

# PEMANFAATAN PANAS KNALPOT SEPEDA MOTOR MATIC 110 CC UNTUK PEMBANGKITAN LISTRIK MANDIRI DENGAN GENERATOR THERMOELEKTRIK

Sugiyanto

Diploma Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, UGM  
Jl. Yacarana Sekip Unit IV, Yogyakarta 55281  
email: [sugiyanto.ugm@gmail.com](mailto:sugiyanto.ugm@gmail.com), [sugiyanto\\_t@ugm.ac.id](mailto:sugiyanto_t@ugm.ac.id).

## Abstrak

*Sumber energi yang terbuang percuma salah satunya adalah panas gas buang sepeda motor. Panas ini bisa dikonversi langsung menjadi energi listrik dengan menggunakan teknologi generator termoelektrik. Teknologi ramah lingkungan yang ringan, kompak, kecil, tidak berisik, tidak ada bagian bergerak, dan tidak memerlukan perawatan. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah memasang modul generator termoelektrik pada bagian exhaust pipe knalpot sepeda motor matic 110 cc yang panasnya berpotensi untuk diubah menjadi energi listrik. Modul generator termoelektrik yang digunakan yaitu tipe IEVERRED TEG 126-40A sejumlah 3 modul. Keluaran ketiga modul diukur satu persatu untuk mendapatkan besarnya potensial listrik yang dibangkitkan. Sedangkan pengujian pengukuran konsumsi bahan bakar yang dilakukan dengan menggunakan buret ukur untuk membandingkan sepeda motor bekerja dengan alternator dan tanpa alternator. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan terbuka yang dibangkitkan mencapai 3.4 V. Pada kondisi dibebani lampu LED tegangan yang dibangkitkan 2,73 V dengan arus sebesar 0.02 A. Potensi penghematan konsumsi bahan bakar apabila kerja alternator digantikan oleh generator termoelektrik untuk pengujian 20 cc konsumsi bahan bakar didapatkan bahwa waktu yang dihebat mencapai 48 detik.*

**Kata kunci :** “Panas gas buang”, “knalpot sepeda motor”, “konversi energy”, “generator termoelektrik”, “pembangkitan listrik”

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang

Data dari AISI, konsumsi BBM non subsidi tahun 2010 menunjukkan bahwa sepeda motor mengkonsumsi BBM bersubsidi terbesar ke dua (40%) setelah mobil pribadi 53%, yaitu 10.04 juta kiloliter. Namun dibalik itu semua sebenarnya ada potensi pemanfaatan limbah energi dari banyaknya penggunaan sepeda motor tersebut. Mesin *spark ignition* berbahan bakar bensin, sekitar 30% energi utama pada terbuang sebagai limbah panas melalui gas buang. Jika sekitar 6% dari panas gas buang ini dikonversi menjadi daya listrik, kurang lebih sama besar dengan *driving energy* yang digunakan untuk menghasilkan daya listrik, maka memungkinkan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar sekitar 10% (Vasques et.al., 2002). Salah satu teknologi yang bisa mengkonversi langsung limbah panas gas buang sepeda motor menjadi energi listrik adalah teknologi *Thermoelectric Generator* (TEG). Teknologi ini memiliki beberapa

kelebihan, antara lain aman terhadap lingkungan, sederhana, kompak, berukuran kecil, sangat ringan, tidak bersuara, dan tidak memerlukan perawatan karena tidak ada bagian yang bergerak (Ismail, 2009). Meskipun mempunyai kekurangan pada efisiensi yang rendah, namun apabila sumber energi untuk mengoperasikan teknologi ini didapatkan dari “limbah energi” yang tersedia gratis, maka permasalahan efisiensi tidak menjadi faktor penghambat penerapannya dalam pengkonversian langsung energi panas menjadi energi listrik. Penelitian mengenai pemanfaatan termoelektrik generator untuk memanfaatkan panas gas buang menjadi energi listrik sebagai alternatif penghematan konsumsi bahan bakar sudah banyak dilakukan terutama pada kendaraan – kendaraan berkapasitas mesin besar, dan hasilnya menunjukkan tingkat penurunan konsumsi bahan bakar yang sangat bervariasi. Indonesia sebagai negara yang jumlah pemakaian sepeda motor sangat besar berpotensi menyerap konsumsi bahan bakar

yang tinggi, sehingga penelitian yang difokuskan pada sepeda motor ini sebagai kelanjutan dari penelitian-penelitian sebelumnya layak diteruskan sebagai langkah lanjut mencari alternatif penghematan konsumsi bahan bakar pada sepeda motor.

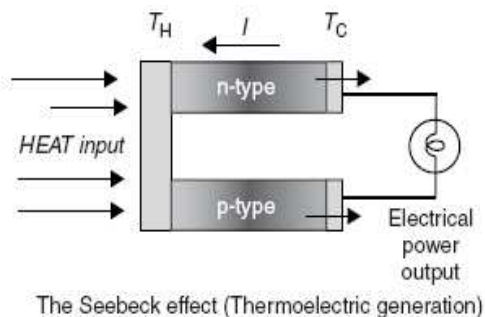
Dengan melakukan penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat positif pada pengembangan pemanfaatan panas buang sepeda motor sebagai alternatif penghematan bahan bakar.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji seberapa besar listrik mandiri yang dapat dibangkitkan dari pemanfaatan panas buang pada knalpot sepeda motor jenis matik 110 cc menggunakan TEG, disamping itu juga untuk mengetahui pengaruh penggunaan TEG terhadap konsumsi bahan bakarnya.

## 1.3. Tinjauan Pustaka

Teknologi *thermoelectric generator* (TEG) adalah teknologi termoelektrik yang menggunakan prinsip efek Seebeck untuk mengubah secara langsung panas menjadi energi listrik, yaitu dengan cara menempelkan salah satu sisi modul ke sumber panas namun menjaga sisi yang lain pada suhu yang lebih rendah. Jika kabel keluaran diberi beban listrik, maka arus listrik akan mengalir sehingga daya listrik bisa dibangkitkan. Proses ini dapat diamati pada Gambar 1.



**Gambar 1. Efek Seebeck pada pembangkitan daya listrik pada TEG (Rowe 2006, p. 1-4)**

Produsen modul termoelektrik pada awalnya lebih cenderung hanya memproduksi TEC (*Thermoelectric Cooler*) karena aplikasi nyata di kehidupan masyarakat umum sudah banyak. Misalnya aplikasi TEC untuk dispenser dan mesin refrigerator. Namun mengingat potensi pembangkitan alternatif energi yang bisa dikembangkan, beberapa produsen kemudian juga memproduksi TEG (*Thermoelectric Generator*) sekaligus melakukan penelitian aplikasinya. Salah satunya adalah Hi-Z Technology Inc., perusahaan produsen TEG asal Amerika, telah memelopori penelitian aplikasi TEG di kendaraan bermotor. Sejak 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  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . 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 Techonology Inc. tetapi sudah berkolaborasi dengan beberapa pihak, yaitu Universitas Clarkson, General Motor, dan Delphi Corporation. Kolaborasi tersebut merancang

*Automobile Exhaust Thermoelectric Generator* (AETEG) yang berisikan modul termoelektrik HZ-20 bermaterial  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  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 et. al., 2007).

Pengujian dengan menggunakan mesin jenis lain dilakukan oleh Hsu et.al. (2009), dengan menempatkan delapan modul komersial termoelektrik material  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  di tengah-tengah pipa gas buang Chrysler Neon 2000 cc. Konstruksi TEG menggunakan aluminium *heat sink* 13 fin sebagai *heat exchanger* sisi panas di saluran 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, et.al.(2008). TEG yang dipakai adalah modul TEG Melcor HT9-3-25 bermaterial  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Semi silindris aluminium digunakan sebagai pemanas dan dipasangkan langsung di pipa gas buang. Udara lingkungan sebagai pendingin dengan menggunakan *aluminium heat sink* 156 sirip berukuran 60mm x 68 mm. 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  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  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 et.al, 2011).

Suhu gas buang sepeda motor lebih rendah dibandingkan kendaraan roda empat dan 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 baung 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  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  berjumlah 3 yang dipasang pada *exhaust pipe* berhasil membangkitkan tegangan sambungan terbuka tanpa beban sebesar 4,8 V (Sugiyanto dan Harwin, 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. 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 dan Sugiyanto, 2012).

## 2. Metode Penelitian

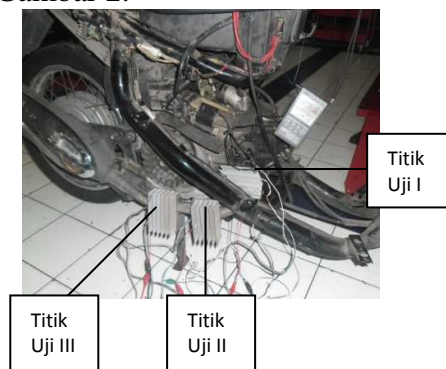
- 1) Komponen yang digunakan
  - a. Modul Generator Thermoelektrik tipe IEVERRED TEG 127-40 A, bermaterial  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ .
  - b. Komponen sistem perpindahan kalor : *cold sink* berupa fin aluminium, *hot side heat exchanger* berupa aluminium semi silinder, mekanisme isolator berupa *glass wool* dan aluminium foil
- 2) Peralatan yang digunakan
  - a. Pengukur tegangan dan arus : Multimeter digital Sanwa CD800a
  - b. Pengukur suhu : *Autonic data aquisition*, termokopel tipe K , termometer digital Krisbow KW06- 278
  - c. Pengukur putaran mesin : Tachometer digital *solar cell tachometer* DET-610
  - d. Sepeda motor : Matic 110 cc

### 3). Persiapan Pengujian

Membuat kontruksi TEG

Kontruksi TEG dibuat terdiri dari :

- a) Modul : Thermoelektrik IEVERRED TEG 127- 40A.
- b) *Hot side Heat Exchanger* : aluminium semi silindris yang dipasangkan langsung di *exhaust pipe* dan bagian atas dari modul TEG, dengan diameter disesuaikan diameter bagian-bagian knalpot.
- c) *Cold sink* : aluminium fin
- 4). Menempatkan kontruksi ini pada bagian *exhaust Pipe*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Titik-titik pengujian

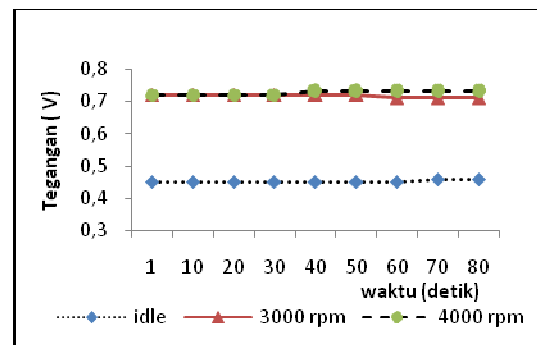
Pengujian konsumsi bahan bakar minyak dengan menggunakan gelas ukur buret.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Data pengujian tanpa beban

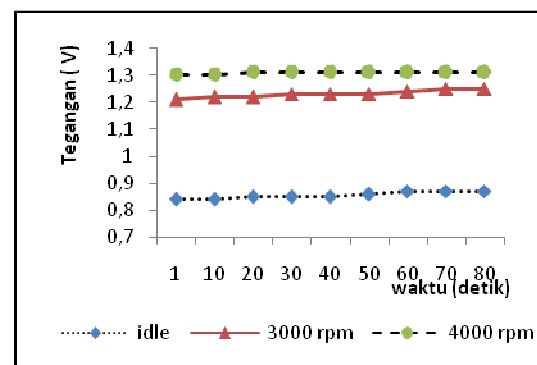
Pada pengujian tanpa beban, masing-masing titik uji diukur tegangan keluaran menggunakan data aquisisi. Diuji pada variasi RPM kondisi *idle* (berkisar 1600 RPM), 3000 RPM dan 4000 RPM.

Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 3, bahwa semakin tinggi putaran mesin maka tegangan yang dibangkitkan semakin besar.



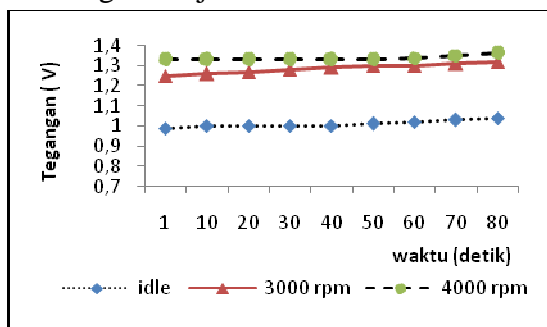
Gambar 3. Grafik tegangan Titik Uji III

Tegangan terbesar yang dibangkitkan pada titik uji III ini adalah pada saat putaran mesin 4000 RPM, yaitu berkisar 0,72 V – 0,73 V. Sedangkan pada putaran 3000 RPM terjadi sedikit penurunan tegangan, yaitu berkisar 0,71 V – 0,72 V. Sedangkan pembangkitan tegangan terkecil terjadi pada titik uji III ini yaitu disaat putaran mesin pada kondisi *idle*, yang hanya sebesar 0,45 V – 0,46 V.



Gambar 4. Grafik tegangan Titik Uji II

Tegangan keluaran modul TEG yang terletak pada titik uji II mengalami peningkatan untuk masing-masing kondisi putaran mesin yang sama dibandingkan pada titik uji III, seperti terlihat pada Gambar 4. Pada putaran 4000 RPM, tegangan yang dibangkitkan mencapai 1,31 V. Sedangkan pada putaran 3000 RPM mengalami penurunan juga, menjadi sekitar 1,21 V–1,25 V. Pada kondisi *idle*, tegangannya hanya berkisar 0,84 V–0,87 V, lebih rendah dibandingkan putaran 4000 RPM dan 3000 RPM namun hasil ini lebih tinggi dibandingkan semua kondisi putaran mesin pada titik uji III. Hal ini disebabkan letak titik uji II yang lebih dekat dengan *exhaust manifold* sehingga mempunyai sumber panas yang lebih tinggi dibanding titik uji III.



**Gambar 5. Grafik tegangan Titik Uji I**

Pada Gambar 5, merupakan kondisi titik uji I, yaitu titik yang terletak paling dekat dengan *exhaust manifold*. Tegangan yang dibangkitkan pada titik uji I ini lebih tinggi dibandingkan titik uji III dan titik uji II disemua kondisi putaran mesin. Pada putaran 4000 RPM, tegangan dibangkitkan dari TEG sebesar 1,33 V – 1,36 V. Sedangkan pada putaran 3000 RPM sebesar 1,25 V – 1,32 V, dan pada kondisi *idle* sebesar 0,99 V–1,04 V. Semakin besar putaran mesin maka semakin besar tegangan yang dapat dibangkitkan, begitu pula semakin dekat titik uji dengan *exhaust manifold* maka tegangan yang dibangkitkan juga semakin besar. Keluaran tegangan dari TEG merupakan tegangan

listrik DC, sehingga optimalisasi tegangan yang dibangkitkan agar dapat diaplikasikan sebagai sumber listrik pengganti alternator merupakan penggabungan secara seri hasil keluaran tegangan tersebut. Melihat hasil pengujian masing-masing titik tersebut, maka saat keluaran dari ketiga modul dihubungkan seri, didapatkan bahwa pada putaran mesin 4000 RPM menghasilkan tegangan terbesar, yaitu berkisar 3,4 V. Berikutnya pada putaran 3000 RPM tegangan serinya sebesar 3,3 V dan pada putaran *idle* sebesar 2,4 V.

### 3.2. Data pengujian pada kondisi modul TEG dibebani lampu LED 1,4 Ohm.

Pada pengujian ini, ketiga titik uji dihubungkan seri untuk mendapatkan nilai Tegangan maksimal sehingga mampu menghidupkan beban lampu LED. Proses pengujian pada kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 6.

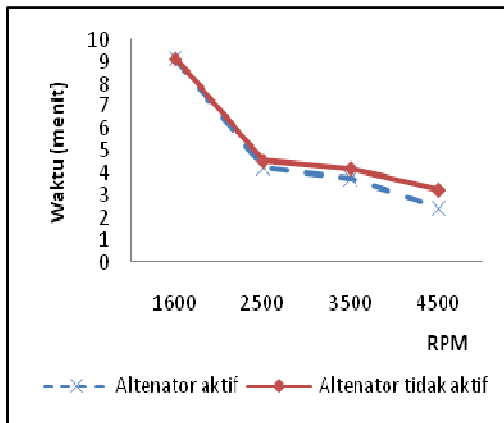


**Gambar 6. Pengujian dengan beban lampu LED.**

Hasil pengujian dengan data akuisi kondisi ini menunjukkan tegangan terukur dan arus terukur akan cenderung konstan pada putaran 4000 RPM, yaitu 2,73 V dan 0.02 A.

### 3.3. Data pengujian konsumsi bahan bakar

Pada pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan saat menghidupkan lampu menggunakan listrik mandiri keluaran modul TEG dengan ketika menghidupkan lampu menggunakan alternator.



**Gambar 7. Perbandingan konsumsi BBM 20 cc**

Pada Gambar 7 dapat diamati bahwa penggantian alternator sebagai sumber listrik dengan menggunakan generator termoelektrik, terjadi perbedaan waktu yang digunakan untuk mengkonsumsi sebanyak 20 cc bahan bakar. Meskipun saat kondisi *idle*, waktu yang digunakan kecenderungannya sama. Namun semakin tinggi putaran mesin menunjukkan semakin besar perbedaannya. Penggunaan modul generator termoelektrik untuk menghidupkan lampu LED sebagai pengganti lampu utama dapat lebih menghemat waktu konsumsi hingga 48 detik pada putaran 4500 RPM. Dari pengujian konsumsi bahan bakar ini, menunjukkan indikasi awal bahwa terjadi penghematan konsumsi bahan bakar saat menggunakan generator termoelektrik sebagai sumber energi listrik mandiri pada sepeda motor matik 110 cc.

#### 4. Kesimpulan

- 1) Listrik mandiri maksimal yang dibangkitkan pada kondisi tanpa beban dengan menghubungkan seri hasil keluaran TEG ketiga titik uji adalah sebesar 3.4 V pada putaran mesin 4000 RPM.
- 2) Pada kondisi dibebani dengan lampu LED, 1.4 Ohm, listrik mandiri yang dapat dibangkitkan menunjukkan kecenderungan konstan, yaitu tegangan 2.73 V dan arus 0.02 A pada putaran mesin 4000 RPM.

- 3) Pada saat pengujian konsumsi bahan bakar sebanyak 20 cc, terjadi perbedaan waktu 48 detik lebih cepat habis saat penyalaan beban lampu menggunakan alternator dibandingkan saat penyalaan beban lampu menggunakan generator termoelektrik.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Terimakasih untuk LPPM-UGM atas dukungan terlaksananya penelitian ini sesuai surat tugas pelaksanaan kegiatan penelitian hibah dosen muda nomor : LPPM-UGM/402/LIT/2013 TANGGAL 11 Maret 2013

#### 6. Daftar Pustaka

- Bass, J.C., Elsner, N.B., Leavitt, A., 1995, *Performance of the 1 kW Thermoelectric Generator for Diesel Engines*, Proc 13<sup>th</sup> 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 20<sup>th</sup> Int.Conf. Thermoelectric, Beijing, China
- Eder, A., Linde, M., 2011, *Efficient and Dynamic –The BMW Group Roadmap for the Application of Thermoelectric Generators*, Proc. BMW EfficientDynamics/Thermal Management, San Diego
- Harwin Saptoadi, Sugiyanto, 2012, *Thermoelectric Generator as an additional Energy Source for Motorcycle Engine*, Proceeding of 5<sup>th</sup> Regional 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
- Rowe, D.M., 2006, *CRC Thermoelectrics Waste Heat Recovery As A Renewable Energy Source*, Journal of Innovation in Energy and Power, Vol.1, No.1
- 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 dan Harwin Saptoadi, 2011, *Pemanfaatan Panas Buang di Muffler Kendaraan Roda Dua Untuk Pembangkitan Listrik Menggunakan Termoelektrik Generator*, Proceeding Seminar Nasional Teknoin, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Thacher, E.F., Helenbrook, B.T., Karri, M.A., Richter, C.J., 2007, *Testing of an Automobile Exhaust Thermoelectric Generator in a Light 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 7<sup>th</sup> European Workshop on Thermoelectrics, Pamplona, Spain
- [www.aisi.or.id](http://www.aisi.or.id) diakses November 2013