

**STUDI EKSPERIMENTAL *THERMOELECTRIC GENERATOR* DENGAN  
VARIASI FLUIDA PENDINGIN AIR DAN UDARA  
PADA SUPRA X 125 CC**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I  
pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**ARI MUSTAKIM**

**D 200 140 206**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2018**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**STUDI EKSPERIMENTAL *THERMOELECTRIC GENERATOR*  
DENGAN VARIASI FLUIDA PENDINGIN AIR DAN UDARA  
PADA SUPRA X 125 CC**

**PUBLIKASI ILMIAH**

oleh:

**ARI MUSTAKIM**

**D200140206**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen  
Pembimbing



**Ir. Sartono Putro, M.T.**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**STUDI EKSPERIMENTAL *THERMOELECTRIC GENERATOR*  
DENGAN VARIASI FLUIDA PENDINGIN AIR DAN UDARA  
PADA SUPRA X 125 CC**

**OLEH  
ARI MUSTAKIM  
D 200 140 0206**

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari Sabtu, 24 Maret 2018**

**Dewan Penguji:**

1. Ir. Sartono Putro, M.T. (.....)  
(Ketua Dewan Penguji)
2. Ir. Subroto, M.T, (.....)  
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Amin Sulistiyanto, S.T.,M.T. (.....)  
(Anggota II Dewan Penguji)

Dekan,

  
**Ir. Sri Sunariono, M.T.,Ph.D.**

## **PERNYATAAN**

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

Apabila kelak terbukti ada ketidak benaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 23 Februari 2018

Penulis



**ARI MUSTAKIM**  
**D 200 140 206**

# STUDI EKSPERIMENTAL *THERMOELECTRIC GENERATOR* DENGAN VARIASI FLUIDA PENDINGIN AIR DAN UDARA PADA SUPRA X 125 CC

## Abstrak

Pembakaran BBM pada sepeda motor akan menghasilkan 40 % *exhaust gas* yang terbuang percuma ke atmosfer. Pada kendaraan bermotor, kalor dari *exhaust manifold* memiliki kisaran temperatur 25 °C - 590 °C. Teknologi *thermoelectric* dapat mengkonversi panas dari *exhaust gas* menjadi listrik dengan prinsip efek *seebeck*. Penelitian ini untuk mengetahui penggunaan pendingin air dan udara terhadap listrik yang dibangkitkan pada *thermoelectric*. Pendingin air menggunakan *waterblock* sedangkan pendingin udara menggunakan *fin* dan *fan* yang diinstalasikan *fan*. *Thermoelectric* menggunakan tipe TEC1-12706 berjumlah 12 modul dirangkai seri yang diletakan di *prototype* alat penukar kalor pada *exhaust pipe* sepeda motor Supra X 125 cc. Pengujian dilakukan dengan variasi pendingin air dan udara serta variasi putaran *engine idle*, 2000 rpm, dan 3000 rpm. Pembebanan menggunakan lampu 7.5 watt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seiring bertambahnya waktu tegangan, arus, dan daya mengalami kenaikan saat *engine* dinyalakan dan penurunan saat *engine* dimatikan. Percobaan variasi putaran *engine* terbaik pada 3000 rpm dihasilkan tegangan sebesar 15.05 volt dan setelah diberi beban dihasilkan tegangan 2.92 volt, arus 0.24 ampere, dan daya 0.7008 watt. Pada pengujian performa pendingin, variasi pendingin terbaik adalah air dengan beda temperatur tertinggi sebesar 48.3 °C, tanpa beban didapatkan tegangan 23.29 volt dan dengan beban 3.68 volt, 0.31 ampere, 1.1408 watt. Sedangkan pendingin udara beda temperatur sebesar 21.9 °C (*fin+fan*) dan 19.8 °C (*fin*), tanpa beban didapatkan tegangan *fin+fan* (19.56 volt), *fin* (16.52 volt) dan dengan beban *fin+fan* (2.17 volt, 0.18 ampere, 0.3906 watt), *fin* (1.48 volt, 0.12 ampere, 0.1776 watt).

Kata Kunci : *Thermoelectric*, Pendingin, Beda Temperatur, Listrik

## Abstract

Burning fuel on a motorcycle will produce 40% exhaust gas wasted into the atmosphere. In motor vehicles, the heat from the exhaust manifold has a temperature range of 25 °C - 590 °C Thermoelectric technology can convert heat from exhaust gas into electricity with the principle of seebeck effect. This research is to investigate the use of water and air-cooled to the electricity generated on thermoelectric. Water coolers use waterblock while air conditioning uses fin and fan installed fan. Thermoelectric using TEC1-12706 type of 12 modules arranged series that placed in prototype heat exchanger on exhaust pipe motorcycle Supra X 125 cc. Tests were performed with variations of water and air cooler and variations of engine speeds idle, 2000 rpm, and 3000 rpm. The loading using a 7.5 watt lamp. The results showed that as increase the voltage, current, and power increased when the engine is turned on and decreased when the engine is turned off. The best engine speed experiments at 3000 rpm resulted in a voltage of 15.05 volts and after being loaded it produced a voltage of 2.92 volts, a current of 0.24 amperes, and a power

of 0.7008 watts. In the cooling performance test, the best cooling variation is water with the highest temperature difference of 48.3 °C, no load obtained voltage 23.29 volts and with load 3.68 volts, 0.31 ampere, 1.1408 watt. While the air conditioner temperature difference of 21.9 °C (fin + fan) and 19.8 °C (fin), no load voltage obtained fin + fan (19.56 volts), fin (16.52 volts) and with fin + fan load (2.17 volts, 0.18 amperes, 0.3906 watts), fin (1.48 volt, 0.12 ampere, 0.1776 watt).

Keywords: Thermoelectric, Coolant, Temperature Difference, Electricity

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan sepeda motor di Indonesia dari tahun-ketahun semakin meningkat. Tercatat dari data Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia (AIS) pada tahun 2017 sudah terjual sepeda motor kurang lebih 5.9 juta unit, dan total populasi sepeda motor di Indonesia berdasarkan data Badan Pusat Statistika (BPS) sudah mencapai lebih dari 105.2 juta unit. Banyaknya populasi penggunaan sepeda motor tersebut menyebabkan meningkatnya jumlah BBM yang dibakar.

Pembakaran BBM pada sepeda motor akan menghasilkan limbah panas yang terbuang percuma ke atmosfer. Seperti halnya mesin *spark ignition* berbahan bakar *gasoline* lainnya, hanya 25 % bahan bakar digunakan untuk operasi kendaraan, sedangkan sekitar 75 % dari total bahan bakar terlepas ke lingkungan, dimana 40 % dalam bentuk *exhaust gas* (Avaritsioti, 2016). Khusus kendaraan bermotor, limbah kalor dari *exhaust manifold* memiliki kisaran temperatur rendah 25 °C dan 200 °C hingga menengah 200 °C dan 590 °C (Wirawan, 2012).

Menyadari banyaknya energi termal yang terbuang percuma ke atmosfer inilah, pemanfaatan teknologi *thermoelectric* dapat digunakan untuk mengkonversi langsung energi panas dari *exhaust gas* menjadi energi listrik. Dalam mengkonversi energi panas menjadi listrik *thermoelectric* menerapkan efek *seebeck*. *Thermoelectric* dapat bekerja apabila terdapat perbedaan temperatur pada kedua sisinya. Semakin besar perbedaan temperatur maka listrik yang dihasilkan *thermoelectric* semakin besar. Untuk menghasilkan perbedaan temperatur yang besar maka salah satunya menggunakan pendingin yang dapat menurunkan temperatur sisi dingin *thermoelectric*. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pemanfaatan limbah panas dari gas buang sepeda motor menjadi listrik dengan menggunakan pendingin air dan udara.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh perubahan variasi putaran *engine* dengan waktu terhadap tegangan *output*, arus *output*, dan daya *output thermoelectric*. Mengetahui pengaruh perubahan variasi fluida pendingin dengan waktu terhadap beda temperatur antara sisi panas dan dingin *thermoelectric*, tegangan *output*, arus *output*, dan daya *output thermoelectric*.

Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat dalam menghasilkan sistem pendingin dan pemanas pada gas buang yang digunakan untuk memanfaatkan *thermoelectric*. Menghasilkan listrik dari *thermoelctric* yang memiliki prospek dapat dimanfaatkan untuk sistem kelistrikan pada kendaraan. Dapat memanfaatkan panas pada gas buang menjadi listrik dengan menggunakan *thermoelectric*.

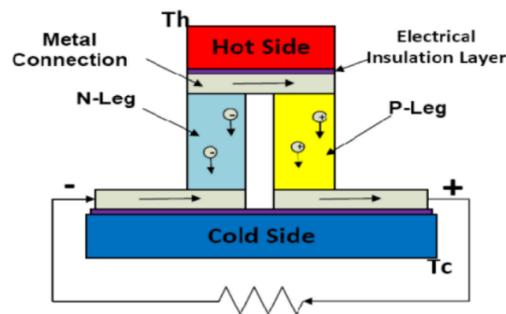
Penelitian mengenai *thermoelectric* oleh Sugiyanto (2014) menggunakan motor matic 110 cc dan *thermoelectric* tipe TEG 127-40 A bermaterial  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  dengan variasi putaran mesin *idle* ( berkisar 1600 rpm), 3000 rpm, dan 4000 rpm. Hasil penelitian menunjukkan listrik mandiri maksimal yang dibangkitkan pada putaran 4000 rpm sebesar 3.4 V dilakukan tanpa beban dan 2.73 V menggunakan beban lampu LED 1.4 Ohm.

Penelitian dengan mesin lain masih dilakukan oleh Sugiyanto et al. (2015) menggunakan motor sport 150 cc dengan *thermoelectric* tipe HZ – 14 yang bermaterial  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Komponen *cold sink* berupa *fin* alumunium dan *heat sink* berupa alumunium semikonduktor. Hasil penelitian menunjukkan tegangan yang dibangkitkan mencapai 664-665 mV setelah 15 menit sepeda motor dihidupkan. Dalam penelitian yang dilakukan juga menjelaskan komponen pendingin yang menggunakan sirip-sirip (*fin*) belum optimal sehingga mempengaruhi perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin TEG. Akibatnya tegangan listrik yang dibangkitkan masih rendah. Penelitian menggunakan air bertempertur 10 °C dan kecepatan 16.6 liter/menit untuk mendinginkan *thermoelectric generator* seri TEC 12706. Hasil penelitian menunjukkan daya *thermoelectric* sebesar 0.007 W, 0.018 W, 0.061 W, dan 0.105 W. (Adrapica et al, 2015)

Novianarenty et al. (2017) melakukan penelitian menggunakan 4 buah *thermoelectric* tipe TEC1-12706 dengan sumber panas *ublik* dan variasi pendingin oli, air es, dan udara. Hasil menunjukkan bahwa variasi pendingin terbaik adalah air es dengan menghasilkan tegangan listrik sebesar 2.5 V, arus listrik 0.17 A, daya

0.44 W. Sedangkan variasi pendingin udara masih lebih baik dari variasi pendingin oli yang menghasilkan tegangan maksimal sebesar 0.6 V. Penelitian mengenai *passive cooling* pada termoelektrik *power generator* dilakukan oleh Date et al. (2014) dengan model pendinginan *bare palte*, *fin*, dan *heat pipe*. Dengan kecepatan angin 5 m/s untuk *bare plate heat flux* terukur 18,125 W/m<sup>2</sup>, *fin* 26,067 W/m<sup>2</sup> dan *heat pipe* sebesar 40,375 W/m<sup>2</sup>.

*Thermoelectric generator* merupakan teknologi yang dapat mengkonversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung dengan prinsip efek *seebeck*. *Thermoelectric generator* terdiri dari satu sisi panas dan satu sisi dingin. Sisi panas dengan suhu lebih tinggi akan menggerakkan elektron pada *leg* tipe-n menuju sisi dingin dengan suhu yang lebih rendah, yang melintasi sambungan logam dan masuk ke *leg* tipe-p sehingga akan menimbulkan arus melalui sirkuit. Hole pada leg tipe-p kemudian akan mengikuti arah dari arus. Arus yang dihasilkan dapat digunakan untuk power sebuah beban (Karpe, 2016).



Gambar 1. Prinsip kerja *thermoelectric generator* (Karpe, 2016)

Air biasanya memiliki konduktivitas termal jauh lebih tinggi daripada udara, dan dengan demikian koefisien perpindahan panas jauh lebih tinggi. Oleh karena itu, pendinginan air jauh lebih efektif daripada pendinginan udara (Cengel, 2003).

**Tabel 1.** Konduktivitas termal

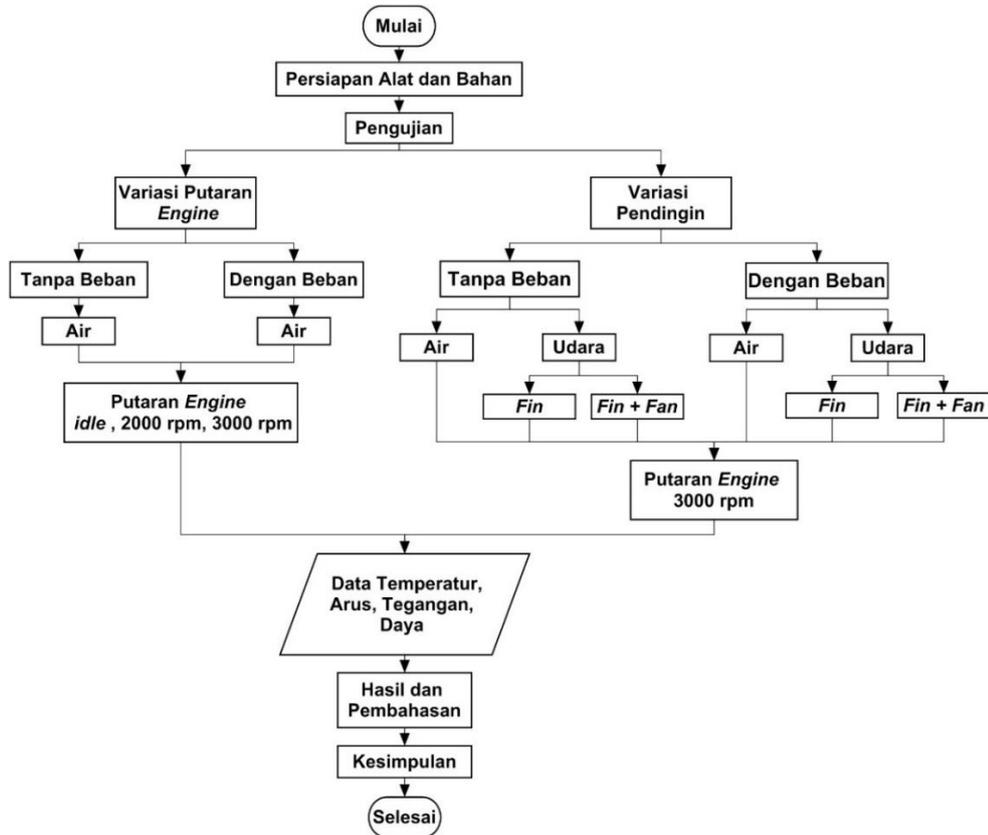
Material	k, W/m .°C <sup>-1</sup>	Material	k, W/m .°C <sup>-1</sup>
Diamond	2300	Water (l)	0.613
Silver	429	Human skin	0.37
Copper	401	Wood (oak)	0.17
Gold	317	Helium (g)	0.152
Aluminium	237	Soft rubber	0.13
Iron	80.2	Glass fiber	0.043
Mercury (l)	8.54	Air (g)	0.026
Glass	0.78	Urethane, rigid foam	0.026
Brick	0.72		

Cengel, (2003)

## 2. METODE

### 2.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir disusun agar penelitian berjalan terstruktur dan sesuai dengan rencana, diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

### 2.1 Alat dan Bahan

#### 2.1.1 Alat *Prototype*

- 1) Balok *body* aluminium
- 2) *Fin* balok *body*
- 3) *Thermoelectric* tipe TEC1-12706
- 4) Pendingin
  - Air (*Waterblock*)
  - Udara (*fin* dan *fin+fan*)
- 5) Selang air
- 6) Pipa *konektor 1 in 4 out*
- 7) *Fan* (kipas) DC
- 8) Klem penjepit
- 9) Pipa gas buang
- 10) Silinder kenalpot
- 11) *Exhaust wrap*
- 12) Sealer
- 13) Kabel
- 14) Sepeda motor Supra X 125 cc
- 15) Lampu beban 7.5 watt
- 16) *Stopwatch*

### 2.1.2 Alat Ukur

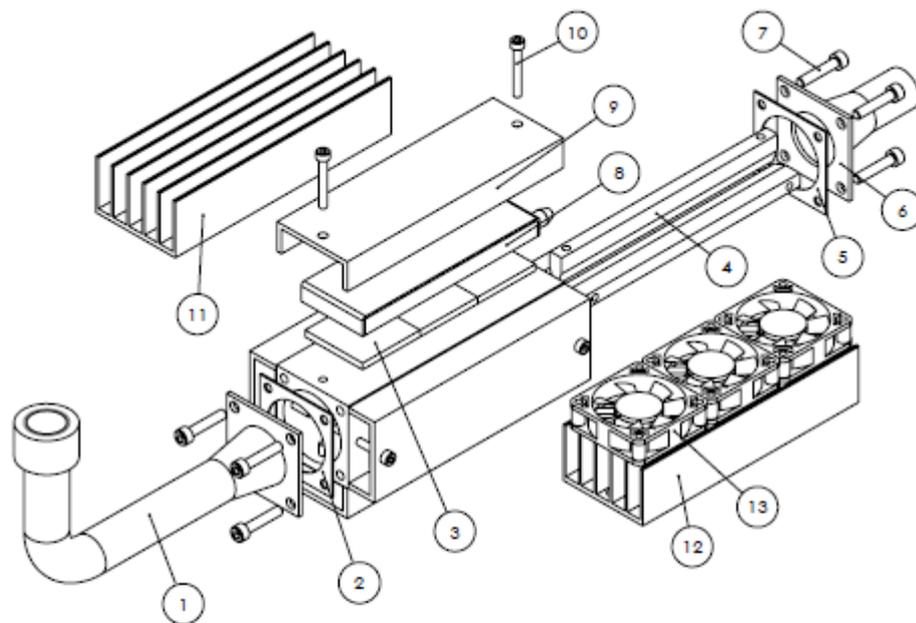
- 1) Data logger
- 2) Multimeter
- 3) Thermo-reader dan Thermocouple
- 4) Anemometer
- 5) Tachometer digital

### 2.1.3 Bahan

1. Exhaust gas pada sepeda motor jenis supra x 125 cc
2. Air yang digunakan untuk pendinginan menggunakan *waterblock*
3. Udara yang digunakan untuk pendinginan menggunakan *fin* dan *fin* + *fan*.

## 2.2 Perakitan Alat

Perakitan *prototype* alat pengujian dapat dilihat pada gambar 2 sebagai berikut:

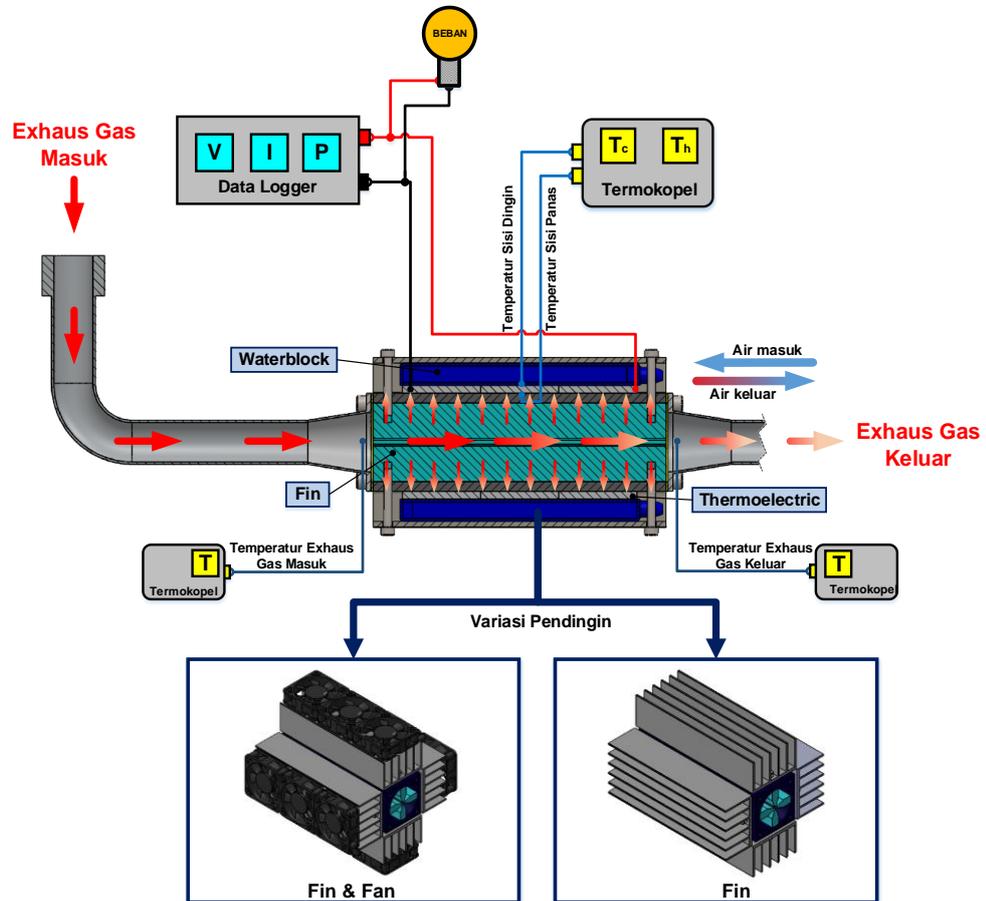


- |                            |                   |
|----------------------------|-------------------|
| 1. Pipa Exhaust Gas Masuk  | 8. Waterblock     |
| 2. Gasket                  | 9. Klem           |
| 3. Thermoelectric          | 10. Baut M4       |
| 4. Fin                     | 11. Fin Pendingin |
| 5. Gasket                  | 12. Fin Pendingin |
| 6. Pipa Exhaust Gas Keluar | 13. Fan           |
| 7. Baut M4                 |                   |

**Gambar 3.** Perakitan alat *prototype*

## 2.3 Tahap Pengujian

Instalasi pengujian dapat dilihat pada sekema alat uji pada gambar 3 berikut:



Gambar 4. Skema alat pengujian

### 2.3.1 Pengujian Variasi Putaran *Engine*

#### 2.3.1.1 Pengujian tanpa Beban

- 1) Pastikan *prototype* alat dan alat ukur telah terinstalasi seperti pada skema alat uji yang ditunjukkan pada gambar 4.
- 2) Sebelum *engine* dinyalakan beda temperatur antara sisi panas dan sisi dingin dibuat 0 °C.
- 3) Hidupkan *engine* dan atur pada putaran *engine idle*, diwaktu yang sama *start* pembacaan data *logger* dan catat temperatur sisi panas dan sisi dingin *thermoelectric*. Pengujian dilakukan selama 120 detik *engine* dinyalakan dan 180 detik dimatikan serta *record* data setiap 12 detik.

- 4) Pindahkan data hasil pengukuran dari data *logger* ke komputer. Pembacaan hasil pengukuran dalam bentuk \*.txt.
- 5) Tunggu hingga beda temperatur sisi panas dan sisi dingin *thermoelectric* menunjukkan 0 °C, pengujian diulangi seperti pada nomor 3 untuk putaran *engine* 2000 rpm dan 3000 rpm.

#### **2.3.1.2 Pengujian dengan Beban**

Pengujian dengan beban sama dengan pengujian tanpa beban. Hanya saja dalam pengujian ini *record* data mulai *start* pada temperatur sisi panas menunjukkan 50 °C. Pembebanan menggunakan lampu 2.5 volt 3 ampere.

### **2.3.2 Pengujian Variasi Fluida Pendingin**

#### **2.3.2.1 Pengujian tanpa Beban**

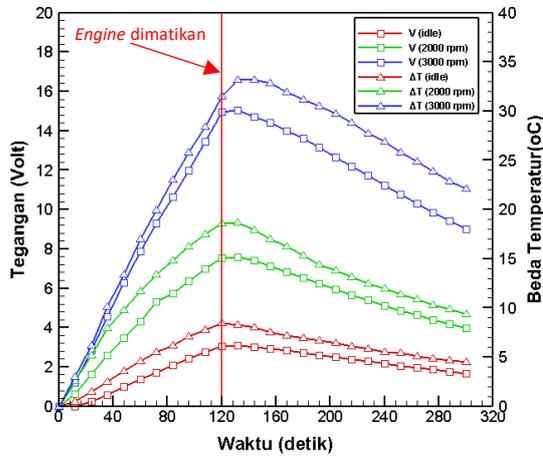
- 1) Pastikan *prototype* alat dan alat ukur telah terinstalasi seperti pada sekema alat uji yang ditunjukkan pada gambar 4 dengan menggunakan pendingin air.
- 2) Sebelum *engine* dinyalakan beda temperatur antara sisi panas dan sisi dingin dibuat 0 °C.
- 3) Hidupkan *engine* dan atur pada putaran *engine* 3000 rpm, diwaktu yang sama *start* pembacaan data *logger* dan catat temperatur sisi panas dan sisi dingin *thermoelectric*. Pengujian dilakukan selama 216 detik mesin dinyalakan dan 204 detik mesin dimatikan. *Record* data tiap 12 detik.
- 4) Pindahkan data hasil pengukuran dari data *logger* ke computer. Pembacaan hasil pengukuran dalam bentuk \*.txt.
- 5) Tunggu hingga beda temperatur sisi panas dan sisi dingin menunjukkan 0 °C, pengujian diulangi seperti pada nomor 1 untuk pendingin udara.

#### **2.3.2.2 Pengujian dengan Beban**

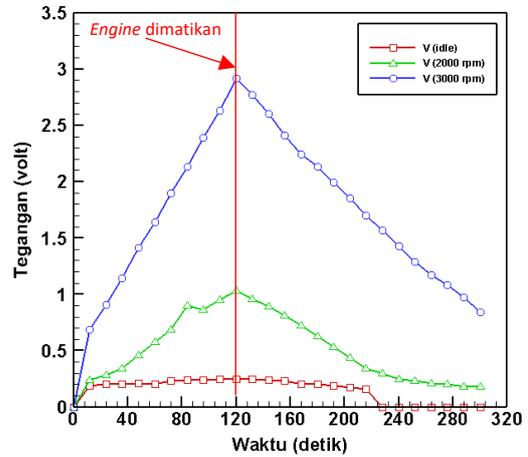
Pengujian dengan beban sama dengan pengujian tanpa menggunakan beban. Hanya saja dalam pengujian ini diberikan pembebanan menggunakan lampu 2.5 volt 3 ampere.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

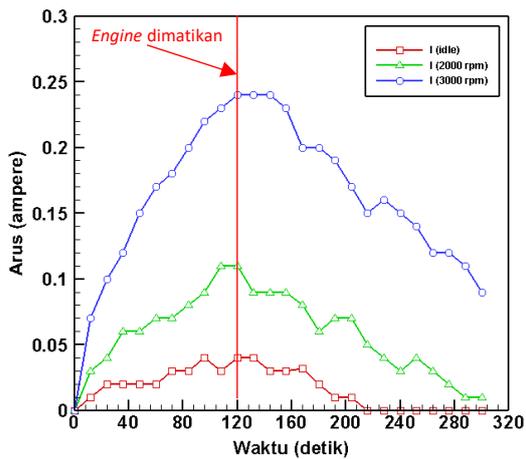
#### 3.1 Pengujian *Thermoelectric Generator* Variasi Putaran *Engine* dengan Pendingin Air



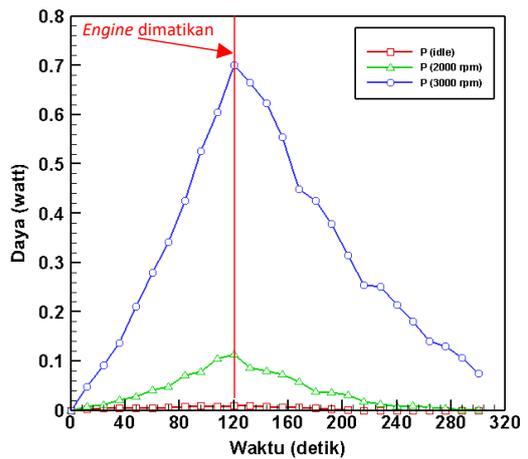
**Gambar 5.** Perubahan putaran *engine* dengan waktu terhadap tegangan *output* dan beda temperatur, tanpa beban



**Gambar 6.** Perubahan putaran *engine* dengan waktu terhadap tegangan *output*, menggunakan beban



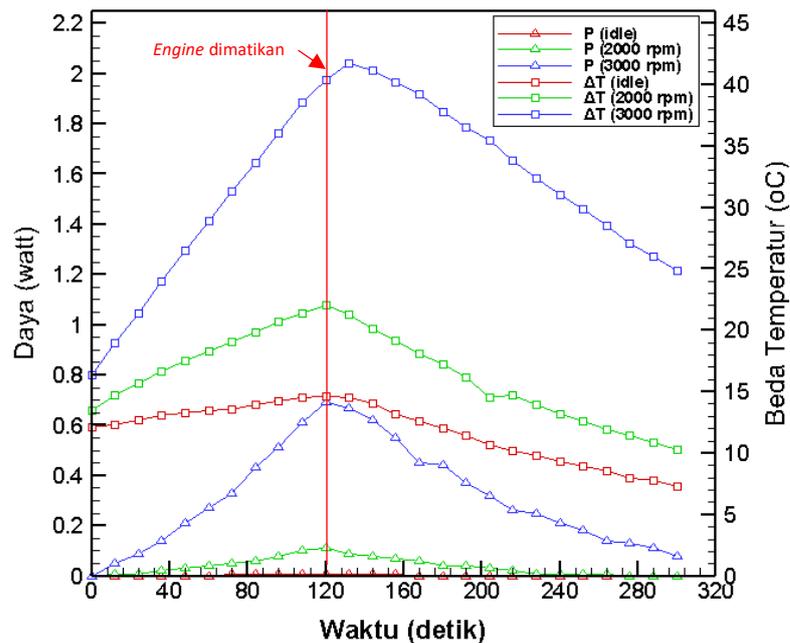
**Gambar 7.** Perubahan putaran *engine* dengan waktu terhadap arus *output*, menggunakan beban



**Gambar 8.** Perubahan putaran *engine* dengan waktu terhadap daya *output*, menggunakan beban

Tegangan *output* tanpa beban dengan bertambahnya waktu mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan beda temperatur saat *engine* dinyalakan selama 120 detik kemudian saat *engine* dimatikan mengalami penurunan seiring dengan penurunan beda temperatur. Hal ini menunjukkan semakin besar beda temperatur maka semakin besar tegangan *output*-nya. Pada putaran *engine* 3000 rpm mengalami kenaikan tegangan yang lebih tinggi sebesar 15.5 volt dengan beda temperatur 33.2 °C pada 132 detik. Sedangkan pada putaran *engine* 2000 rpm dan *idle* tegangan

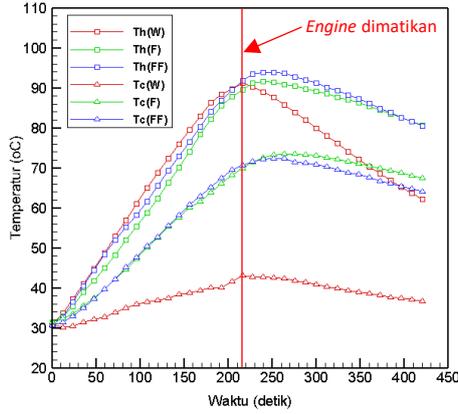
tertinggi dicapai pada waktu yang sama sebesar 7.57 volt pada 18.7 °C dan 3.07 volt pada 8.3 °C. Percobaan menggunakan beban didapatkan tegangan, arus, dan daya mengalami kenaikan saat *engine* dinyalakan kemudian mengalami penurunan saat *engine* dimatikan. Kenaikan tertinggi pada putaran *engine* 3000 rpm, dihasilkan tegangan 2.92 volt, arus 0.24 ampere, dan daya 0.7008 watt. Sedangkan 2000 rpm 2.17 volt, 0.18 ampere, 0.1776 watt dan *idle* 1.48 volt, 0.12 ampere, 0.3906 watt.



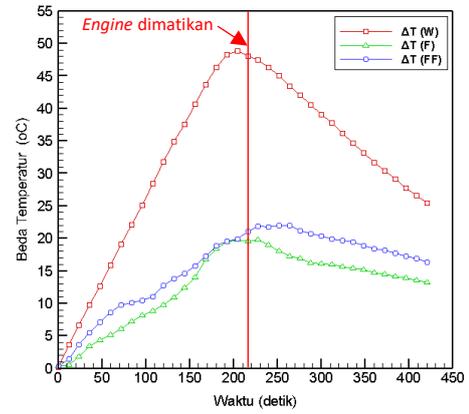
**Gambar 9.** Grafik perubahan putaran *engine idle*, 2000 rpm, dan 3000 rpm dengan waktu terhadap daya *output* dan beda temperature

Dari grafik pada gambar 9 menunjukkan daya *output* mengalami kenaikan berbanding lurus dengan kenaikan beda temperatur. Semakin besar beda temperatur maka semakin besar daya *output thermoelectric* hal ini dapat dilihat saat *engine* dinyalakan, sebaliknya semakin kecil beda temepartur maka semakin kecil daya *output* yang dihasilkan yang dapat dilihat saat *engine* dimatikan.

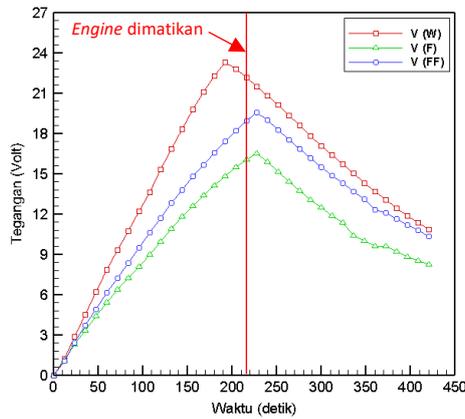
### 3.2 Pengujian *Thermoelectric Generator* Variasi Fluida Pendingin Air dan Udara (*Fin*, dan *Fin + Fan*) dengan Putaran engine 3000 rpm



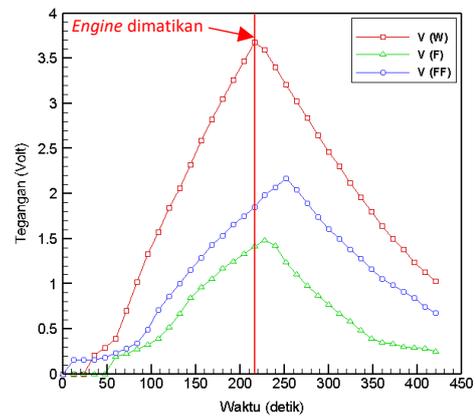
**Gambar 10.** Perubahan fluida pendingin dengan waktu terhadap temperatur sisi panas dan dingin



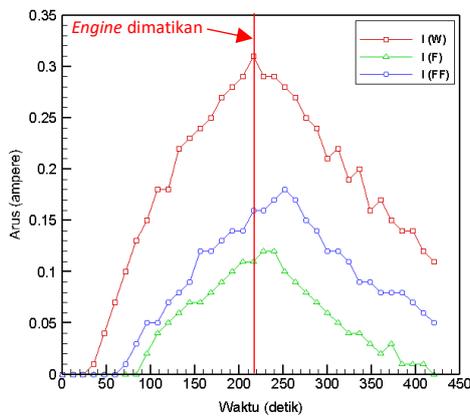
**Gambar 11.** Perubahan fluida pendingin dengan waktu waktu terhadap beda temperatur *thermoelectric*



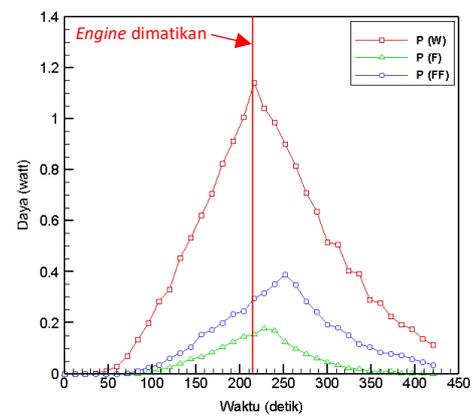
**Gambar 12.** Perubahan fluida pendingin dengan waktu waktu terhadap tegangan *output*, tanpa beban



**Gambar 13.** Perubahan fluida pendingin dengan waktu waktu terhadap tegangan *output*, menggunakan beban



**Gambar 14.** Perubahan fluida pendingin dengan waktu waktu terhadap arus *output*, menggunakan beban



**Gambar 15.** Perubahan fluida pendingin dengan waktu waktu terhadap daya *output*, menggunakan beban

Temperatur sisi panan *thermoelectric* pada pendingin air dan udara mengalami kenaikan yang hampir sama saat *engine* dinyalakan selama 216 detik kemudian mengalami penurunan saat *engine* dimatikan. Penurunan temperatur sisi panas pada pendingin air terjadi lebih cepat dari pendingin udara. Temperatur sisi dingin *thermoelectric* pada pendingin air mengalami kenaikan yang lebih lambat dari pendingin udara dicapai temperatur sisi dingin tertinggi 43.2 °C pada waktu 216 detik kemudian mengalami penurunan. Sedangkan menggunakan pendingin udara mengalami kenaikan yang lebih cepat dengan menggunakan *fin* tertinggi 73.6 °C pada waktu 264 detik dan menggunakan *fin+fan* 72.35 °C pada waktu 252 detik kemudian mengalami penurunan yang lambat. Dari temperatur sisi panas dan dingin didapatkan beda temperatur mengalami kenaikan saat *engine* dinyalakan dan mengalami penurunan saat *engine* dimatikan. Beda temperatur terbesar pada pendingin air dengan nilai tertinggi 48.30 °C. Sedangkan pendingin udara pada *fin+fan* 21.9 °C masih lebih tinggi dari *fin* sebesar 19.8 °C.

Tegangan *output* tanpa beban dengan penambahan waktu mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan nilai beda temperatur. Pada pendingin air mengalami kenaikan tegangan *output* yang lebih tinggi mencapai 23.29 volt pada beda temperatur 48.3 °C kemudian mengalami penurunan. Sedangkan pada pendingin udara menggunakan *fin+fan* tegangan output sebesar 19.56 volt pada beda temperatur 21.9 °C dan menggunakan *fin* 16.52 volt pada beda temperatur 19.8 °C kemudian mengalami penurunan. Setelah diberi beban tegangan *output*, arus *output*, dan daya *output* mengalami kenaikan saat *engine* dinyalakan dan mengalami penurunan saat *engine* dimatikan. Percobaan dengan beban hasil terbaik didapatkan pada pendingin air sebesar 3.68 volt, 0.31 ampere, 1.1408 watt. Sedangkan pada pendingin udara didapatkan 2.17 volt, 0.18 ampere, 0.3906 watt dengan menggunakan pendingin *fin+fan*, dan 1.48 volt, 0.12 ampere, 0.1776 watt dengan menggunakan pendingin *fin*.

#### 4. PENUTUP

Kesimpulan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- 1) Tegangan *output*, arus *output*, dan daya *output thermoelectric* pada variasi putaran *engine idle*, 2000 rpm, dan 3000 rpm mengalami kenaikan seiring

dengan penambahannya waktu saat *engine* dinyalakan. Sedangkan saat *engine* dimatikan akan mengalami penurunan. Variasi putaran *engine* menyebabkan beda temperatur yang berbeda sehingga menghasilkan tegangan, arus, dan daya yang berbeda-beda. Putaran *engine* terbaik pada 3000 rpm sedangkan 2000 rpm lebih baik dari *idle*.

- 2) Beda temperatur *thermoelectric* pada variasi fluida pendingin air dan udara mengalami kenaikan seiring dengan penambahannya waktu saat *engine* dinyalakan. Sedangkan saat *engine* dimatikan beda temperatur akan mengalami penurunan. Variasi pendingin terbaik adalah air namun pada pendingin udara penggunaan *fin+fan* masih menghasilkan beda temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan *fin*.
- 3) Tegangan *output*, arus *output*, dan daya *output thermoelectric* pada variasi fluida pendingin air dan udara mengalami kenaikan seiring dengan penambahannya waktu saat *engine* dinyalakan. Sedangkan saat *engine* dimatikan akan terjadi penurunan. Variasi fluida pendingin terbaik adalah air, dengan beda temperatur maka dihasilkan tegangan *output* tanpa beban 23.29 volt dan dengan beban 3.68 volt, arus *output* 0.31 ampere, dan daya *output* 1.1408 watt.

## **PERSANTUNAN**

Terimakasih kepada Bapak Ir. Sartono Putro, M.T. selaku Pembimbing Tugas Akhir dan Ikatan Alumni Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta (IKAMU) atas dukungan berupa dana penelitian Tugas Akhir sesuai dengan Program Dana Hibah Penelitian Tugas Akhir.

## **DAFTAR USTAKA**

- Andrapica, Gontor., Mainil, Rahmat I., & Aziz, Azridjal. (2015). *Pengujian thermoelectric generator sebagai pembangkit listrik dengan sisi dingin menggunakan air bertemperatur 10 °C*. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 14 (2), 45-50.
- Avaritsioti, Eleni. (2016). *Environmental and economic benefits of car exhaust heat recovery*. *Transport Research Arena*, 14, 1003-1012.
- Cengel, Yunus A. (2003). *Heat transfer: A practical approach* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.

- Date, Ashwin. et.al. (2015). *Theoretical and experimental estimation of limiting input heat flux for thermoelectric power generators with passive cooling*. *Solar Energy*, 111, 201-217.
- Novianarenti, Eky., Khusna, Dwi., & Setya, Agung. (2017). *Analisis hasil pengujian efek seebeck termoelektrik dengan sumber panas ubil dan variasi pendingin oli, air, udara*. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 5, 45-50
- Sugiyanto. (2014). *Pemanfaatan panas knalpot sepeda motor metic 110 cc untuk pembangkitan listrik mandiri dengan generator termoelektrik*. *Jurnal rekayasa mesin*, 9 (3) :105-111
- Sugiyanto., Umam, Muh. Tarum N., & Suciawan, Endra. (2015). *Rancang bangun konstruksi TEG (thermoelectric generator) pada knalpot sepeda motor untuk pembangkitan listrik mandiri*. *Forum Teknik*, 32 (1), 56-63.
- Wirawan, Rio. (2012). *Analisis penggunaan heat pipe pada thermoelectric generator*. Universitas Indonesia, Depok.
- [www.aisi.or.id](http://www.aisi.or.id). Diakses pada tanggal 9 Maret 2018
- [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id) Diakses pada tanggal 9 Maret 2018