

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI PANJANG RESONATOR TERHADAP TEMPERATUR ONSET TERMOAKUSTIK GENERATOR GELOMBANG BERDIRI PADA POSISI VERTIKAL

Rinasa Agistya Anugrah

Program Studi D3 Teknik Mesin, Program Vokasi, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Brawijaya,
Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55183
rinasaanugrah@umy.ac.id

Abstrak

Termoakustik generator merupakan salah satu piranti konversi energi yang dapat mengubah energi kalor menjadi kerja dalam bentuk gelombang akustik. Alat ini dapat memanfaatkan energi kalor yang terbuang atau tidak terpakai dari industri, geotermal, motor bakar, dan energi surya. Temperatur onset dapat merepresentasikan kinerja piranti ini dilihat dari input energi yang digunakan dalam aplikasinya. Semakin rendah temperatur onset yang terjadi, maka semakin sedikit pula energi yang digunakan untuk membangkitkan gelombang akustik. Metode pengukuran temperatur onset adalah dengan menempatkan dua termokopel pada kedua sisi stack. Perbedaan Temperatur keduanya merupakan temperatur onset (ΔT_{onset}) yang terjadi tepat saat pertama kali gelombang akustik muncul. Pada penelitian ini telah dilakukan penelitian dengan variasi panjang resonator 390, 780, dan 1170 mm pada posisi vertikal. Hasilnya pada panjang resonator dari 390 mm ke 780 mm temperatur onset mengalami penurunan, yaitu 206°C ke 203°C setelah itu mengalami peningkatan pada 1170 mm, yaitu 216 °C. Pada penelitian ini, jika dilihat dari input energinya, kinerja termoakustik generator terbaik adalah resonator dengan panjang 780 mm.

Kata kunci: energi akustik, temperatur onset, kinerja, panjang resonator, termoakustik generator

Abstract

Thermoacoustic generator is one of energy conversion device that change an thermal energy to work in form of acoustic wave. This device can get many beneficial of thermal energy which banned and not to be used again from industry, geothermal, combustion engine, and solar energy. Onset can representated how many the performance of this device if seen by input energy used the system of the thermoacoustic generator in aplication. Decreasing onset temperature so decrease the energy that used to generate acoustic wave. The onset temperature measurement method is to place two thermocouples on both sides of the stack. The difference in temperature is both the onset temperature (ΔT_{onset}) that occurs just first time an acoustic wave appears. In this researched would be done researched with variation of resonator length 390, 780, and 1170 mm of vertical position. The result were the onset temperature of the resonator length from 390 mm to 780 mm became decreased, that were 206°C to 203°C, after that it became increased of the resonator length 1170 mm, that was 216°C. In this research, if seen by the input energy, the best performance of thermoacoustic generator is on 780 mm of resonator length.

Keywords : acoustic energy, onset temperature, performance, resonator length, thermoacoustic generator

PENDAHULUAN

Termoakustik adalah suatu bidang yang mempelajari fenomena fisis yang melibatkan

perbedaan temperatur dapat membangkitkan gelombang akustik, atau sebaliknya, gelombang akustik dapat menimbulkan perbedaan

temperatur. Termoakustik menjelaskan tentang konversi energi yang terjadi pada interaksi osilasi temperatur yang diikuti osilasi tekanan dalam gelombang akustik dengan dinding batas. Untuk pengaplikasian fenomena ini dibutuhkan suatu alat yang disebut dengan mesin termoakustik. Mesin termoakustik dibagi menjadi dua macam. Mesin yang mampu menghasilkan gelombang akustik akibat adanya perbedaan temperatur disebut termoakustik generator. Kemudian mesin yang mampu menghasilkan perbedaan temperatur akibat adanya kerja dari gelombang akustik. Apabila produksi temperatur dingin disebut pendingin termoakustik. dan jika produksi temperatur panas disebut pompa kalor termoakustik. Adapun beberapa keunggulannya adalah memiliki reliabilitas tinggi, relatif murah, ramah lingkungan, *no moving part*, dan terintegrasi (Setiawan, 2005).

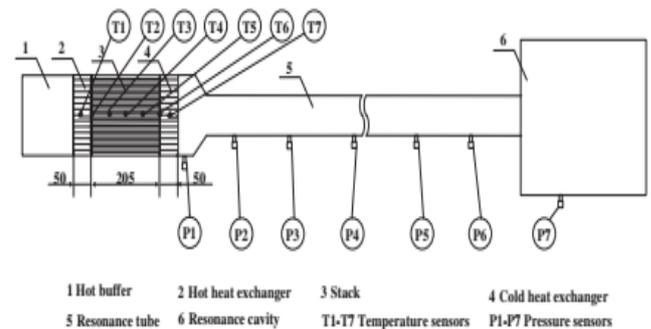
Termoakustik generator merupakan alat untuk mengkonversi kalor menjadi gelombang akustik yang menggunakan aliran kalor antara sisi panas dan sisi dingin untuk menghasilkan gelombang bunyi. Gelombang akustik yang dihasilkan termoakustik generator ada dua tipe, yaitu gelombang berdiri (*standing wave*) dan gelombang berjalan (*traveling wave*). Kedua tipe gelombang ini bergantung pada jenis resonator yang digunakan. Termoakustik generator membutuhkan gradien temperatur yang tinggi untuk menghasilkan bunyi. Gradien temperatur sendiri terjadi di bagian yang sering disebut “*stack*” (untuk mesin termoakustik gelombang berjalan disebut *regenerator*), diletakkan antara sisi panas dan sisi dingin dari termoakustik generator.

Termoakustik generator dapat diaplikasikan pada dunia otomotif yaitu pada kendaraan bermotor khususnya. Telah dilakukan penelitian yang mengarah pada perkembangan otomotif di dunia. Hatazawa dkk. (2004) meneliti tentang *driven* pendingin termoakustik dengan memanfaatkan panas dari gas buang mesin kendaraan bermotor. Zoontjens (2005) melakukan penelitian yang sama dengan Hatazawa namun pendingin termoakustik yang dihasilkan, digunakan sebagai pengganti pendingin udara konvensional pada kendaraan bermotor.

Pada Penelitian ini termoakustik generator yang dipilih adalah jenis gelombang berdiri

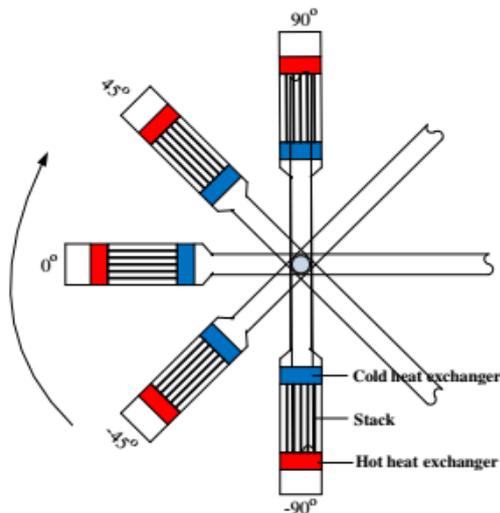
karena secara konstruksi mudah untuk buat dibandingkan jenis gelombang berjalan.

He dkk. (2013) melakukan penelitian pada termoakustik generator gelombang berdiri untuk menganalisis termodinamika pada proses *onset*, penjelasan baru mengenai *onset* dan *damping behavior*, dan hasil eksperimental pada perbedaan sudut kemiringan penempatan alat. *Power* pada termoakustik generator yang digunakan adalah dengan pemanas elektrik. Sensor temperatur dipasang 7 titik mulai dari HHX (*Hot Heat Exchanger*) pada T1 sampai CHX (*Cold Heat Exchanger*) pada T7 ditunjukkan Gambar 1. Tujuannya untuk mengetahui distribusi temperatur pada *stack* disetiap titik sepanjang sumbu-x mulai dari HHX sampai CHX. Sensor tekanan dipasang 7 titik, 6 pada resonator *tube* dan 1 pada *resonance cavity* untuk mengetahui tekanan disetiap titiknya.

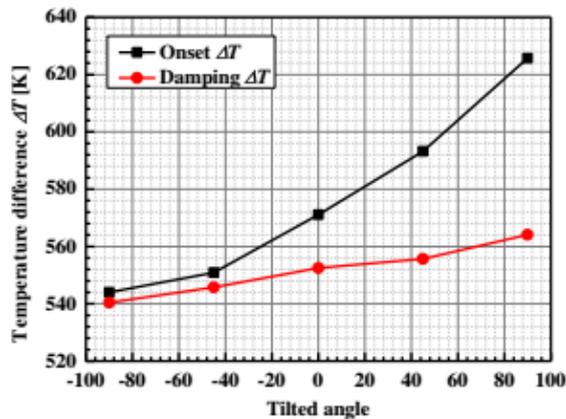


Gambar 1. Skema *standing-wave thermoacoustic generator* (He dkk. 2013)

Penelitian tersebut menggunakan variasi *onset* dan *damping behavior* serta sudut kemiringan penempatan *engine* -90° , -45° , 0° , 45° , dan 90° . Skema variasi sudut kemiringan ditunjukkan pada Gambar 2. Beberapa parameter yang diamati adalah *pressure ratio*, perbedaan temperatur (ΔT), temperatur *onset*, *heating time*, *heating temperature*, dan amplitudo tekanan. Hasil penelitian ini dilihat dari analisis temperatur *onset* ditunjukkan pada grafik Gambar 3. berdasarkan variasi sudut kemiringannya.



Gambar 2. Skema variasi sudut kemiringan pada *thermoacoustic generator* (He dkk. 2013)



Gambar 3. Temperatur *onset* dan *damping* dengan fluida kerja argon (He dkk. 2013)

Dari data grafik pada Gambar 2.3 di atas dapat disimpulkan bahwa posisi sudut kemiringan -90° , dengan posisi *thermoacoustic engine* diposisikan vertikal dimana HHX berada di bawah CHX, didapatkan perbedaan temperatur (ΔT) *onset* yang paling rendah. Hal ini berarti dengan posisi tersebut, dapat menghasilkan gelombang bunyi pada temperatur yang lebih rendah dibandingkan posisi yang lainnya.

Hariharan dkk. (2012) telah melakukan penelitian dengan variasi geometri *stack* dan panjang resonator untuk mengetahui performa *standing-wave thermoacoustic engine*. Pada penelitian ini variasi panjang resonator yang dilakukan dengan panjang 200, 300, 400, dan 500 mm. Variasi panjang resonator tersebut mempengaruhi temperatur onsetsnya, semakin panjang resonator semakin kecil temperatur onsetsnya. Namun penelitian tersebut hanya

dilakukan pada posisi horizontal atau pada sudut kemiringan 0° .

Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi panjang resonator dengan memilih posisi sudut kemiringan -90° , atau posisi vertikal dimana HHX berada di bawah CHX.

METODE

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pipa resonator, *heat exchanger*, termokopel tipe-K, pemanas listrik, dan pompa air. Peralatan tersebut harus dalam keadaan yang baik saat akan dilakukan *set up* penelitian.

Pipa resonator berbahan *stainless steel* 304 dan berdiameter dalam 2 inci (52,5 mm/ sesuai ukuran spesifikasi diameter dalam pipa) dan dengan tebal pipa 3,92 mm digunakan sebagai tempat untuk gas kerja, *stack*, dan dua buah *heat exchanger*. Terdapat satu bagian pipa yang dihubungkan dengan *flange*. Pipa tersebut memiliki panjang 390 mm.

Heat exchanger merupakan salah satu komponen *thermoacoustic engine*. *Heat exchanger* berfungsi sebagai alat untuk memasukkan dan melepaskan kalor ke dalam sistem agar terjadi perbedaan temperatur di kedua sisi *stack* sehingga efek termoakustik dapat terjadi. Bahan *heat exchanger* harus memiliki konduktivitas termal yang baik agar perpindahan kalor dapat terjadi secara optimal. Kedua *heat exchanger* (*hot heat exchanger* dan *cold heat exchanger*) pada penelitian ini terbuat dari tembaga. *Hot heat exchanger* (HHX) berdiameter 52,5 mm, panjang 40 mm, memiliki dua ukuran pori-pori yaitu berdiameter 3 mm dan 5 mm. *Cold heat exchanger* (CHX) berdiameter 52,5 mm, panjang 40 mm, dan memiliki pori-pori berdiameter 3 mm. Agar temperatur CHX stabil, maka bagian luar pipa resonator yang berhimpitan dengan CHX diberi sirkulasi air.

Termokopel tipe-K digunakan untuk mengetahui temperatur di dalam sistem karena memiliki *range* temperatur besar. Terdapat tiga termokopel dalam penelitian ini. Dua termokopel digunakan untuk mengukur temperatur di kedua sisi *stack*. Termokopel yang lain digunakan untuk mengukur temperatur lingkungan.

Pemanas listrik digunakan untuk menaikkan temperatur HHX agar terjadi

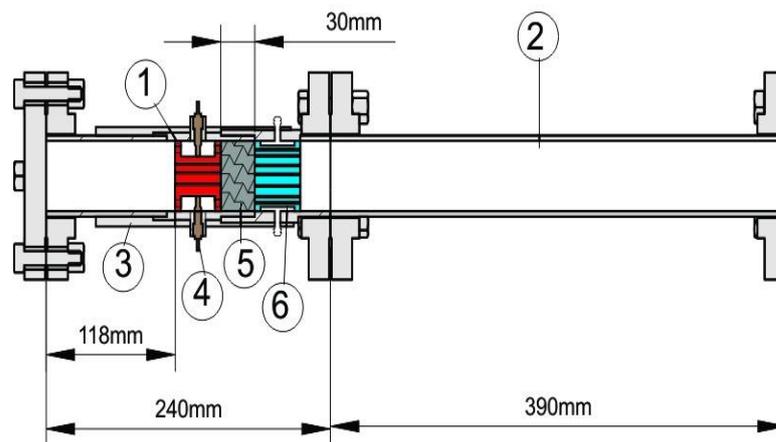
perbedaan temperatur pada kedua sisi *stack*. HHX dihubungkan dengan *glow plug* listrik berdaya maksimal 360 watt dengan tegangan operasi 12 volt arus DC. *Battery Charger Transformer* (BCT) digunakan sebagai sumber listrik untuk *supply* arus listrik ke pemanas listrik (*glow plug*) karena listrik dari PLN mempunyai tegangan 220 volt (arus AC), sementara tegangan maksimal pemanas listrik adalah 12 volt (arus DC).

Kalor yang mengalir dari HHX ke CHX perlu dibuang keluar sistem agar perbedaan temperatur diantara keduanya tetap stabil, sehingga diperlukan sistem pemindah kalor untuk CHX. Pompa akuarium menyuplai air untuk mengitari bagian resonator yang berhimpitan dengan CHX. Air yang masuk dan keluar dikumpulkan dalam ember dengan volume air cukup besar agar kalor yang diserap

tidak mengubah temperatur air dalam ember tersebut. Pompa akuarium yang digunakan dengan daya 13 Watt dan debit 700 L/h.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *wire mesh screen stainless steel*. *Stack* yang dipakai dalam penelitian ini merupakan *stack* yang terbuat dari laminasi (susunan) *wire mesh screen stainless steel*. *Wire mesh screen* dipotong melingkar dengan diameter 2 inchi (52,5 mm) dan disusun rapat ke dalam resonator dengan ketebalan *stack wire mesh screen* 30 mm. *Stack* tersebut diletakkan diantara HHX dan CHX. Pada penelitian ini *stack wire mesh screen stainless steel* yang digunakan adalah dengan nomor *mesh* 12.

Geometri termoakustik generator yang digunakan dalam penelitian ini tampak pada Gambar 4 di bawah ini:



Gambar 4. Geometri termoakustik generator

Keterangan Gambar 4. di atas adalah sebagai berikut :

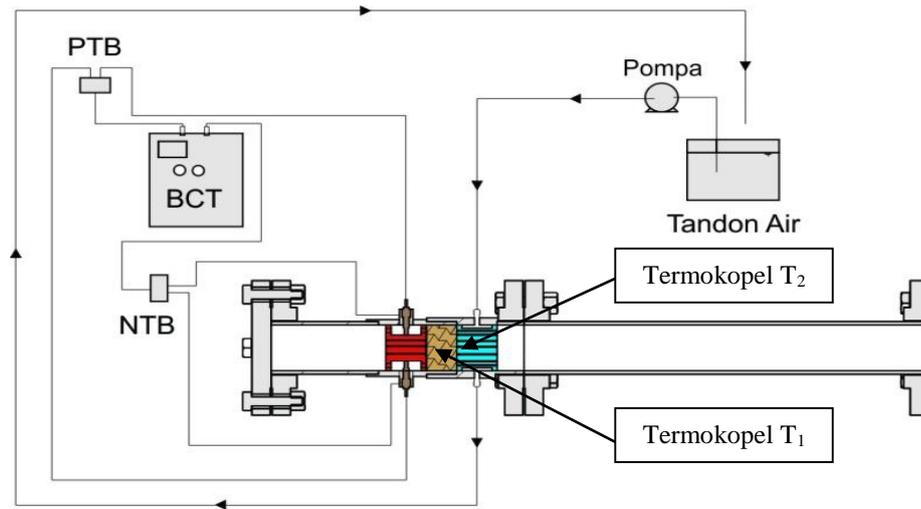
1. HHX
2. Resonator
3. *Thermal insulation*
4. *Glow plug*
5. *Wire mesh*
6. CHX

Peralatan yang telah dijelaskan sebelumnya dirakit dengan cara berikut seperti yang terlihat pada Gambar 5:

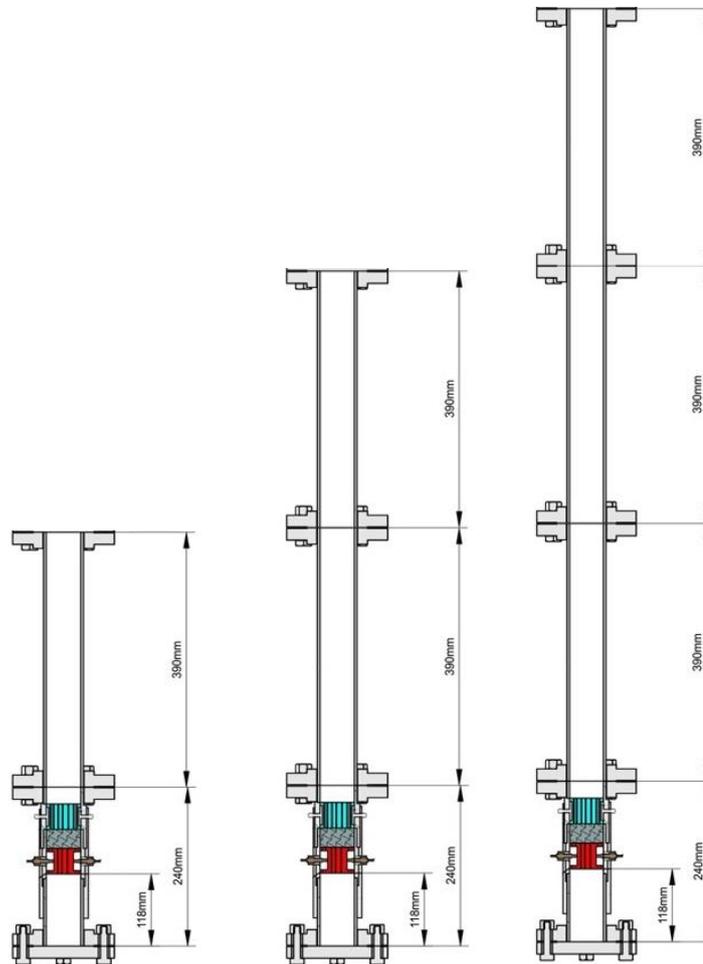
1. Pemasangan HHX ke dalam *housing*-nya dengan ikatan ulir. Kemudian pemasangan 6 buah *glow plug* pada 6 lubang *housing* sampai menyentuh permukaan HHX.
2. Menghubungkan *spool* pipa resonator dengan *spool* pipa CHX dan diberi gasket.

Memastikan perapatan yang cukup agar tidak terjadi kebocoran.

3. *Stack wire mesh screen* disusun rapat di dalam pipa secara acak.
4. Pipa resonator dihubungkan dan diberi gasket pada tiap sambungannya.
5. Termokopel (T_1 dan T_2) dipasang di kedua sisi *stack*, dan di luar pipa untuk mengetahui temperatur lingkungan.
6. Alat termoakustik generator diposisikan pada posisi vertikal.
7. Pompa akuarium diaktifkan untuk mengalirkan air pada temperatur kamar (25°C) ke CHX.
8. Alat siap digunakan.



Gambar 5. Skema penelitian termoakustik generator



Gambar 6. Variasi tigas resonator termoakustik generator pada posisi vertikal

Alur pengambilan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Peralatan disiapkan, termasuk *stack* yang sudah disusun. Eksperimen dilakukan pada tekanan 1 atm dan temperatur kamar.
2. Ketika semua sudah siap, pemanas listrik diaktifkan dengan mengatur daya input \approx 231 Watt.
3. Pencatatan data temperatur yang diukur oleh termokopel tipe-K dicatat dan disimpan dalam format *excel*. Pencatatan temperatur dilakukan pada sisi *stack* dekat HHX dan yang lain pada sisi *stack* dekat CHX seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Beda temperatur di kedua sisi *stack* setiap 1° kenaikan temperaturnya.
4. Pencatatan data temperatur dilakukan hingga gelombang akustik muncul ditandai dengan bunyi yang terdengar dari pipa resonator alat termoakustik generator. Hal ini juga ditandai oleh beda temperatur antara sisi panas dan sisi dingin *stack* cenderung konstan.
5. Matikan pemanas listrik dan eksperimen berakhir ketika beda temperatur pada kedua sisi *stack* sama dengan temperatur lingkungan.
6. Langkah (2) sampai (5) dilakukan kembali dengan variasi panjang resonator yang lainnya termoakustik generator yang ditunjukkan Gambar 6.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Temperatur *onset* dapat dipahami sebagai beda minimum temperatur antara sisi panas dan sisi dingin *stack* yang menyebabkan terjadinya osilasi gas kerja pada Termoakustik Generator. Temperatur *onset* merupakan salah satu parameter dasar dalam Termoakustik Generator, semakin rendah temperatur *onset* maka sumber kalor yang dialirkan ke Termoakustik Generator tidak perlu memiliki temperatur tinggi. Sehingga energi kalor yang diperlukan kecil.

Osilasi tidak akan terjadi apabila perbedaan temperatur antar sisi *stack* tidak mencapai atau melebihi temperatur kritis. Hal ini juga disebut temperatur *onset*, dituliskan dalam persamaan (Arafa, 2011):

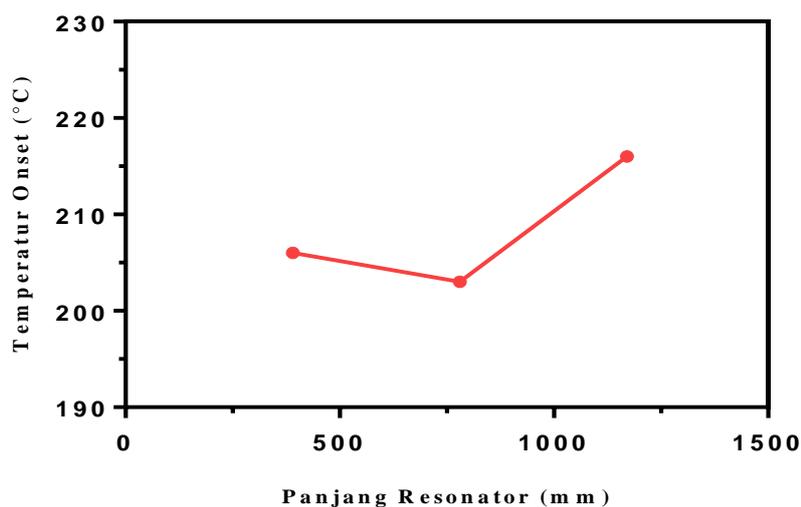
$$\Delta T_{kritis} = \frac{P\omega}{\rho c_p u} \quad (1)$$

dimana P adalah tekanan dinamik, ω adalah frekuensi angular, u adalah kecepatan osilasi gas kerja, ρ adalah kerapatan gas, dan c_p adalah kalor spesifik per satuan massa gas. Ketika gas kerja sudah berosilasi karena beda temperatur pada kedua sisi *stack*. ΔT_{kritis} adalah beda temperatur pada sisi *stack* ketika daya akustik dari *stack* sama dengan nol.

Berikut ini merupakan data temperatur *onset* yang terjadi pada variasi sudut kemiringan dalam penelitian ini yang ditunjukkan Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Data temperatur *onset* berdasarkan variasi panjang resonator pada posisi vertikal (90°)

No.	Panjang Resonator (mm)	Temperatur Onset (°C)
1	390	206
2	780	203
3	1170	216



Gambar 7. Variasi tigs resonator termoakustik generator pada posisi vertikal

Grafik pada Gambar 7. Tidak menunjukkan tren linier (segaris lurus) yang terjadi pada temperatur onset termoakustik generator berdasarkan panjang resonatornya seperti yang dilakukan Hariharan dkk. (2012), dimana semakin panjang resonator yang digunakan maka semakin rendah temperatur *onset* yang terjadi, sebaliknya semakin pendek resonator maka semakin tinggi temperatur *onset*-nya. Ia menyimpulkan bahwa temperatur onset yang terendah adalah pada panjang resonator yang terpanjang. Hal ini terjadi karena frekuensi tertinggi terdapat pada resonator yang terpanjang. Berdasarkan Persamaan (1) di atas, semakin besar frekuensi angular (ω) maka akan semakin besar pula temperatur kritis (ΔT_{kritis}) atau temperatur *onset* (ΔT_{onset}). Sementara waktu *onset* bergantung pada temperatur *onset*-nya. Semakin besar temperatur onset-nya semakin lama waktu *onset*-nya. Namun pada penelitian dengan posisi vertikal (sudut kemiringan 90°) justru menunjukkan bahwa panjang resonator 780 mm yang memiliki temperatur onset terendah yaitu sebesar 203°C .

SIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan panjang resonator dari 390 mm ke 780 mm temperatur onset mengalami penurunan, yaitu 206°C ke 203°C . setelah itu mengalami peningkatan pada 1170 mm, yaitu 216°C . Pada penelitian ini, jika dilihat dari input energinya, kinerja termoakustik generator terbaik adalah resonator dengan panjang 780 mm.

Saran perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui dan menjelaskan alasan ilmiah secara fisis yang menyebabkan tren pada grafik tidak linier (segaris lurus).

UCAPAN TERIMAKASIH

Atas terselesainya penelitian dan penulisan artikel ini, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Universitas Gadjah Mada, yang telah menyediakan tempat pengujian dalam penelitian ini.
2. Dr. Eng. Adhika Widyaparaga, S.T., M.Biomed.E., selaku kepala laboratorium mekanika fluida Universitas Gadjah Mada yang telah memberi ijin menggunakan laboratorium sekaligus mendanai guna penulis melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arafa N. M., A. H. Ibrahim, K. Addas dan Ehab Abdel-Rahman, 2011, *Design considerations for thermoacoustic engines for low onset temperature and efficient operation*, Forum Acusticum, Aalborg, Denmark.
- Hariharan N.M., Sivashanmugam P., dan Kasthuriangan, 2012, *Influence of stack geometry and resonator length on the performance of thermoacoustic engine*, 10.1016/j.apacoust.2012.05.003.
- Hatazawa M., H. Sugita, T. Ogawa dan Y. Seo, 2004, *Performance of a thermoacoustic*

- sound wave generator driven with waste heat of automobile gasoline engine.* Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng., 70:292-299.
- He Y. L., Ke H. B., Cui F. Q., dan Tao W. Q., 2013, *Explanation on the onset and damping behaviors in a standing-wave thermoacoustic engine*, 10.1016/j.applthermaleng.2013.04.031.
- Setiawan, I., Utomo, A. B. S., Maruto, G, dan Andi, R.W, 2005, *Rancang Bangun Piranti Termoakustik Sebagai Pendingin dan Pemanas Secara Simultan*, Laporan Penelitian Antar Bidang Ilmu, Proyek Penelitian Antar Bidang Ilmu, FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Zoontjens L., C. Howard, A. Zander dan B. Cazzolate, 2005, *Feasibility study of an automotive thermoacoustic refrigerator*, Proceedings of acoustics, Busselton, Australia.