

Rancang Bangun Kontruksi TEG (*Thermoelectric Generator*) pada Knalpot Sepeda Motor untuk Pembangkitan Listrik Mandiri

Sugiyanto, Muh Tarum N Umam, Endra Suciawan

Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, UGM
(sugiyanto.ugm@gmail.com., sugiyanto_t@ugm.ac.id)

Abstract

The utilization of waste heat from exhaust gas in motorcycle is a typical application of electricity generation using thermoelectric generator (TEG) technology. The construction of TEG that mounted at outer surface of motorcycle exhaust pipe will depend on quality of three main components: the support structure, the thermoelectric module, and the heat dissipation system. The components will influence heat conversion to electricity so those are must be well designed to required heat transfer process from the surface of exhaust pipe to hot side and cold side of TEG.

The methods that used are designing good construction of TEG with Aluminum material that will to be installed properly on surface of motorcycle exhaust pipe without disturbing the heat transfer from the surface to the both side of TEG. This design allows the TEG can be assembled easily without damaging the TEG module itself too. Then before testing on motorcycle, the construction design run testing by the heat transfer software to observe how much heat that generate from the surface and transferred to the both side of the TEG. TEG module used is the HZ-14 which has dimensions of 6.25 cm x 6.25 cm and the selected motorcycle is a 150 cc motorcycle sport type.

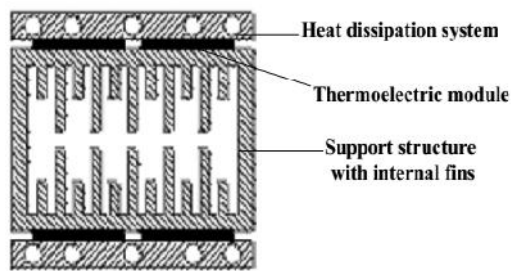
The result of TEG construction consists of two main parts, the holder of TEG modules for HZ -14 and a heat sink that adapted to the shape of exhaust pipe motorcycle. The heat sink is also related to the cold sink is made from aluminum fins placed on the cold side of the TEG. The test results generated electrical voltage output indicates that the voltage will begin to be raised shortly after the motorcycle is turned on ,that is about 10 seconds shortly after the motorcycle turned on the voltage generated is 11 mV at idle engine speed range from 1800 to 2000 rpm. The voltage will show stability at 664-665 mV after 15 minutes the motorcycle turned on at engine speed of 4500 rpm .

Keywords: *heat sinks, motorcycle exhaust pipe, energy conversion, thermoelectric generators, power generation.*

1. Pendahuluan

Perkembangan sepeda motor di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat. Tercatat dari data Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia (AISI) bahwa sampai pertengahan tahun 2014 saja sudah diproduksi sepeda motor sebanyak lebih dari 4,7 juta unit, dan total populasi sepeda motor di Indonesia berdasar data Badan Pusat Statistik (BPS) sudah mencapai lebih dari 68 juta unit. Apabila satu unit motor mengkonsumsi 2 liter maka konsumsi BBM subsidi hanya untuk sepeda motor saja bisa mencapai lebih dari 132 juta liter per hari. Banyaknya populasi sepeda motor tersebut,

terdapat potensi pemanfaatan limbah energinya untuk mengurangi konsumsi BBM tersebut. Seperti halnya mesin *spark ignition* berbahan bakar gasolin lainnya, pada sepeda motor sekitar 30% energi utama terbuang sebagai limbah panas melalui gas buang. Jika sekitar 6% dari panas gas buang ini dikonversi menjadi daya listrik, maka memungkinkan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar sekitar 10% (Vasques dkk., 2002). Salah satu teknologi yang bisa mengkonversi langsung limbah panas gas buang sepeda motor menjadi energi listrik adalah teknologi *Thermoelectric Generator* (TEG).



Gambar 2. Skema generator termoelektrik secara umum (Vazquez dkk., 2002).

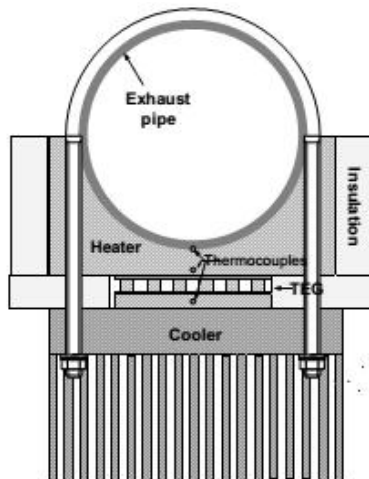
Modul termoelektrik yang digunakan pada awalnya adalah TEC (*Thermoelectric Cooler*) karena sudah banyak diaplikasikan di kehidupan masyarakat, misalnya aplikasi TEC untuk dispenser dan mesin refrigerator. Namun dalam perkembangannya, karena potensi pembangkitan alternatif energi yang semakin berkembang pesat, beberapa produsen kemudian juga memproduksi TEG sekaligus melakukan penelitian aplikasi-aplikasinya. Hi-Z Technology Inc. merupakan perusahaan produsen TEG asal Amerika yang memelopori penelitian aplikasi TEG pada kendaraan bermotor. Diawali pada tahun 1992 perusahaan ini mulai merancang dan mengembangkan TEG yang diaplikasikan pada truk bermesin diesel. Mesin 14 L Cummin NTC 350 dipilih untuk pengujian rancangan 1 kW TEG menggunakan salah satu produknya, HZ-13 yang berbasis material Bi_2Te_3 . Jumlah modul yang digunakan 72 buah, yang dibagi dalam 8 lajur dimana setiap lajur ada 9 modul. *Heat exchanger* sisi panas menggunakan baja karbon yang berhubungan langsung dengan gas buang, sedangkan *heat exchanger* sisi dingin menggunakan aluminium dengan air sebagai fluida pendinginnya. Meskipun hasil yang diperoleh kurang dari separuh rancangannya namun generator daya tinggi untuk menghasilkan daya listrik pada mesin diesel sangat masuk akal untuk diwujudkan (Bass et.al., 1995). Kelanjutan penelitian perusahaan tersebut dilakukan dengan menyempurnakan berbagai hal, salah satunya penggantian modul HZ-13 dengan modul yang telah mengalami perbaikan yaitu HZ-14. Pengujian masih menggunakan mesin 14 L Cummin 350, namun sudah menggunakan beban TEG yang berupa

electronic loading device dan enam bola lampu mobil. Hasilnya menunjukkan bahwa daya listrik yang dibangkitkan bisa lebih dari 900 Watt (Bass et.al., 2001).

Penelitian yang lain masih dilakukan Hi-Z Technology Inc. tetapi sudah berkolaborasi dengan beberapa pihak, yaitu Universitas Clarkson, General Motor, dan Delphi Corporation. Kolaborasi tersebut menghasilkan rancangan berupa *Automobile Exhaust Thermoelectric Generator* (AETEG) yang berisikan modul termoelektrik HZ-20 bermaterial Bi_2Te_3 sejumlah 16 dihubungkan seri. Pendingin mesin juga digunakan sebagai pendingin AETEG sedangkan sisi panasnya menggunakan *compact heat exchanger* bermaterial baja karbon AISI 1018. Dimensi total AETEG ini 330 x 273 x 216 mm dengan berat 39,1 kg, dipasangkan pada pipa gas buang *pick up* General Motors 1999 GMC Sierra berbahan bakar bensin. Pengujian jalan dilakukan dengan kecepatan 48,28 km/jam, 80,47 km/jam dan 112,65 km/jam diperoleh daya keluaran terbesar pada kecepatan 112,65 km/jam yaitu berkisar 255 W (Thacher dkk., 2007).

Pengujian dengan menggunakan mesin jenis lain dilakukan oleh Hsu, dkk (2009), dengan menempatkan delapan modul komersial termoelektrik material Bi_2Te_3 di tengah-tengah pipa gas buang Chrysler Neon 2000 cc. Kontruksi TEG menggunakan aluminium *heat sink* 13 fin sebagai *heat exchanger* sisi panas di laluan gas buang, sedangkan di sisi dinginnya menggunakan *copper heat sink* 44 fin. Hasil pengukuran daya keluaran sistem ini adalah 44,3 W pada beda temperatur 88,3 K (rata-rata sisi temperatur rendahnya 343,7 K). Daya keluaran ini didapatkan pada putaran uji mesin tertinggi yaitu di 3500 rpm.

Aplikasi TEG di mobil ukuran kecil dengan memanfaatkan panas gas buang Toyota Starlet 1300 cc diteliti oleh Hatziktaniotis, dkk (2008). TEG yang dipakai adalah modul TEG Melcor HT9-3-25 bermaterial Bi_2Te_3 . Aluminium semi silindris digunakan sebagai pemanas dan dipasangkan langsung di pipa gas buang (Gambar 3). Udara lingkungan sebagai pendingin dengan menggunakan *aluminium heat sink* 156 sirip berukuran 60mm x 68 mm.



Gambar 3. Kontruksi modul TEG pada Toyota Starlet (Hatziktaniotis dkk., 2008).

Pada kondisi suhu sisi panas berkisar 225°C dan temperatur sisi rendah tidak lebih dari 80°C , dan variasi kecepatan kendaraan 70 sampai 130 km/jam didapatkan tegangan tanpa beban 0,5 V sampai 1,6 V dan daya listrik maksimal yang dibangkitkan kurang lebih 1 W. Dengan mengasumsikan seluruh bagian dari pipa gas buang ini dipasangi TEG maka daya listrik total TEG yang dapat dibangkitkan sebesar 30 W atau 7,1 % daya nominal alternatornya.

BMW group di tahun 2009 telah mengimplementasikan TEG bermaterial Bi_2Te_3 pada BMW 535i dengan hasil daya maksimal yang bisa dibangkitkan 300 W. Dalam *roadmap* BMW group sampai tahun 2018, target daya listrik dari aplikasi teknologi ini 500 W dengan material TEG berbasis PbTe. Selanjutnya mulai tahun 2022 material TEG bebas dari *lead* dengan daya listrik yang bisa dibangkitkan 1000 W (Eder dkk., 2011).

Suhu gas buang sepeda motor lebih rendah dibandingkan kendaraan roda empat atau lebih, untuk itu diawal eksperimen aplikasi teknologi termoelektrik pada sepeda motor, modul *thermoelectric cooler* (TEC) digunakan untuk menggantikan peran TEG karena pertimbangan harga yang lebih murah. Namun TEC ini tidak bisa digunakan untuk aplikasi pemanfaatan panas buang sepeda motor. Kabel keluarannya selalu putus karena sambungan solder tidak mampu menahan panas tinggi (Sugiyanto dan Soeadgihardo, 2010). Pada penelitian berikutnya dengan menggunakan sepeda motor Suzuki Smash 110 cc, dan modul TEG bermaterial Bi_2Te_3 berjumlah 3 yang dipasang pada *exhaust pipe* berhasil membangkitkan

tegangan sambungan terbuka tanpa beban sebesar 4,8V (Sugiyanto & Harwin Saptoadi, 2011). Penelitian ini kemudian diperbaiki dengan melakukan pengujian sepeda motor yang dijalankan, meskipun pada kecepatan yang rendah. Penempatan modul TEG tidak hanya pada sepeda motor Suzuki Smash 110 cc dan Suzuki FXR 150 cc, masih hanya menggunakan 3 modul TEG tipe Ieverred TEG127-40A. Beban listrik sudah digunakan dengan memakai lampu LED 19 pcs, 1,4 Ohm. Hasilnya untuk sepeda motor 110 cc bisa dibangkitkan daya listrik sebesar 0,57 Watt (pada 30 km/jam) dan untuk sepeda motor 150 cc bisa dibangkitkan daya listrik sebesar 1,2 Watt pada kecepatan 30 km/jam (Harwin Saptoadi dan Sugiyanto, 2012).

Aplikasi pada sepeda motor tipe matik 110 c dengan memasang 3 modul TEG Tipe Ieverred TEG126-40A yang dihubung seri, menunjukkan hasil bahwa tegangan terbuka yang dibangkitkan mencapai 3.4 V. Pada kondisi dibebani lampu LED tegangan yang dbangkitkan 2,6 V dengan arus sebesar 0.013 A. Kondisi pengujian jalan dengan kecepatan 20 km/jam didapatkan hasil tegangan yang dibangkitkan bias mencapai 2,67 V dan arusnya bias mencapai 0,017 A. (Sugiyanto dan Harwin Saptoadi, 2013).

2. Metode Penelitian

1) Pemilihan alat dan bahan

- Modul Generator Termoelektrik tipe HZ-14 yang bermaterial Bi_2Te_3 .
- Komponen sistem perpindahan kalor: *cold sink* berupa fin aluminium dan *heat sink* berupa aluminium semi silender.
- Pengukur tegangan dan arus: Multimeter digital Sanwa CD800a
- Pengukur suhu: Termometer digital Krisbow KW06-278
- Pengukur putaran mesin: Tachometer digital *solar cell tachometer* DET-610
- Sepeda motor: Tipe sport 150 cc

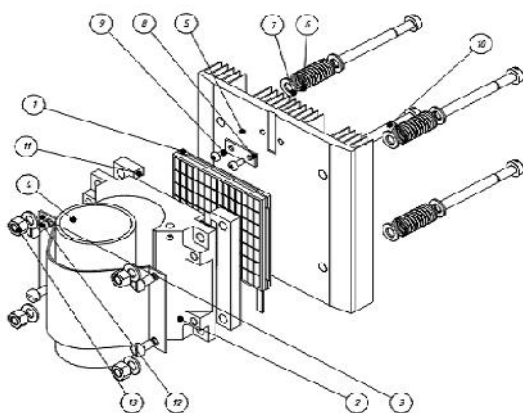
2) Perancangan kontruksi TEG

Kontruksi TEG dirancang agar saat pemasangan pada knalpot dapat menempel dengan baik pada dinding knalpot. Kontruksi yang presisi dapat memaksimalkan proses perpindahan panas dari dinding knalpot menuju modul TEG. Bahan

yang dipilih untuk konstruksi TEG ini adalah Aluminium karena pertimbangan sebagai bahan penghantar panas yang baik dan ringan. Konstruksi TEG yang dirancang terdiri dari beberapa komponen, yaitu:

- Heat Sink*, yang berfungsi sebagai media pengambil panas dari dinding knalpot. Oleh karena itu *heat sink* didesain menempel pada knalpot mengikuti geometri knalpot berupa setengah silinder dan sisi yang lain didesain agar modul TEG dapat terpasang dengan sempurna. Tujuan utamanya adalah agar proses perpindahan panas dapat berlangsung baik sesuai suhu kerja modul TEG.
- Plat pengunci, yang berfungsi untuk mengikat konstruksi TEG pada knalpot.
- Modul TEG, sebagai media konversi panas menjadi listrik secara langsung.
- Dudukan TEG, yang berfungsi membantu penempatan modul TEG pada *heat sink* yaitu agar mudah saat memasang dan melepas modul TEG.
- Cold sink*, yang berfungsi sebagai menjaga sisi dingin modul TEG bersuhu rendah dibandingkan sisi panasnya. *Cold sink* ini terbuat dari Aluminium berupa *fin*.
- Komponen penyokong lainnya berupa mur, baut dan spring untuk menjaga agar posisi konstruksi tetap pada tempatnya, terutama disaat sepeda motor berjalan.

Skema rancangan konstruksi TEG ini seperti Gambar 4, yang terdiri 13 komponen.



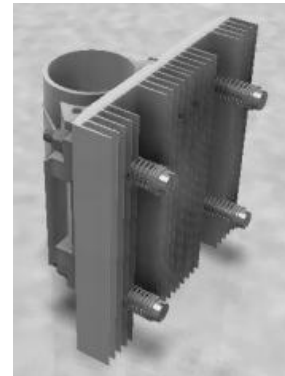
Keterangan Gambar

- | | |
|-----------------|----------------------------|
| 1 TEG HZ-14 | 8 Plat dudukan thermokopel |
| 2 Heat sink | 9 Baut pan head |
| 3 Plat pengunci | 10 Baut dloot cheese head |
| 4 Knalpot | 11 Dudukan TEG |
| 5 Cold sink | 12 Baut Slott cheese head |
| 6 Pegas | 13 Baut Hex nut |
| 7 Washer | |

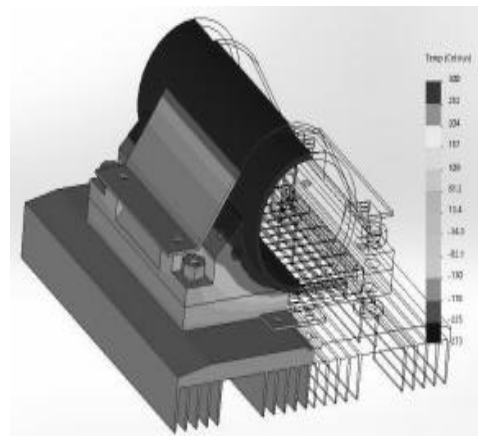
Gambar 4. Konstruksi TEG

Konstruksi TEG saat semua komponen digabungkan akan terlihat pada Gambar 5.

Komponen yang terpenting pada komponen tersebut adalah *heat sink*, karena berperan sebagai media perpindahan panas dari sumber panas, dalam hal ini adalah knalpot, untuk disalurkan ke permukaan sisi panas dari TEG.



Gambar 5. Hasil rancangan konstruksi TEG saat diurai dan digabungkan.



Gambar 6. Distribusi suhu hasil rancangan konstruksi TEG.

Komponen lain yang penting adalah dudukan TEG, yang dirancang untuk menempatkan TEG pada konstruksi. Adanya dudukan TEG ini akan memudahkan disaat melepas dan memasang TEG. Dudukan TEG membantu agar TEG tidak mengalami kerusakan saat dilepas atau dipasang pada konstruksi.

Hasil rancangan konstruksi kemudian dilihat distribusi suhunya dengan menggunakan aplikasi software perpindahan panas. Pengecekan distribusi suhu ini diperlukan untuk mengetahui kondisi panas pada permukaan sisi panas TEG. Data hasil pengukuran langsung suhu pada dinding knalpot

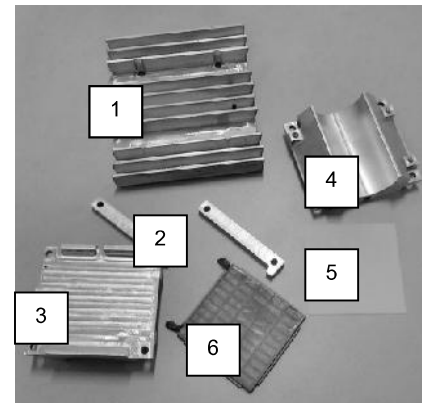
sepeda motor bagian *exhaust pipe* didapatkan suhu maksimalnya berkisar 300 °C. Saat disimulasikan pada software perpindahan panas, kondisi suhu sampai di permukaan TEG masih pada kisaran 200-250 °C, yang merupakan suhu kerja dari TEG sisi panas. Sehingga pemilihan material dan dimensi *heat sink* sudah memenuhi syarat perpindahan panas dari dinding knalpot menuju permukaan TEG. *Cold sink* yang berupa fin aluminium digunakan untuk menjaga permukaan TEG sisi satunya pada kondisi suhu lebih rendah. Hasil simulasi software menunjukkan dengan adanya fin aluminium ini mampu menjaga suhu permukaan dingin TEG pada kisaran 50°C, merupakan suhu TEG sisi dingin yang disarankan oleh produsen TEG tipe HZ-14. Hasil pengecekan distribusi suhu ini dapat dilihat pada Gambar 6.

3. Hasil dan Pembahasan

1) Pembuatan kontruksi TEG

Proses pembuatan kontruksi TEG ini hampir seluruh bagiannya dikerjakan dengan menggunakan mesin CNC. Komponen-komponen penting dari kontruksi TEG terlihat pada Gambar 7.

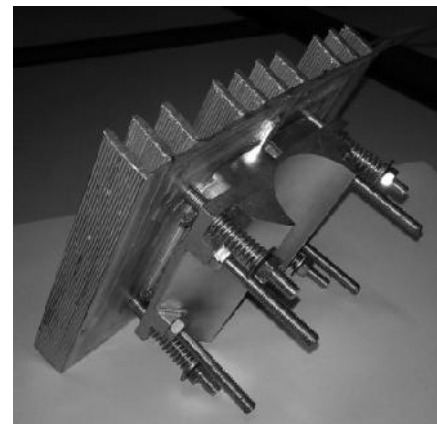
Dari gambar 7, penjelasan masing-masing komponen adalah sebagai berikut: dua permukaan *heat sink* mempunyai kountor geometri yang berbeda, satu sisi dibuat setengah silinder (4) disesuaikan dengan bentuk *exhaust pipe* knalpot sepeda motor. Sedangkan sisi permukaan yang lain dibuat rata (3) sebagai tempat pemasangan TEG. Dudukan TEG (2) digunakan untuk menjepit TEG pada *heat sink* dengan maksud agar posisi TEG selalu ditempatnya. Kondisi ini juga bertujuan untuk mempermudah pencopotan atau pemasangan kembali disaat diperlukan. Sebelum dipasangkan pada *heat sink*, kedua sisi permukaan TEG (6) harus dilapisi plat keramik (5) agar perpindahan panas dapat berlangsung lebih baik. Disamping itu, juga untuk menjaga kondisi material semikonduktor dari TEG tetap baik karena terlindungi. Sisi permukaan TEG yang tidak menempel dengan *heat sink* dihubungkan langsung dengan *cold sink* (1) yang berupa sirip-sirip dari bahan aluminium dan sebelum ditempelkan pada permukaan sirip-sirip aluminium ini, permukaan TEG harus dilapisi dengan plat keramik.



Keterangan Gambar

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| 1 Cold sink | 4 Heat sink tampak bawah |
| 2 Dudukan TEG | 5 Plat keramik |
| 3 Heat sink tampak atas | 6 TEG HZ-14 |

Gambar 7. Komponen-komponen utama kontruksi TEG



Gambar 8. Kontruksi TEG gabungan

Semua komponen-komponen tersebut kemudian digabungkan sehingga membentuk kontruksi TEG lengkap dan baru kemudian dipasangkan pada knalpot sepeda motor. Pada Gambar 8 terlihat kontruksi TEG gabungan dari komponen-komponen utama.

2) Pengujian kontruksi TEG pada sepeda motor.

Proses setelah kontruksi TEG selesai dikerjakan adalah pemasangan pada knalpot sepeda motor. Posisi yang dipilih untuk pemasangan kontruksi ini adalah bagian *exhaust pipe*, yaitu bagian knalpot yang berdekatan dengan *exhaust manifold*. Posisi pemasangan kontruksi ini dapat dilihat pada Gambar 9. Pada saat pemasangan kontruksi TEG ditambahkan isolasi untuk memastikan panas dari dinding knalpot hanya dipindahkan ke sisi panas TEG, namun isolasi ini tidak sampai menutupi bagian fin aluminium untuk memastikan sisi dingin TEG berhubungan dengan media pendinginan agar mempunyai suhu

yang jauh berbeda dari sisi panasnya. Hal ini disebabkan mekanisme efek Seebeck sebagai dasar pembangkitan listrik mandiri pada TEG merupakan fungsi perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dinginnya.

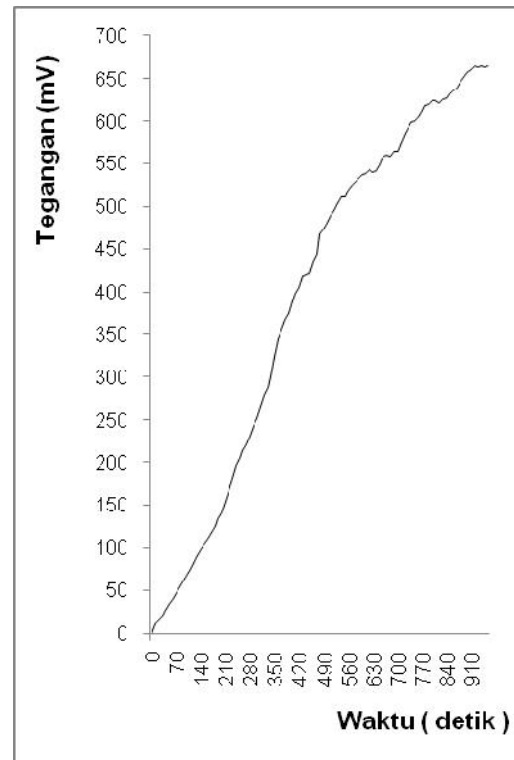


Gambar 9. Posisi pemasangan konstruksi TEG pada knalpot sepeda motor.

Pengujian konstruksi TEG dilakukan pada keadaan sepeda motor tidak dijalankan, oleh karena itu untuk mencegah *overheat* pada mesin sepeda motor digunakan blower yang diletakkan di depan sepeda motor tersebut. Pengujian dilakukan hanya dengan satu konstruksi TEG saja, hal ini dikarenakan keluaran tegangan listrik dari TEG merupakan listrik arus searah, sehingga dengan satu konstruksi TEG dapat diprediksi berapa tegangan yang bisa dibangkitkan untuk jumlah konstruksi TEG terpasang yang lebih dari satu.

Pengukuran tegangan dilakukan 10 detik sesaat setelah motor dijalankan sampai kondisi tegangan yang dihasilkan stabil pada angka tertentu. Kecepatan mesin dipilih dari kondisi putaran *idle* (sekitar 1800 rpm) kemudian meningkat sampai kondisi putaran yang umum digunakan saat motor melaju di jalanan (sekitar 4500 rpm).

Adapun hasil pengukuran tegangan listrik konstruksi TEG ini dapat dilihat pada Gambar 10. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan akan semakin meningkat berbanding dengan waktu lamanya sepeda motor dihidupkan.



Gambar 10. Tegangan dibangkitkan pada konstruksi TEG yang terpasang pada sepeda motor tipe sport 150 cc

Pada kondisi awal dari detik ke-0 sampai detik ke-600 kenaikan tegangan tampak curam, yaitu dari 0 mV sampai nilai sekitar 530 mV. Namun mulai detik berikutnya kenaikan tegangan melandai, sampai kira-kira pada detik ke-800, sebesar 624 mV. Tegangan akan mulai menunjukkan kestabilan pada nilai 664 mV sampai 665 mV mulai detik ke-900 atau sekitar 15 menit setelah sepeda motor dijalankan.

Nilai tegangan yang hanya berkisar 664-665 mV belum cukup digunakan sebagai sumber energi listrik bagi komponen-komponen kelistrikan pada sepeda motor. Tegangan yang rendah ini disebabkan karena pengujian hanya dilakukan pada kondisi sepeda motor berhenti, sehingga pendinginan sirip-sirip aluminium tidak maksimal karena hanya didapat dari satu arah hembusan blower. Kondisi pendinginan ini menyebabkan permukaan sisi dingin TEG masih bersuhu tinggi. Akibatnya beda suhu antara sisi panas dan sisi dingin TEG tidak lebar. Pengaruh sempitnya beda suhu ini mengakibatkan tegangan yang dibangkitkan juga masih rendah.

4. Kesimpulan

- 1) Kontruksi TEG hasil perancangan memudahkan pemasangan dan pelepasan TEG sehingga meminimalkan terjadinya kerusakan pada TEG.
- 2) Pengujian kontruksi TEG menggunakan HZ-14 menunjukkan hasil tegangan dibangkitkan langsung naik sesaat setelah sepeda motor dihidupkan. Namun tegangan yang dibangkitkan akan mengalami kondisi stabil berkisar 664-665 mV setelah 15 menit sepeda motor dihidupkan.
- 3) Pendinginan sirip-sirip aluminium belum optimal sehingga mempengaruhi perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin TEG, akibatnya tegangan listrik yang dibangkitkan masih rendah.

5. Ucapan Terimakasih

Terimakasih untuk LPPM-UGM atas dukungan terlaksananya penelitian ini sesuai surat tugas pelaksanaan kegiatan penelitian hibah dosen muda nomor: LPPM-UGM/1137/LIT/2014 TANGGAL 7 Mei 2014

6. Daftar Pustaka

- Bass, J.C., Elsner, N.B., Leavitt, A., 1995, *Performance of the 1 kW Thermoelectric Generator for Diesel Engines*, Proc 13th Int.Conf. Thermoelectric B, Mathiprakisam, AIP Conf. Proc., New York, p.295-298
- Bass, J.C., Kushch, S.A., Elsner, N.B., Leavitt, A., 2001, *Thermoelectric Generator (TEG) for Heavy Diesel Trucks*, Proc 20th Int.Conf. Thermoelectric, Beijing, China
- Eder, A., Linde, M., 2011, *Efficient and Dynamic – The BMW Group Roadmap for the Application of Thermoelectric Generator*, Proc. BMW Efficient Dynamics/Thermal Management, San Diego, USA.
- Harwin Saptoadi, Sugiyanto, 2012, *Thermoelectric Generator as an additional Energy Source for Motorcycle Engine*, Proceeding of

5th Regipnal Conference on New and Renewable Energy, Hanoi, Vietnam

- Hatzikraniotis, E., Zorbas, K., Triandafyllis, I., Paraskevopoulos, K.M., 2008, *Study of Thermoelectric Power Generator and Application in Small Sized Car*, Proceedings of the 6th European Conference on Thermoelectrics, Paris, France, p. P2-18-1
- Hsu, T.C., Yao, D.J., Yu, B., 2009, *Application of Thermoelectric Waste Heat Recovery from Automobiles*, Proc Micro/Nanoscale Heat and Mass Transfer International Conference, Shanghai, China
- Ismail, B.I., Ahmed, W.H., 2009, *Thermoelectric Power Generation Using Waste-Heat Energy as an Alternative Green Technology*, Recent Patents on Electricals Engineering, Vol.2, p. 27-39
- Sugiyanto dan Soeadgihardo, 2010, *Studi Kinerja Modul Pendingin Termoelektrik dan Generator Termoelektrik dalam Pembangkitan Energi Listrik pada Kendaraan Bermotor*, Laporan Akhir DPP Sekolah Vokasi UGM, Yogyakarta
- Sugiyanto, Fathurahman, Andri, 2013, *Pengujian Pengembangan Knalpot Hemat Energi Berbasis Generator Termoelektrik pada Sepeda Motor Tipe Matik 110 cc*, Proceeding Seminar Nasional Teknologi Terapan, vol 1B, no 1, Sekolah Vokasi, UGM, Yogyakarta.
- Thacher, E.F., Helenbrook, B.T., Karri, M.A., Richter, C.J., 2007, *Testing of an Automobile Exhaust Thermoelectric Generator in a Ligth Truck*. Proc. I MECH E, Part D:J.Automobile Engineering Vol 221 ,1, 95-107
- Vazquez, J., Sanz-Bobi, M.A., Palacios, R., Arenas, A., 2002, *State of The Art of Thermoelectric Generator Based on Heat Recovered from The Exhaust Gases of Automobiles*, Proceeding of 7th European Workshop on Thermoelectrics, Pamplona, Spain
- www.aisi.or.id diakses November 2014.