

## STUDI EKSPERIMENTAL PENGGERAK MULA TERMOAKUSTIK PISTON AIR DENGAN DIAMETER SELANG OSILASI 1 INCI

Aditya Nugraha<sup>1\*</sup>, Agus Kurniawan<sup>1</sup>, Bayu Prabandono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Politeknik ATMI Surakarta  
Jl Adisucipto/Jl Mojo No 1 PO BOX 215 Surakarta.

\*Email: aditnyo2\_atmi35@yahoo.co.id

### Abstrak

*Penggerak mula termoakustik adalah salah satu renewable energy yang mengubah energy panas menjadi energi gas dan suara sehingga dapat menggerakkan air. Fenomena ini sangat menarik untuk diteliti. Penelitian ini akan menyajikan sebuah model penggerak mula termoakustik sehingga menghasilkan daya dan efisiensi energi yang cukup tinggi. Model ini terdiri dari bagian pendingin, regenerator dari steelwool dengan panjang 60mm, tabung resonator dan bagian osilasi berupa selang transparan dengan diameter 1 inci. Energi mekaniknya berupa gerak osilasi fluida zat cair dalam hal ini air yang berada di dalam selang yang sudah dibuat sedemikian rupa sehingga membentuk profil U. Penelitian ini dilakukan menggunakan tabung resonator yang ukuran tabung  $\square_{outside}$  15,7 x 70 mm,  $\square_{outside}$  20 x 90 mm, dan  $\square_{outside}$  25,2 x 100 mm. Model dengan ukuran tabung resonator  $\square_{outside}$  25,2 x 100 mm menghasilkan daya terbesar sebesar 0,226 watt dan efisiensi energi terbesar sebesar 0,279 %. Semakin besar dimensi tabung resonator, daya dan efisiensi yang dihasilkan akan semakin besar.*

**Kata kunci:** renewable energy, penggerak mula termoakustik, tabung resonator

### 1. PENDAHULUAN

Selama berpuluh-puluh tahun, penelitian sumber energi alternatif telah dilakukan. Energi alternatif yang dikembangkan antara lain solar cell (Chang *dkk.*, 2011), micro hydro (Pasalli dan Rehiara, 2014), biogas (Mengistu *dkk.*, 2015), thermoelektrik (Liu *dkk.*, 2013), energi angin, piezoelectric dan thermoakustik (Balusamy *dkk.*, 2015; Konaina *dkk.*, 2014; Li dan Morgans, 2015). Thermoakustik merupakan sumber energi alternatif yang terus dikembangkan sampai saat ini. Ide dasar dari thermoakustik adalah fenomena osilasi gelombang suara dimana didalamnya terdapat aktifitas kompresi dan ekspansi terhadap partikel gas dan selama aktifitas ini berlangsung suhu gas juga mengalami osilasi. Penelitian tentang thermoakustik sudah dimulai sejak kira-kira 125 tahun yang lalu ketika Lord Rayleigh pertama kali memberikan paparan tentang efek thermoacoustic melalui tulisannya “The Theory of Sound”, yang dipublikasikan pada tahun 1887. Dia mengungkapkan bahwa gelombang suara bisa menghasilkan perbedaan temperatur pada media yang dilaluinya (gas). Tetapi penelitian ini sempat berhenti selama kira-kira 80 tahun sampai saat Rott memulai publikasi penelitian tentang thermoakustik pada tahun 1969 (Fahey dan Timbie, 2006).

Penelitian lain yang pernah dilakukan terkait dengan thermoakustik antara lain: penelitian pompa air energi panas yaitu pompa air energi termal Menggunakan evaporator plat 35 cc. Penelitian pada pompa air energi surya memperlihatkan bahwa waktu pengembunan uap dipengaruhi oleh temperatur dan debit air pendingin masuk kondensor (K.Sumathy *dkk.*, 1996). Penelitian lain dilakukan Suhanto (2009) mengenai “Pompa Air Energi Termal dengan Evaporator 39 CC dan Pemanas 266 Watt”. Hasil penelitiannya menunjukkan pompa air energi termal tersebut mampu menghasilkan daya pompa (Wp) maksimum adalah 0.139 watt, efisiensi pompa ( $\eta$  pompa) maksimum 0.060 % pada variasi bukaan kran 30 °C, dan debit (Q) maksimum 0.697 liter/menit pada variasi ketinggian head 1.75 m dan bukaan kran penuh atau 0 °C dengan pendingin udara (Suhanto dan Nugroho, 2009). Nugroho (2009) juga melakukan penelitian mengenai “Pompa Air Energi Termal dengan Evaporator 44 CC dan Pemanas 78 Watt” yang mampu menghasilkan daya pompa (Wp) maksimum adalah 0.167 watt, efisiensi pompa ( $\eta_{pompa}$ ) maksimum 0.213 %, dan debit (Q) maksimum 0.584 liter/menit pada variasi ketinggian head 1.75 m dan bukaan kran 0 °C dengan pendingin udara (Nugroho dan Suhanto, 2009). Setiyawan (2010) melakukan penelitian “Pompa Air Energi Termal dengan Evaporator 35 CC ” mampu menghasilkan daya pompa (Wp) maksimum adalah 0.053 watt, efisiensi pompa ( $\eta_{pompa}$ ) maksimum 0.015 %, dan debit (Q) maksimum 0.179 liter/menit pada variasi ketinggian head 1.75 m dan bukaan kran 0 °C dengan

pendingin udara (Setiawan *dkk.*, 2010). Penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan mesin yang cukup rumit dan mahal.

Pada penelitian ini akan membuat model sederhana penggerak mula termoakustik yang berupa aplikasi dengan piston air. Peralatan yang digunakan cukup sederhana dan bahan-bahannya mudah didapatkan. Kemudian karakteristik dari penggerak mula termoakustik piston cair akan dihitung dengan cara mengumpulkan data dan gambar sebanyak yang kemudian diolah menjadi nilai karakteristik dari penggerak mula termoakustik yaitu daya output dan efisiensi.

## 2. METODOLOGI

Alat yang dipakai dalam penelitian ini adalah penggerak mula termoakustik piston air dengan diameter selang osilasi 1 inci. Peralatan dan bahan yang digunakan antara lain: tabung resonator, regenerator, selang osilasi, fluida (air), papan ukur, pemanas spiritus, besi untuk *stand* dan tabung pendingin. Semua alat dan bahan tersebut disusun seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Mesin penggerak mula termoakustik piston air

Bahan regenerator yang terbuat dari bahan steel wool. Bahan tersebut dimasukkan dalam tabung resonator. Ukuran dari tabung resonator ada 3 jenis yaitu:  $\varnothing_{\text{outside}} 15,7 \times 70 \text{ mm}$ ,  $\varnothing_{\text{outside}} 20 \times 90 \text{ mm}$ , dan  $\varnothing_{\text{outside}} 25,2 \times 100 \text{ mm}$ . Panjang dari regenerator adalah 60 mm. Tabung resonator dihubungkan dengan tabung pendingin yang memiliki ukuran  $\varnothing_{\text{outside}} 25 \times 100 \text{ mm}$ . Berikutnya, tabung pendingin ini dihubungkan dengan selang osilasi yang berbentuk U dengan di atur posisi dan ketinggian dari selang tersebut. Air dimasukkan ke dalam selang osilasi sampai ketinggian tertentu dan diberi tanda sebagai tinggi awal ( $h_0$ ). Kompor spiritus diletakkan dibawah tabung resonator dan dinyalakan apinya.

Perubahan temperature pada tabung pendingin, regenerator, tabung resonator dan ruangan diamati dengan menggunakan alat ukur termok logger secure digital. Perubahan ketinggian air pada selang osilasi diamati dan dicatat. Pengambilan data dilakukan selama 1 jam pada setiap tabung resonator dan dicatat perubahan yang terjadi setiap menitnya.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Daya Output ( $W_{\text{output}}$ )

Dari data yang dihasilkan, maka akan dihitung besarnya daya (watt) dan efisiensi (%) yang dihasilkan. Besarnya daya yang dihasilkan dihitung dengan persamaan:

$$W_{\text{output}} = p \times V \times f \quad (1)$$

dimana  $W_{\text{output}}$  adalah daya output (watt),  $p$  adalah tekanan hidrostatis air ( $\text{N/m}^2$ ),  $V$  adalah volume air ( $\text{m}^3$ ) dan  $f$  adalah frekuensi dalam (Hz). Tekanan hidrostatis air dihitung dengan persamaan:

$$p = \rho \times g \times h \quad (2)$$

dimana  $p$  adalah tekanan hidrostatis air ( $\text{N/m}^2$ ),  $\rho$  adalah massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ ),  $g$  adalah gaya gravitasi ( $\text{m/s}^2$ ) dan  $h$  adalah  $H_{\text{max}}$  osilasi yang dihasilkan (m). Selain daripada itu, volume air dihitung dengan persamaan:

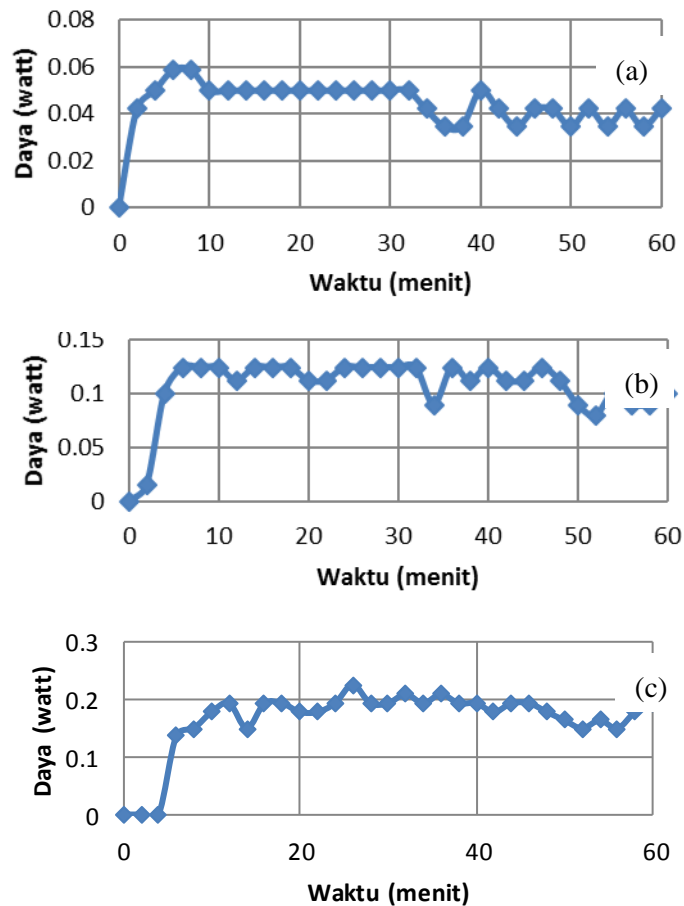
$$V = A \times h \quad (3)$$

dimana  $V$  adalah volume air ( $\text{m}^3$ ),  $A$  adalah luas penampang selang air ( $\text{m}^2$ ), dan  $h$  adalah  $H_{\text{max}}$  osilasi yang dihasilkan (m). Selain daripada itu, volume air dihitung dengan persamaan:

Dari data yang dihasilkan oleh penggerak mula termoakustik piston air dengan menggunakan selang osilasi 1 inci maka dengan ukuran tabung resonator  $\varnothing_{\text{outside}} 15,7 \times 70 \text{ mm}$ ,  $\varnothing_{\text{outside}} 20 \times 90 \text{ mm}$ , dan  $\varnothing_{\text{outside}} 25,2 \times 100 \text{ mm}$  yang kemudian dimasukkan dalam persamaan daya maka didapat hasil seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan besarnya daya output yang dihasilkan oleh masing-masing tabung resonator terhadap waktu pergerakan dari osilasi air dalam selang. Pada Gambar 2 (a), daya output mulai naik pada menit ke 2, kemudian nilainya stabil pada menit ke 10 sampai ke 30 dan daya berlangsung stabil dan mulai berfluktuasi setelah menit ke 30. Daya maksimal yang dihasilkan adalah 0,058 watt dan berlangsung pada menit ke 6 dan ke 8. Pada Gambar 2 (b), daya output mulai naik pada menit ke 4, kemudian nilainya stabil pada menit ke 6 sampai menit ke 48, dan setelah itu terus mengalami fluktuasi. Daya maksimal yang dihasilkan adalah 0,124 watt pada menit ke 2. Kemudian, Gambar 2 (c), daya output mulai naik pada menit ke 6, dan kemudian nilainya mengalami fluktuasi cukup signifikan. Daya maksimal yang terjadi adalah 0,226 watt dan terjadi pada menit ke 26.

Daya output yang mulai naik dari tabung resonator  $\varnothing_{\text{outside}} 15,7 \times 70 \text{ mm}$ ,  $\varnothing_{\text{outside}} 20 \times 90 \text{ mm}$ , dan  $\varnothing_{\text{outside}} 25,2 \times 100 \text{ mm}$  waktunya semakin lama dari 2, 4 dan 6 menit. Hal ini menunjukkan semakin besar dan panjang tabung resonatornya maka akan semakin lama waktu pemanasan tabung resonator untuk mencapai temperatur yang sama sehingga perbedaan suhu antara tabung resonator dengan tabung pendingin juga makin lama maka osilasi air yang terjadi pada selang juga semakin lama. Selain daripada itu, gambar 2 menunjukkan semakin besar dan panjang tabung resonatornya maka semakin besar nilai daya output yang dihasilkan. Semakin besar dan panjang tabung resonator maka semakin besar volume yang digunakan untuk menyimpan panas yang diberikan oleh pemanas dari spirtus sehingga semakin lama dapat menggerakkan air dalam selang sehingga osilasi yang menyebabkan daya output yang dihasilkan makin besar. Walaupun demikian semakin besar tabung resonatornya daya output yang dihasilkan kurang stabil. Nilai daya output yang dihasilkan lebih tinggi dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Suhanto (2009) dengan daya maksimum sebesar 0.139 watt (Suhanto dan Nugroho, 2009) dan Nugroho (2009) dengan daya maksimum sebesar 0.167 watt (Nugroho dan Suhanto, 2009).



Gambar 2. Grafik hubungan antara daya dan waktu pada penggerak mula termoakustik piston air dengan menggunakan tabung resonator (a)  $\varnothing$  outside 15,7 x 70 mm, (b)  $\varnothing$  outside 20 x 90 mm, dan (c)  $\varnothing$  outside 25,2 x 100 mm

### 3.2. Efisiensi ( $\eta$ )

Setelah menghitung daya output, selanjutnya adalah menghitung besarnya efisiensi yang dihasilkan. Besarnya efisiensi yang dihasilkan dihitung dengan persamaan:

$$\eta = \frac{W_{\text{output}}}{W_{\text{input}}} \times 100 \quad (4)$$

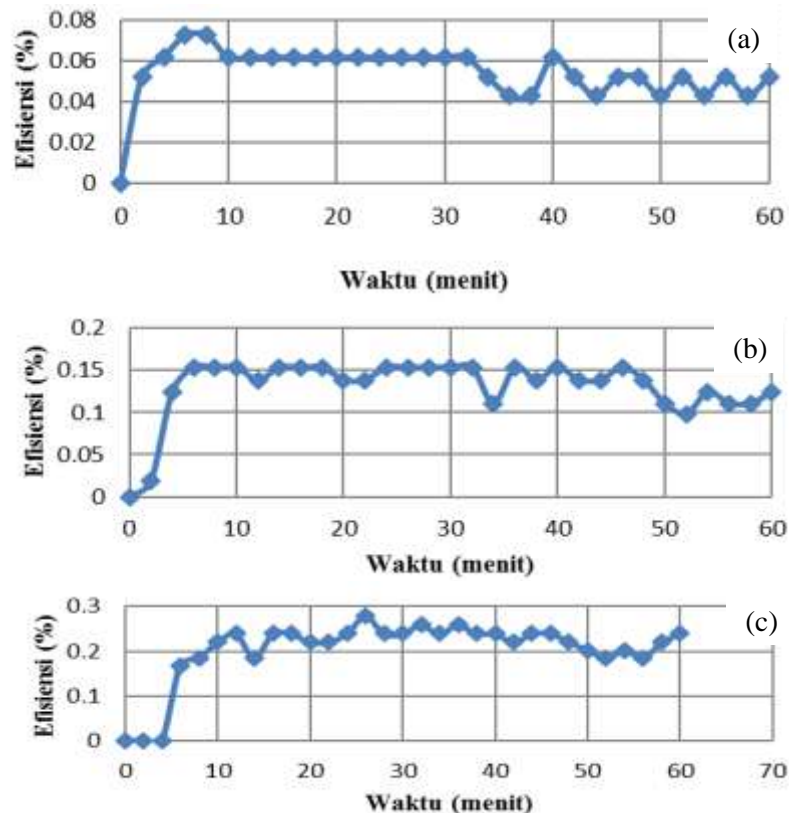
dimana  $\eta$  adalah efisiensi (%),  $W_{\text{output}}$  adalah daya output (watt) dan  $W_{\text{input}}$  adalah daya spirtus (watt). Untuk daya spirtus dihitung dengan persamaan:

$$W_{\text{input}} = m \times C_p \times \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (5)$$

dimana  $W_{\text{input}}$  adalah daya input spirtus (Watt),  $m$  = massa spirtus (kg),  $C_p$  = panas spesifik pada tekanan tetap (kJ/kg.K),  $\Delta T$  = perbedaan temperature (K) dan  $\Delta t$  = perbedaan waktu (s). Dari data daya output yang didapat dan data daya input spirtus yang kemudian dihitung efisiensinya. Hasil perhitungan efisiensinya dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan besarnya efisiensi yang dihasilkan oleh masing-masing tabung resonator terhadap waktu pergerakan dari osilasi air dalam selang. Sama halnya dengan daya output, pada Gambar 3 (a), efisiensi mulai naik pada menit ke 2, kemudian efisiensi stabil pada

menit ke 10 sampai ke 30 dan mulai berfluktuasi setelah menit ke 30. Efisiensi maksimal yang terjadi adalah 0,072 % dan berlangsung pada menit ke 6 dan ke 8. Pada Gambar 3 (b), efisiensi mulai naik pada menit ke 4, efisiensi yang terjadi cukup stabil pada menit ke 6 sampai menit ke 48, dan setelah itu terus berfluktuasi. Efisiensi maksimal yang terjadi adalah 0,153 %. Kemudian, Gambar 3 (c), efisiensi mulai terjadi pada menit ke 6, dan selanjutnya efisiensinya terus berfluktuasi. Efisiensi maksimal yang terjadi adalah 0,279 % dan berlangsung pada menit ke 26.



Gambar 3. Grafik hubungan antara efisiensi dan waktu pada penggerak mula termoakustik piston air dengan menggunakan tabung resonator (a)  $\varnothing$  outside 15,7 x 70 mm, (b)  $\varnothing$  outside 20 x 90 mm, dan (c)  $\varnothing$  outside 25,2 x 100 mm

Daya output yang dihasilkan mempengaruhi efisiensi yang terjadi. Sama halnya dengan daya output, efisiensi mulai naik dari tabung resonator  $\varnothing$  outside 15,7 x 70 mm,  $\varnothing$  outside 20 x 90 mm, dan  $\varnothing$  outside 25,2 x 100 mm waktunya semakin lama dari 2, 4 dan 6 menit. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar dan panjang tabung resonatornya maka akan semakin lama waktu pemanasan tabung resonator untuk mencapai temperatur yang sama sehingga perbedaan suhu antara tabung resonator dengan tabung pendingin juga makin lama maka osilasi air yang terjadi pada selang juga semakin lama sehingga efisiensi mesin yang dihasil juga semakin lama naiknya. Selain daripada itu, gambar 3 menunjukkan semakin besar dan panjang tabung resonatornya maka semakin besar nilai efisiensi yang dihasilkan dikarenakan daya output yang dihasilkan. Walaupun demikian semakin besar tabung resonatornya efisiensi yang dihasilkan kurang stabil. Nilai efisiensi yang dihasilkan lebih tinggi dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Suhanto (2009) dengan efisiensi maksimum sebesar 0.060 % (Suhanto dan Nugroho, 2009) dan Nugroho (2009) dengan efisiensi maksimum sebesar 0.213 % (Nugroho dan Suhanto, 2009).

#### 4. KESIMPULAN

Mesin penggerak mula termoakustik piston air dengan regenerator steel wool dengan panjang regenerator 60 mm yang divariasikan tabung resonatornya yaitu diameter luar 15,7 mm, 20

mm, dan 25,2 mm telah berhasil dibuat. Model dengan ukuran tabung resonator  $\varnothing_{\text{outside}} 25,2 \times 100$  mm menghasilkan daya terbesar sebesar 0,226 watt dan efisiensi energi terbesar sebesar 0,279 %. Semakin besar dimensi tabung resonator, maka waktu yang akan dicapai sehingga air dapat melakukan osilasi akan semakin lama. Selain itu, semakin besar dimensi tabung resonator, daya dan efisiensi yang dihasilkan akan semakin besar. Walaupun demikian semakin besar tabungnya maka daya output dan efisiensi yang dihasilkan kurang stabil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Balusamy, S., Li, L.K.B., Han, Z., Juniper, M.P., and Hochgreb, S., 2015, *Nonlinear Dynamics of a Self-Excited Thermoacoustic System Subjected to Acoustic Forcing*, Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 35 pp. 3229-3236.
- Chang, H., Kao, M.-J., Cho, K.-C., Chen, S.-L., Chu, K.-H., and Chen, C.-C., 2011, *Integration of Cuo Thin Films and Dye-Sensitized Solar Cells for Thermoelectric Generators*, Current Applied Physics, Vol. 11 pp. S19-S22.
- Fahey, D., and Timbie, P., 2006, *Thermoacoustic Oscillations Wave Motion & Optics* Vol. 10 pp. 1-9.
- K.Sumathy, A.Venkatesh, and V.Sriramulu, 1996, *Experimental Studies on Heat Transfer in the Flat-Plate Collector of a Solar Pump Mechanical Engineering*, Vol. 1 pp. 645-648.
- Konaina, T., Alkhwildy, E., Yassen, N., and Morad, I., 2014, *Thermoacoustic Prime Mover Sizing Software* Energy Procedia Vol. 50 pp. 1017-1026.
- Li, J., and Morgans, A.S., 2015, *Time Domain Simulations of Nonlinear Thermoacoustic Behaviour in a Simple Combustor Using a Wave-Based Approach*, Journal of Sound and Vibration, Vol. 346 pp. 345-360.
- Liu, J., Huang, X., Xu, G., and Chen, L., 2013, *Thermoelectric Properties of Layered Sr<sub>0.29</sub>CoO<sub>2</sub> Crystals*, Journal of Alloys and Compounds, Vol. 576 pp. 247-249.
- Mengistu, M.G., Simane, B., Eshete, G., and Workneh, T.S., 2015, *A Review on Biogas Technology and Its Contributions to Sustainable Rural Livelihood in Ethiopia*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 48 pp. 306-316.
- Nugroho, T.S., and Suhanto, M., 2009, *Pompa Air Energi Termal Dengan Evaporator 44 Cc Dan Pemanas 78 Watt*, Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri, Bandung.
- Pasalli, Y.R., and Rehiara, A.B., 2014, *Design Planning of Micro-Hydro Power Plant in Hink River*, Procedia Environmental Sciences Vol. 20 pp. 55-63.
- Setiawan, I., Utomo, A.B.S., Nohtomi, M., and Katsuta, M., 2010, *Experimental Study on Thermoacoustic Cooling System with Two Stacks in a Straight Resonator Tube*.
- Suhanto, M., and Nugroho, T.S., 2009, *Pompa Air Energi Termal Dengan Evaporator 39 Cc Dan Pemanas 266 Watt*, Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri Bandung.