegangan output maksimum yang dihasilkan 1 modul, 2 modul dan 3 modul TEG berturut-turut adalah 1,26 V, 2,27 V dan 3,43 V.

Kata kunci: *Thermo Electric Generator, Panas buang, knalpot sepeda motor*

Abstract— The fossil energy sources dwindling due to the many needs, especially in industrial and automotive sectors which are the largest energy users and the highest waste heat-producing. This causes many alternative energy sources are developing, included thermal energy utilization. The research utilized waste heat energy from motorcycle exhaust pipe into electrical energy with using *Thermo Electric Generator* (TEG). By using the *thermocouple* principle, difference of temperature between hot and cold side of TEG resulted voltage. Three points of testing are on head, body and mouth of the exhaust pipe. The maximum output voltage is generated in the head is greater than the other positions. At the head of exhaust, the maximum output voltage which is generated by 1 modul, 2 modules and 3 modules of TEG at each other is 1.26 V, 2.27 V and 3.43 V respectively.

Keywords: *Thermo Electric Generator, Waste heat, motorcycle exhaust pipe*

I. PENDAHULUAN

Era globalisasi yang semakin dekat menyebabkan teknologi di dunia terkhususnya di Indonesia terus mengalami perkembangan dalam segala aspek. Terlihat dari munculnya berbagai industri berskala besar, dan terus berkembangnya sarana transportasi. Seiring dengan perkembangan tersebut, di sisi lain kebutuhan akan energi juga ikut meningkat. Tidak dapat kita pungkiri bahwa kita masih sangat tergantung dengan sumber energi fosil, dimana sektor industri dan otomotif merupakan pengguna energi terbanyak sekaligus sektor penghasil panas buang tertinggi dengan efisiensi kendaraan bermotor hanya berkisar 35-40% saja. Sisanya terbuang begitu saja ke lingkungan [1].

Saat ini para ahli sedang mengembangkan penggunaan panas buang sebagai pembangkit listrik alternatif yang dikenal dengan *thermoelectric* generator. *Thermoelectric* generator menggunakan prinsip *thermoelectric* yang memanfaatkan efek Seebeck. Efek Seebeck menggambarkan bahwa jika dua buah material logam yang tersambung berada di lingkungan dengan dua temperatur

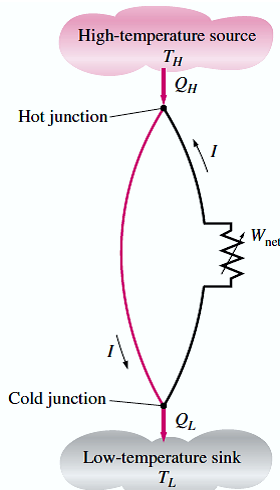
yang berbeda akan menimbulkan beda potensial. Konsep ini dapat diterapkan pada kendaraan bermotor dengan memanfaatkan panas yang terbuang dari knalpot. Walaupun termoelektrik generator hanya berkapasitas mikro, namun pemanfaatan yang maksimal dalam jangka panjang dapat membantu menghemat penggunaan listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik berkapasitas makro.

II. STUDI PUSTAKA

A. Prinsip Dasar *Thermo Electric Generator*

Efek *thermoelectric* adalah konversi langsung dari perbedaan temperatur menjadi tegangan listrik dan sebaliknya. Efek *thermoelectric* ini meliputi tiga efek secara terpisah yaitu *Seebeck Effect*, *Peltier Effect*, dan *Thomson Effect* [2].

Menurut *Seebeck*, sebuah tegangan akan timbul dalam rangkaian dari dua material yang berbeda jika kedua simpangan dijaga pada temperatur yang berbeda. Dapat kita lihat pada Gambar 1. Arus mengalir ketika terbentuk rangkaian tertutup.



Gambar 1. Ilustrasi rangkaian termoelektrik [3]

Energi listrik yang dihasilkan dari Gambar 1 adalah perbedaan energi panas dan dingin dengan persamaan $W_e = Q_H - Q_L$. Aliran daya panas termoelektrik merupakan suatu aliran daya panas tertutup yang bekerja seperti aliran fluida, sehingga efisiensi thermal dari termoelektrik bergantung di antara temperatur tinggi atau temperatur panas (T_H) dan temperaur rendah atau temperature dingin (T_L).

Persamaan 1 adalah persamaan tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian termoelektrik. Koefisien Seebeck untuk logam relatif kecil, sehingga untuk perkembangan *manufacture*, bahan logam digantikan dengan bahan semikonduktor. Contoh bahan semikonduktor adalah germanium-silikon yang mempunyai koefisien $830 \mu\text{V/K}$, lebih besar dari logam besi yang hanya mempunyai koefisien $60,6 \mu\text{V/K}$.

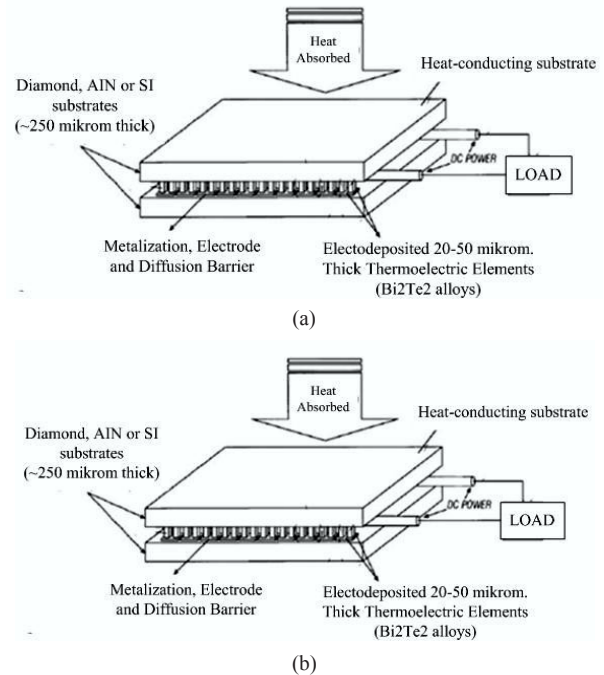
$$V = \int_{T_1}^{T_2} [\alpha_B(T) - \alpha_A(T)] dT. \quad (1)$$

Efek Peltier menjelaskan perbedaan temperatur yang dihasilkan oleh tegangan dan merupakan kebalikan dari efek Seebeck [4]. Sedangkan berdasarkan efek Thomson, pada banyak material, koefisien Seebeck yang dihasilkan tidak konstan terhadap temperatur. Oleh karena itu kita dapat mengasosiasikan gradien dari temperatur sebagai gradien dari koefisien Seebeck [2]

Pembangkitan energi listrik dengan memanfaatkan efek termoelektrik dikenal dengan nama *Thermoelectric Generator*. *Thermoelectric Generator* menggunakan prinsip dasar efek Seebeck. Dengan memanfaatkan efek tersebut, potensi panas yang terbuang di bumi ini dapat dimanfaatkan dengan lebih maksimal. Struktur dari modul thermoelectric generator dapat dilihat pada Gambar 2(a) dan Gambar 2(b) [5].

B. Sistem Pembuangan Panas Pada Sepeda Motor

Knalpot merupakan saluran pembuangan gas sisa pembakaran yang digunakan kendaraan bermotor. Gas buang yang berasal dari pembakaran dalam motor bakar



Gambar 2. Diagram skematik Thermoelectric Generator [4]

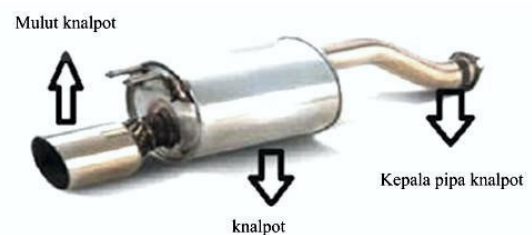
akan dengan cepat menuju kepala pipa knalpot yang kemudian akan menuju ke dalam muffler/knalpot. Di dalam knalpot ini, gas buang kembali berekspansi seiring dengan menjalarnya gelombang tekanan tersebut ke seluruh bagian dalam knalpot sesuai rancangannya dan berakhir di mulut knalpot.

Pada keseluruhan knalpot terdapat pebedaan temperatur di sepanjang saluran pembuangan. Ini disebabkan karena perbedaan luas penampang knalpot, permukaan knalpot, dan bahan pembentuk knalpot seperti dapat dilihat pada Gambar 3..

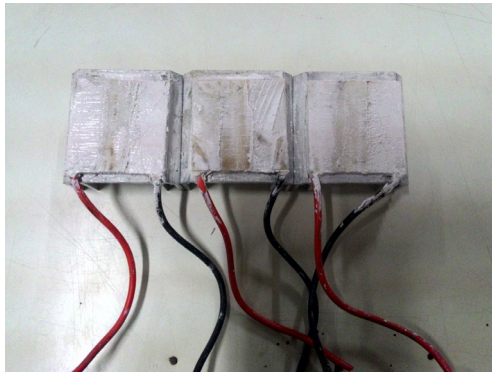
III. METODE

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan melakukan pengujian di laboratorium dengan menggunakan sepeda motor statis yang dihidupkan dengan putaran mesin konstan sebesar 3000 rpm. Pada penelitian ini ada tiga hal penting yang perlu diperhatikan, yaitu bagian *thermo electric generator*, bagian pendingin dan bagian pemanas.

Thermoelectric generator yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe TEG127-40A ditunjukkan pada Gambar 4..



Gambar 3. Gambaran umum knalpot sepeda motor [6]



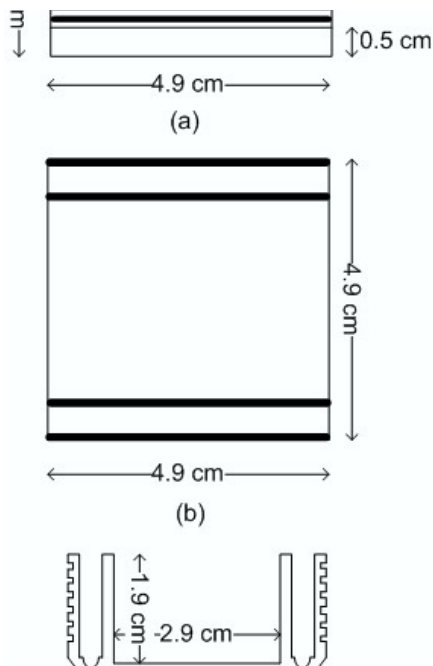
Gambar 4. TEG 127-40A

Tabel 1. Spesifikasi TEG127-40A

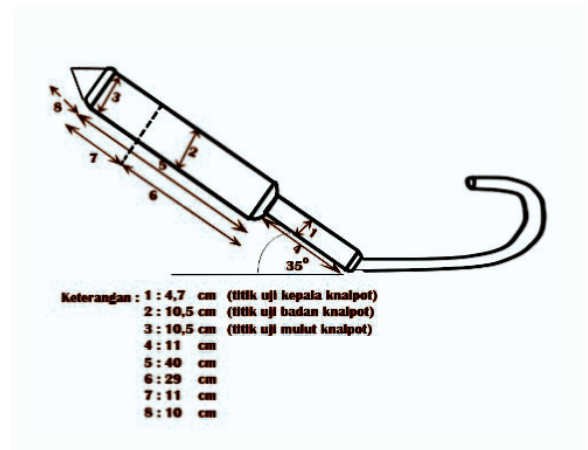
P – N Couples	127
I_{max} (A)	10
V_{max} (V)	15,2
$Q_{c,max}$ $\Delta T=0$ (W)	94,2
DTmax Qc = 0 (C)	67
Th = 27 C	
Dimensions (mm) L x W x H	40x40x3,3
R (Ω)	1,16

Jenis semikonduktor yang digunakan pada TEG 127-40A adalah Bismuth (Bi) dan Telurium (Te) atau biasa disebut *Bismuth Telluride*. Spesifikasi TEG 127-40A dapat dilihat pada Tabel 1.

Sistem pendinginan yang digunakan adalah *heatsink*. Penggunaan *heatsink* bertujuan untuk menyerap panas dari



Gambar 5. Skema Heatsink (a). Tampak samping; (b). Tampak atas (c). Tampak depan

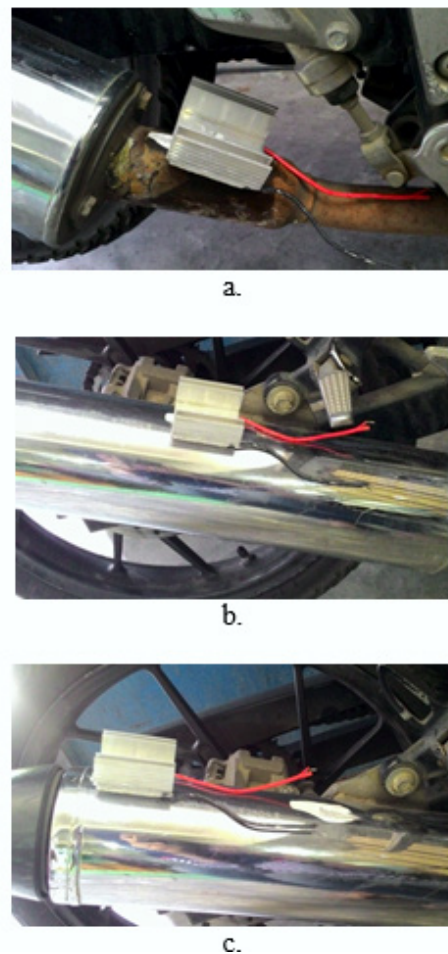


Gambar 6. Skema knalpot sepeda motor

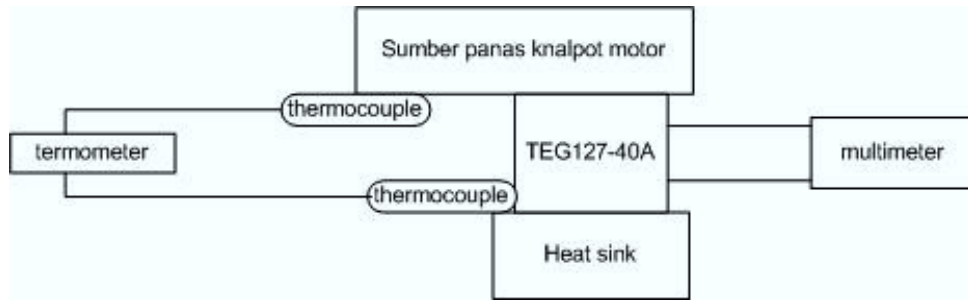
sisi dingin TEG127-40A. *Heatsink* terbuat dari aluminium dan skemanya dapat dilihat pada Gambar 5.

Sumber energi panas berasal dari panas buang knalpot sepeda motor. Pengujian dilakukan di tiga titik yaitu pada kepala knalpot, badan knalpot, dan mulut knalpot.

Gambar 7 memperlihatkan cara penempatan satu modul TEG dan heatsink di 3 titik pengujian. Satu sisi TEG ditempatkan di heatsink dan sisi yang lain di bagian panas knalpot.



Gambar 7. Tiga titik pengujian, a. di kepala knalpot; b. di badan knalpot; c. di mulut knalpot.



Gambar 8. Diagram pengujian dan pengukuran satu modul TEG.

Diagram pemasangan alat pada pengujian untuk satu modul dapat dilihat pada Gambar 8. Pengukuran yang dilakukan pada TEG127-40A ada dua macam yaitu pengukuran tegangan dan pengukuran temperatur. Cara pengukuran tegangan pada TEG127-40A dilakukan pada saat modul tersebut mendapatkan panas dari knalpot menggunakan multimeter. Pengukuran temperatur dilakukan pada sisi panas dan sisi dingin TEG127-40A. Pengukuran tidak dapat dilakukan pada sisi panas dan sisi dingin TEG127-40A karena akan menimbulkan rongga yang membuat proses perambatan panas kurang maksimal, sehingga pengukuran sisi panas dilakukan pada permukaan sumber panas dan sisi dingin dilakukan pada permukaan *heatsink*. Pengujian dilakukan selama 20 menit, dengan pencatatan data setiap 2 menit, dimana kondisi putaran motor dijaga konstan sebesar 3000 rpm.

Untuk mengetahui tegangan output, pengujian ini menggunakan 1 sampai 3 modul TEG. Untuk modul yang lebih dari satu, maka modul-modul tersebut dihubungkan secara seri, dimana nilai total tegangan output berdasarkan hukum Kirchoff yaitu tegangan output sama dengan penjumlahan tegangan seri dari setiap modul.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan berdasarkan posisi titik uji dan variasi jumlah modul TEG selama 20 menit. Kondisi sepeda motor adalah statis dan pengujian dilakukan saat putaran motor sudah stabil yaitu sebesar 3000 rpm. Semakin bertambah waktu, maka panas yang dihasilkan pada sepeda motor juga akan semakin bertambah.

A. Titik Uji di Kepala Knalpot

Tabel 2 memperlihatkan perubahan suhu dan tegangan output menggunakan 1, 2 dan 3 modul TEG di kepala knalpot sepeda motor. Perubahan suhu dari sisi panas dan dingin pada 1, 2 dan 3 TEG mengalami kenaikan pada 5 menit pertama, yaitu dari 2°, 2°, dan 1° sampai mencapai nilai maksimum 35°, 36° dan 37°C.

Kenaikan perubahan suhu, menyebabkan tegangan output yang dihasilkan juga mengalami kenaikan 1,26 V untuk satu modul TEG; 2,27 V untuk dua modul TEG dan 3,43 V untuk tiga modul TEG. Bila dikaitkan dengan hukum Kirchoff, terlihat bahwa nilai tegangan output tiga modul mendekati penjumlahan tegangan dari 3 tegangan

output satu modul.

Waktu setelah 5-20 menit, ΔT mengalami penurunan secara bertahap namun tidak signifikan, hingga ΔT bernilai 29° untuk 1 modul, 27° untuk 2 modul dan 29° untuk 3 modul dengan masing-masing tegangan 0,56 V, 1,152 V dan 1,719 V. Ini akan terus mengalami penurunan sampai batas maksimum heatsink dapat melepaskan panas.

B. Titik Uji di Badan Knalpot.

Tabel 3 memperlihatkan data uji di badan knalpot untuk 1 modul, 2 modul dan 3 modul TEG. Dengan bertambahnya waktu, perubahan suhu di antara sisi panas dan sisi dingin bertambah naik, sehingga tegangan output yang dihasilkan juga semakin naik.

Tabel 2. Data uji menggunakan 1-3 modul TEG di kepala knalpot

t (mnt)	ΔT (°C)			V (Volt)		
	1 TEG	2 TEG	3 TEG	4 TEG	5 TEG	6 TEG
0	2	2	1	0.002	0.005	0.008
1	10	9	9	0.31	0.67	0.785
2	19	20	22	0.9	1.63	2.42
3	24	27	28	1.05	1.997	3.081
4	28	30	31	1.1	2.066	3.153
5	35	36	37	1.26	2.27	3.43
6	34	35	35	1.12	1.97	3.184
7	34	34	34	0.9	1.752	2.882
8	34	33	34	0.84	1.621	2.6
9	33	33	33	0.73	1.501	2.306
10	33	32	33	0.71	1.412	2.16
11	33	32	33	0.69	1.329	2.005
12	32	31	32	0.687	1.216	1.877
13	32	31	32	0.671	1.214	1.828
14	31	31	31	0.66	1.208	1.784
15	31	30	31	0.61	1.204	1.763
16	31	30	31	0.59	1.202	1.743
17	30	29	31	0.577	1.184	1.731
18	30	28	30	0.575	1.152	1.725
19	30	27	30	0.568	1.157	1.721
20	29	27	29	0.56	1.152	1.719

Tabel 3. Data uji menggunakan 1-3 modul TEG di badan knalpot

t (mnt)	ΔT ($^{\circ}C$)			V (Volt)		
	1 TEG	2 TEG	3 TEG	4 TEG	5 TEG	6 TEG
0	1	1	1	0.01	0.02	0.028
1	4	5	3	0.055	0.11	0.17
2	7	8	5	0.117	0.19	0.289
3	9	10	7	0.15	0.23	0.38
4	12	12	9	0.17	0.287	0.477
5	14	14	11	0.188	0.325	0.549
6	16	16	16	0.191	0.372	0.572
7	18	17	17	0.201	0.391	0.601
8	20	18	17	0.232	0.42	0.637
9	20	18	18	0.251	0.48	0.712
10	21	19	18	0.258	0.511	0.767
11	21	19	19	0.266	0.551	0.797
12	22	20	19	0.288	0.582	0.807
13	22	20	20	0.301	0.601	0.822
14	23	20	20	0.322	0.623	0.831
15	23	21	21	0.335	0.654	0.852
16	24	22	21	0.347	0.697	0.864
17	24	22	22	0.349	0.724	0.871
18	25	23	23	0.353	0.738	0.883
19	26	24	23	0.358	0.755	0.895
20	27	25	25	0.361	0.768	0.923

Tabel 4. Data uji menggunakan 1-3 modul TEG di mulut knalpot

t (mnt)	ΔT ($^{\circ}C$)			V (Volt)		
	1 TEG	2 TEG	3 TEG	4 TEG	5 TEG	6 TEG
0	2	2	2	0.01	0.02	0.02
1	4	3	4	0.037	0.084	0.128
2	5	5	7	0.082	0.16	0.245
3	8	9	11	0.118	0.211	0.358
4	10	12	13	0.148	0.284	0.446
5	12	12	14	0.151	0.324	0.502
6	12	13	14	0.162	0.354	0.562
7	13	14	16	0.175	0.374	0.591
8	15	14	17	0.192	0.391	0.612
9	16	15	19	0.215	0.417	0.705
10	16	16	20	0.235	0.474	0.752
11	17	17	20	0.256	0.513	0.77
12	18	17	21	0.28	0.528	0.793
13	18	18	21	0.3	0.533	0.804
14	19	19	22	0.31	0.538	0.807
15	19	20	22	0.328	0.54	0.81
16	20	20	23	0.332	0.545	0.815
17	22	21	24	0.341	0.548	0.821
18	23	21	24	0.348	0.55	0.824
19	23	22	25	0.351	0.58	0.829
20	24	23	25	0.357	0.6	0.831

Kenaikan perubahan suhu adalah 1° setiap kenaikan 1 menit waktu. Tegangan output maksimum yang dihasilkan untuk tiga modul TEG (0,923 V) hampir sama nilainya dengan tiga kali tegangan output maksimum di satu TEG (0,361 V). Ini sesuai dengan hukum Kirchoff.

C. Titik Uji di Mulut Knalpot.

Data uji perubahan suhu dan tegangan output yang dihasilkan oleh 1 modul, 2 modul dan 3 modul TEG di mulut knalpot dapat dilihat di Tabel 4.

Perubahan suhu di sisi panas dan sisi dingin TEG di titik uji mulut knalpot mengalami kenaikan seiring kenaikan waktu. Dengan naiknya perubahan suhu, maka tegangan output yang dihasilkan juga meningkat. Di posisi ini, tegangan output maksimum untuk 3 modul TEG adalah 0.831 V, untuk dua modul 0,6 V dan untuk satu modul TEG adalah 0,357 V. Ini sesuai dengan hukum Kirchoff.

V. KESIMPULAN

Sesuai dengan Efek Seebeck, maka dapat disimpulkan bahwa tegangan output yang dihasilkan oleh TEG yang ditempatkan di kepala knalpot lebih besar dibandingkan di badan knalpot dan mulut knalpot. Ini disebabkan karena perubahan suhu sisi panas dan dingin ΔT di posisi kepala

knalpot lebih besar dibanding posisi lain dan ini hanya terjadi selama 5 menit pertama, karena aliran panas akan terus bergerak ke badan dan mulut knalpot, sehingga bertambahnya waktu, maka perubahan suhu di posisi kepala knalpot tidak naik secara signifikan. Di kepala knalpot, tegangan output maksimum yang dihasilkan 1 modul, 2 modul dan 3 modul TEG berturut-turut adalah 1,26 V, 2,27 V dan 3,43 V.

Tegangan output maksimum menggunakan 3 modul, nilainya sama dengan 3 kali tegangan output 1 modul TEG. Ini sesuai dengan hukum Kirchoff.

Karena bentuk knalpot adalah silindris, sedangkan bentuk TEG adalah flat, maka hanya 1/3 badan TEG yang bisa tersambung ke knalpot, sehingga pemanfaatan TEG belum optimal. Untuk penelitian berikutnya, sebaiknya dicari sumber panas yang berbentuk sesuai dengan bentuk TEG. Supaya tegangan output yang dihasilkan semakin optimal, maka beberapa TEG dapat disusun secara seri, sampai semua sumber panas dapat terhubung ke beberapa TEG tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai dari dana penelitian fakultas Teknik Universitas Andalas dengan nomor kontrak 002/UN.16.09.D/PL/2015.

REFERENSI

- [1] E.F. Thacher, B.T. Helenbrook M.A Karri, "Exhaust energy conversion by thermoelectric generator. Two case studies,"Elsevier. November 2010.
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_effect. Diakses pada April 2015.
- [3] Yunus A Cengel at all, Thermodynamics, An engineering Approach, fifth edition, McGraw-Hill, 2006
- [4] http://www.efunda.com/designstandards/sensors/thermocouples/thmcp1e_theory.cfm. Diakses pada April 2015.
- [5] Ismail, Basel I. Wael H. Ahmed. Thermoelectric Power Generation Using Waste-Heat Energy as Alternative Green Technology. Recent Patents on Electrical Engineering. 2009.
- [6] Putra, Martinus. Efek Perubahan Aliran Gas Buang dalam Knalpot untuk Diterapkan pada Mesin Kapal Klotok 10 HP. Universitas Indonesia. Depok.
- [7] Wong, Kin Yip. "Thermoelectric Materials and Devices – recovery Waste Heat from Vehicles". Department of Physics and Material Science – City University of Hong Kong. Maret 2011.
- [8] Hendricks, Terry dan William T.Choate. "Engineering Scoping Study of Thermoelectric Generator System for Industrial Waste Heat Recovery". Industrial Technologies Program – U.S. Departement of Energy. November 2006.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

