

DOI: doi.org/10.21009/SPEKTRA.022.05

PENGARUH PANJANG STACK SELUBUNG KABEL TERHADAP PERUBAHAN SUHU PADA SISTEM PENDINGIN TERMOAKUSTIK

Indah Kharismawati^{1, a)}, Hanif Rafika Putri^{b)}

¹*IKIP PGRI Jember Jl. Jawa No 10 Sumpalsari Jember.*

Email: ^{a)}indah.kharismawati@yahoo.com, ^{b)}rafika.putri13@gmail.com

Abstrak

Penelitian mengenai pendingin termoaustik ramah lingkungan menggunakan stack (penukar kalor) dari bahan selubung kabel. Tabung resonator yang digunakan pada pendingin termoaustik adalah tabung PVC (*polyvinyl chloride*) berdiameter 5,25 cm dengan panjang 87 cm. Pemvariasian panjang stack 4cm, 5 cm, 6 cm, 7 cm, dan 8 cm dilakukan untuk memperoleh pengaruh dari perubahan suhu maksimum yang didapat dari hasil pengoperasian pada sistem pendingin termoaustik. Hasil yang didapat pada penggunaan panjang stack 4 cm menghasilkan penurunan suhu maksimum sebesar 21,6 °C dari suhu awal (suhu ruangan), panjang stack 5 cm menghasilkan penurunan suhu maksimum sebesar 21,1 °C dari suhu awal (suhu ruangan), panjang stack 6 cm menghasilkan penurunan suhu maksimum sebesar 22,6 °C dari suhu awal (suhu ruangan), panjang stack 7 cm menghasilkan penurunan suhu maksimum sebesar 22,0 °C dari suhu awal (suhu ruangan), sedangkan panjang stack 8 cm menghasilkan penurunan suhu maksimum sebesar 23,3 °C dari suhu awal (suhu ruangan).

Kata-kata kunci: Termoaustik, stack, perubahan suhu.

Abstract

Research on environmentally friendly thermo-acoustic coolants uses a heat exchanger from the cable sheath material. The resonator tube used in the thermoelectric cooler is a 5.25 cm diameter PVC (polyvinyl chloride) tube with a length of 87 cm. Variations in stack lengths of 4cm, 5cm, 6cm, 7cm, and 8cm were performed to obtain results on thermoelectric coolers. Results are available on the use of stack length 4 cm high temperature 21.6 °C from the initial temperature), the stack length 5 cm high temperature 21.1 °C from the initial temperature (room temperature), the stack length of 6 cm resulted in a maximum temperature drop of 22.6 °C from the initial temperature (room temperature), the stack length of 7 cm resulted in a maximum temperature drop of 22.0 °C from the initial temperature (room temperature), while the stack length of 8 cm resulted in a decrease in temperature maximum of 23.3 °C from the initial temperature (room temperature).

Keywords: Thermoacoustic, stack, temperature changes.

PENDAHULUAN

Termoaustik merupakan bidang kajian tentang interaksi antara kalor dan bunyi, yaitu konversi energi termal menjadi energi bunyi yang disebut dengan “efek termoaustik” [1]. Sedangkan pendingin termoaustik (*thermoacoustic refrigeration*) merupakan fenomena perpindahan energi dari dingin ke panas yang dihasilkan dengan membangkitkan medan gelombang akustik disekitar batas benda padat yang diambil dari sebuah stack yang terbuat dari tumpukan benda paralel pada perangkat gelombang berdiri [2] dalam pengertian yang lebih mudah di pahami adalah gelombang bunyi yang

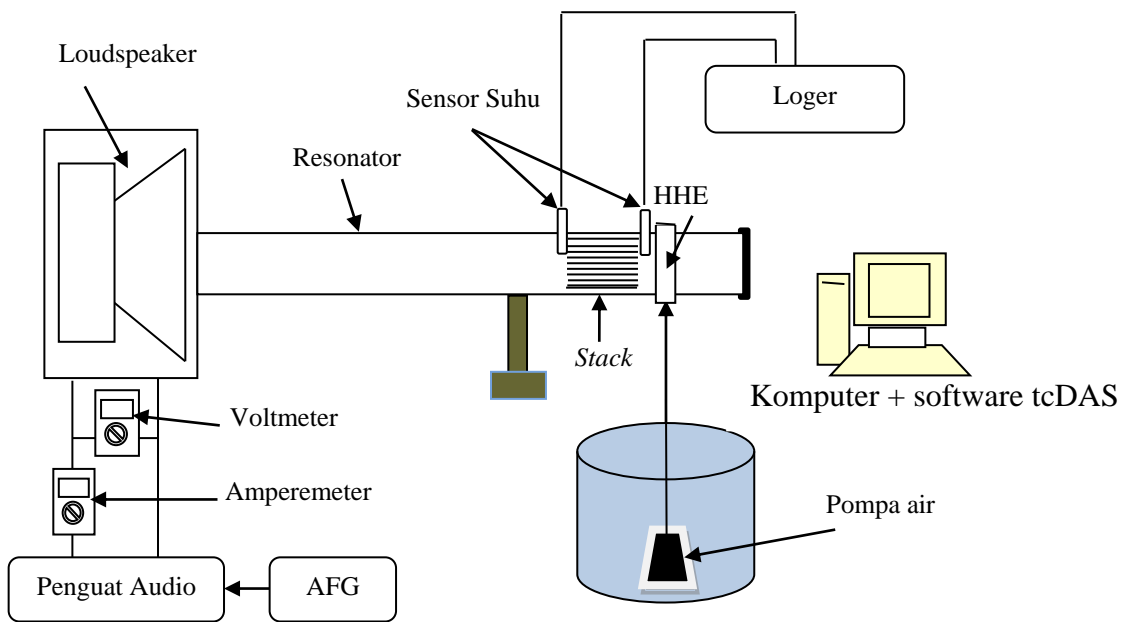
dapat menyebabkan perbedaan suhu karena adanya udara yang melalui kanal-kanal kecil dalam perambatannya.

Pendingin termoakustik tidak menggunakan zat-zat yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan seperti CFC (*Chlorofluorocarbon*), melainkan menggunakan gas (helium, xenon, udara) sebagai zat kerja yang tidak menimbulkan kerusakan lapisan ozon dan tidak menimbulkan efek rumah kaca [3].

Penelitian di bidang termoakustik baik itu *thermoacoustic refrigeration* maupun *thermoacoustic heat engine* sudah banyak dilakukan terutama dalam hal bentuk, design, ukuran dan bahan yang digunakan pada pembuatan tabung resonator dan stack. Penelitian-penelitian tersebut diantaranya adalah : Penggunaan stainlesssteel dengan diameter luar 18,5 mm dengan variasi panjang dari 4 sampai 9 m diperoleh panjang optimum 8 m dan suhu yang dihasilkan adalah 88,6 K [4]. Sementara itu dalam sebuah penelitian menyatakan bahwa syarat sebuah tabung resonator harusnya mempunyai unsur : padat, ringan, dan cukup kuat. Penggunaan logam silinder dengan perbandingan diameter pada penyempitan tabung resonator 0,54 dapat mengurangi kehilangan energi 0,2 watt [5]. Penelitian pendingin termoakustik menggunakan tabung resonator dari bahan PVC dengan diameter 60 mm mampu menghasilkan suhu pada tandon dingin mencapai $T_{cold} = 18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ [6].

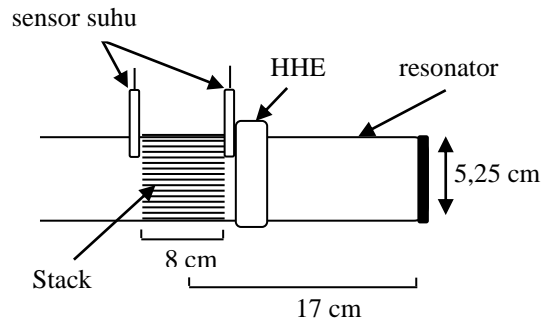
METODE PENELITIAN

Rancangan Sistem Termoakustik



GAMBAR 1 Skema rancangan piranti termoakustik [7]

Stack sepanjang 8 cm dengan diameter 5,25 cm ditempatkan pada jarak 17 cm dari ujung tertutup tabung resonator, diukur dari titik tengah panjang *stack* (Gambar 2).



GAMBAR 2 Stack ditempatkan pada jarak $\lambda/20$ dari ujung tertutup tabung resonator.

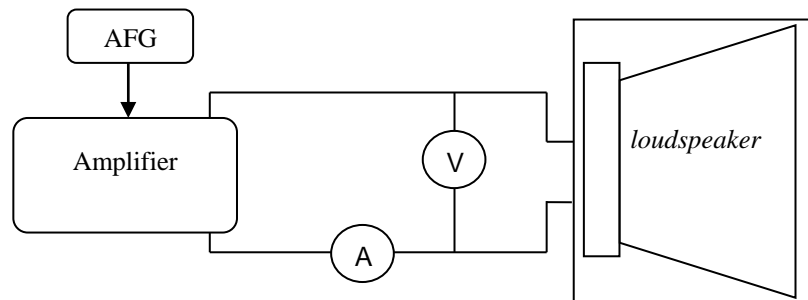
Perangkat Penelitian

Secara umum, perangkat pada penelitian ini dapat dikelompokkan menjadi empat bagian, yaitu perangkat sistem sumber bunyi, perangkat sistem deteksi suhu, perangkat sistem termoakustik, dan perangkat penunjang sistem termoakustik.

Sistem Sumber Bunyi

Pada sistem sumber bunyi, peralatan yang digunakan meliputi:

- Loudspeaker* (berserta kotak dari *acrylic* yang dilapisi *sterofoam*)
- AFG (*Audio Function Generator*)
- Penguat daya stereo (*stereo power amplifier*)
- Multimeter



GAMBAR 3 Skema Sistem Sumber Bunyi

Sistem sumber bunyi (gambar 3) terdiri dari AFG (*audio function generator*), penguat daya stereo (*amplifier*) dan *loudspeaker*. *Loudspeaker* membangkitkan gelombang bunyi dengan frekuensi dan bentuk gelombang yang diatur menggunakan AFG (*Audio Function Generator*) dengan ketelitian 1 Hz. Sinyal yang keluar dari AFG masih lemah sehingga diperlukan penguatan sinyal menggunakan penguat audio (*amplifier*). AFG dan *amplifier* dapat dikondisikan untuk menghasilkan tegangan dan arus yang kita inginkan. Daya masukan untuk *loudspeaker* diketahui dari arus dan tegangan yang teramati pada multimeter lalu dihitung sesuai persamaan:

$$P = VI \quad (1)$$

Komponen Sistem Pendeteksi Suhu

Pengukuran suhu pada tandon panas dan tandon dingin peralatan yang digunakan meliputi:

- Sensor suhu IC LM-35
- Logger
- Computer dengan software TcDAS (*Thermoacoustic DAS*)

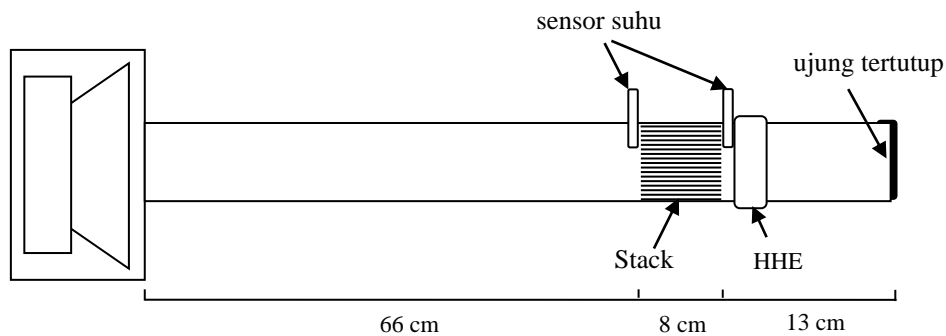
Perubahan suhu tandon panas dan dingin yang ada di ujung-ujung *stack* diukur menggunakan sensor suhu IC LM-35 yang memiliki 2 saluran (masing-masing 1 sensor untuk tandon panas dan dingin), masuk ke perangkat keras data logger lalu dihubungkan dengan komputer yang di dalamnya telah dipasang perangkat lunak TcDAS (Thermoacoustic DAS).

Komponen tambahan berupa dua buah pompa air (*water pump*) dan selang. Dimana pompa pertama dipasang untuk memompa cairan agar dapat dialirkan ke *hot heat exchanger (HHE)* dan pompa kedua untuk memompa cairan agar dapat dialirkan ke *loudspeaker*.

a. Bahan Penelitian

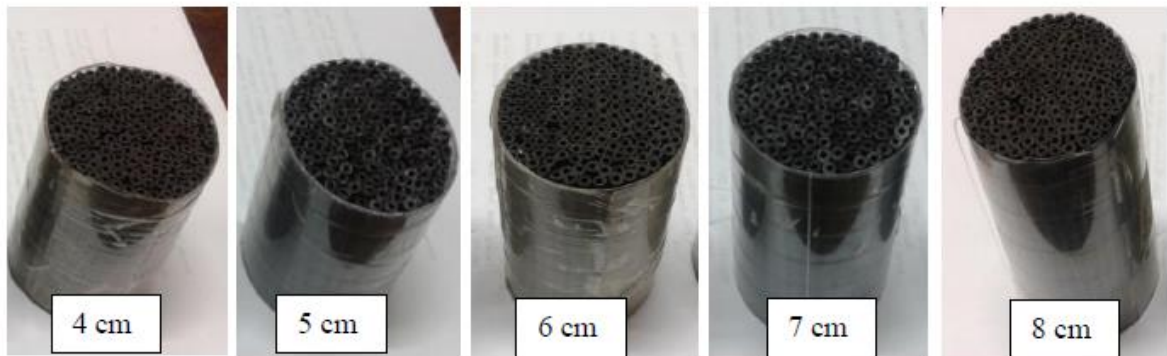
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Tabung resonator dari pipa PVC berdiameter 5,25 cm dengan panjang 87 cm beserta tutup pipa untuk pendingin termoakustik. Tabung resonator terdiri dari 3 bagian (Gambar 4), yaitu:
 - a. Bagian yang langsung terhubung dengan *loudspeaker* yang memiliki panjang 66 cm.
 - b. Bagian yang berisi *stack* dengan panjang 8 cm.
 - c. Bagian penutup tabung dengan panjang 13 cm.



GAMBAR 4 Skema Tabung Resonator Model *Standing Wave*

1. *Stack* dari bahan selubung kabel dengan diameter lubang sebesar $(1,50 \pm 0,05)$ mm dan variasi panjang *stack* masing-masing 4 cm, 5 cm, 6 cm, 7 cm dan 8 cm.

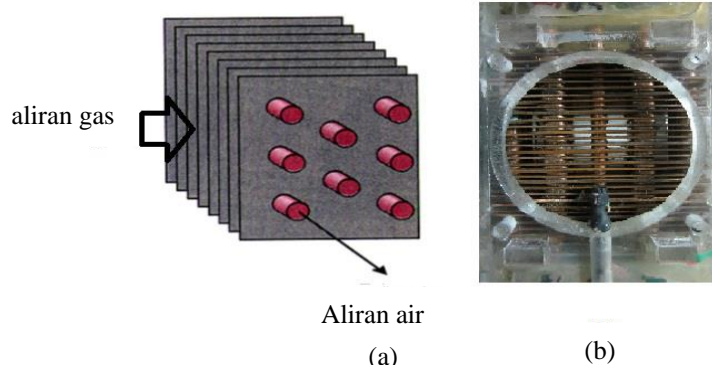


GAMBAR 5 *Stack* dari bahan selubung kabel dengan panjang 4 cm, 5 cm, 6 cm, 7 cm, dan 8 cm

Stack merupakan komponen inti pada sistem termoakustik. *Stack* berfungsi sebagai penukar kalor untuk memompa kalor sehingga terjadi perbedaan suhu antara tandon panas dan tandon dingin. Pemilihan *stack* pada penelitian ini, karena bahan-bahan *stack* tersebut terbuat dari bahan isolator (konduktivitas termal rendah), yang sangat baik digunakan untuk bahan *stack*, sehingga diharapkan menghasilkan perubahan suhu yang besar.

2. Sebuah *hot heat exchanger (HHE)* beserta air.
Heat exchanger (HE) (Gambar 6) digunakan untuk memindahkan/menukar panas dari sistem ke sistem yang lain tanpa perpindahan massa. Penukar panas untuk tandon panas (HHE) terbuat dari pipa tembaga dan plat-plat tembaga yang disusun menjadi jenis *finned tubular heat exchanger* dan dibungkus dengan kaca akrilik (*Polymethyl methacrylate*).

Fluida cair yang digunakan adalah air PDAM. Kalor pada tandon panas akan diserap oleh pipa tembaga dimana di dalamnya terdapat fluida yang mengalir, sehingga kalor tersebut akan dibuang keluar bersama aliran fluida cair. Dengan kata lain, cairan yang mengalir dalam HHE pada tandon panas akan membuang kalor ke luar sistem termoakustik. Hal ini menyebabkan suhu pada tandon panas akan turun.



GAMBAR 6 (a) Skema penukar panas jenis *finned tubular* (tampak atas), (b) Penukar panas yang digunakan dalam penelitian (tampak samping) [8]

b. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

1. Menentukan frekuensi resonansi dengan perhitungan

Nilai frekuensi resonansi ditentukan oleh beberapa faktor seperti panjang tabung resonator, cepat rambat gelombang bunyi di udara dan orde frekuensi resonansi. Frekuensi resonansi dapat diperoleh melalui perhitungan berdasarkan pada rumus berikut:

$$f_n = \frac{mv}{4 \left(L + \frac{1}{2} \frac{4}{3} \frac{D}{\pi} \right)} \quad (2)$$

Dengan $m = 1, 3, 5, \dots$ yang merupakan orde harmonik, v adalah cepat rambat gelombang bunyi di udara, L adalah panjang tabung resonator dan D adalah diameter tabung resonator.

2. Menentukan frekuensi resonansi dengan eksperimen

Pengujian frekuensi pada piranti pendingin termoakustik dengan menggunakan beberapa variasi frekuensi yang mendekati hasil dari perhitungan sehingga diperoleh frekuensi optimum yaitu yang menghasilkan penurunan suhu paling besar, dan hasil frekuensi resonansi optimum tersebut yang dijadikan untuk pengoperasian pada eksperimen selanjutnya.

3. Mengamati pengaruh panjang *stack* terhadap penurunan suhu dengan menggunakan *stack* selubung kabel

Panjang *stack* selubung kabel divariasikan mulai dari 4 cm, 5 cm, 6 cm, 7 cm, dan 8 cm. Penentuan panjang *stack* optimum dengan menggunakan frekuensi resonansi optimum yang didapatkan dari eksperimen langsung dengan menggunakan daya input (60 ± 1) watt. Hasil penelitian berupa perubahan suhu pada tandon dingin dan tandon panas, sehingga diperoleh penurunan suhu yang paling besar atau optimum pada tandon dingin.

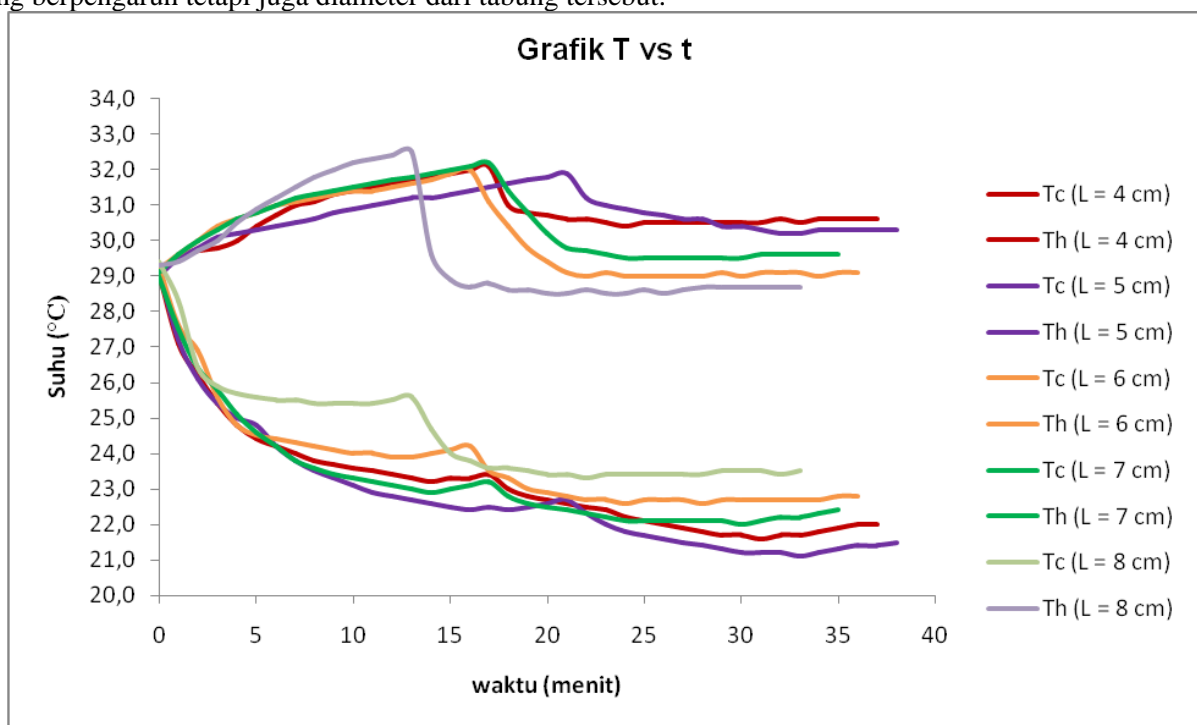
4. Analisis data

Setelah mendapatkan data perubahan suhu hasil pengukuran eksperimen pada variasi panjang *stack*, dilanjutkan kemudian digrafikkan untuk masing-masing variasi tersebut. Selain itu akan di buat diagram batang untuk menampilkan besar perubahan penurunan suhu masing-masing variasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

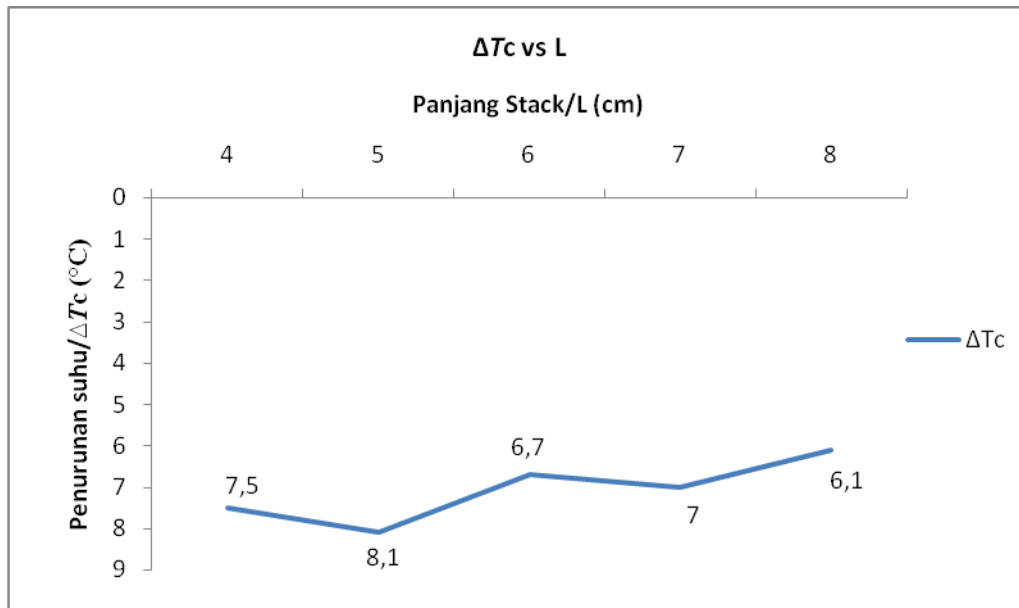
Frekuensi resonansi berperan penting pada sistem pendingin termoakustik, karena, pada saat resonansi akan terjadi transfer kalor secara maksimum dari tandon dingin ke tandon panas. Secara perhitungan, frekuensi resonansi dapat di cari dengan menggunakan persamaan (2.2).

Perhitungan menggunakan rumus di atas dan di dapatkan hasil frekuensi resonansi sebesar 99,08 Hz untuk $m = 1$ (orde frekuensi dasar), $v = 349$ m/s (laju rambat bunyi pada medium udara), $L = 0,8695$ m (panjang tabung resonator), dan $D = 0,0520$ m (diameter tabung resonator). Hasil ini didapat karena untuk mendapatkan frekuensi resonansi tidak hanya panjang tabung resonansinya saja yang berpengaruh tetapi juga diameter dari tabung tersebut.



GAMBAR 7 Grafik suhu (T) vs waktu (t) untuk setiap panjang *stack* pada frekuensi 99 Hz dengan daya input 60 watt

Gambar 7 menunjukkan penurunan suhu tandon panas dan tandon dingin sebelum HHE di aliri air dan sesudah dialiri air pada masing-masing bahan *stack*. Hal ini menunjukkan terjadinya peristiwa transfer kalor dari tandon panas ke air dalam pipa tembaga yang diletakkan di tandon panas. Penyerapan kalor yang terjadi pada *hot heat exchanger* (HHE) ini adalah secara konduksi dan secara konveksi. Penyerapan kalor secara konduksi ini terjadi pada pipa tembaga yang pada dasarnya adalah konduktor/penghantar kalor yang sangat baik sehingga sebagian kalor dalam tandon panas diserap oleh pipa tembaga. Sedangkan, penyerapan kalor secara konveksi dilakukan oleh cairan yang dialirkan pada pipa tembaga. Dalam keadaan tandon panas tidak jenuh, maka kalor pada tandon dingin dipindah ke tandon panas akan menyebabkan suhu pada tandon turun dan relatif stabil tanpa adanya arus kalor balik dari tandon panas.



GAMBAR 8 Grafik ΔT vs L menunjukkan pengaruh panjang *stack* terhadap penurunan suhu optimum yang dihasilkan pada daya input ($60 \pm 0,5$) watt

Grafik ΔT vs L pada (Gambar 8) menunjukkan ada pengaruh panjang *stack* terhadap penurunan suhu optimum. Nilai penurunan suhu yang di hasilkan *stack* dengan panjang 5 cm relatif lebih tinggi dari pada yang lain yaitu mencapai 8,1 °C, hal ini menunjukkan bahwa panjang *stack* optimum yang menghasilkan penurunan suhu terbesar adalah *stack* selubung kabel dengan panjang 5 cm.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa, Setiap bahan mempunyai panjang *stack* optimum yang menghasilkan perubahan suhu maksimum. Pada pendingin termoakustik dengan mengembangkan penggunaan *stack* dari bahan selubung kabel dari beberapa variasi panjang *stack* yang digunakan, maka terdapat pengaruh antara panjang *stack* terhadap penurunan suhu, antara lain;

1. Hasil yang didapat pada penggunaan panjang *stack* 4 cm menghasilkan penurunan suhu maksimum sebesar 21,6 °C dari suhu awal (suhu ruangan 28°C).
2. Hasil yang didapat pada penggunaan panjang *stack* 5 cm menghasilkan penurunan suhu maksimum sebesar 21,1 °C dari suhu awal (suhu ruangan 28°C).
3. Hasil yang didapat pada penggunaan panjang *stack* 6 cm menghasilkan penurunan suhu maksimum sebesar 22,6 °C dari suhu awal (suhu ruangan 28°C).
4. Hasil yang didapat pada penggunaan panjang *stack* 7 cm menghasilkan penurunan suhu maksimum sebesar 22,0 °C dari suhu awal (suhu ruangan 28°C).
5. Hasil yang didapat pada penggunaan panjang *stack* 8 cm menghasilkan penurunan suhu maksimum sebesar 23,3 °C dari suhu awal (suhu ruangan 28°C).

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan Kemenristekdikti dalam pemberi dana penelitian, kepada Lembaga penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat IKIP PGRI Jember yang membantu penelitian, Laboratorium Atom Inti FMIPA Universitas Gadjah Mada.

REFERENSI

- [1] Jaworski AJ, Mao X. Development of thermoacoustic devices for power generation and refrigeration. *Journal Power and Energy*. 2014 July [cited 2017 Feb 28]; 227 (7): 762-782. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0957650913493622>
- [2] Marx D, Mao X, Jaworski AJ. Acoustic coupling between the loudspeaker and the resonator in a standing-wave thermoacoustic device. *Applied Acoustics*. 2006;67(5):402-419.
- [3] Panara KS, Patel AM, Patel NS, Patel JD. Thermoacoustic Refrigeration System Setup. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*. 2015 Nov [cited 2017 Feb 24]; 6(11):1-15. Available from: http://www.iaeme.com/MasterAdmin/UploadFolder/IJMET_06_11_001/IJMET_06_11_001.pdf
- [4] Tang K, Chen GB, Jin T, Bao R, Kong B, Qiu LM. Influence of resonance tube length on performance of thermoacoustically driven pulse tube refrigerator. *Elsevier International Journal of Cryogenics*. 2005;45(3):185-191. doi:10.1016/j.cryogenics.2004.10.00
- [5] Tijani MEH, Zeegers JCH, De Waele ATAM. Design of Thermoacoustic Refrigerators. *Elsevier International Journal of Cryogenics*. 2002;42(1):49-57. doi:10.1016/S0011-2275(01)00179-5
- [6] Ghazali NM, Anwar M, Settar NH. Thermoacoustic Cooling with No Refrigerant. *International Journal of Technology [Internet]*. 2011 [cited 2017 Feb 25];2(3):234-241. Available from:<http://www.ijtech.eng.ui.ac.id/index.php/journal/article/view/72>
- [7] Kharismawati I. Thermoacoustic Refrigerator System Performance Using the PVC (Polyvinyl Chloride) Stack By Power Input Variaton. *Jurnal Neutrino*. 2017 [cited 2017 may 25];9(2):32-38. Available from: <http://ejournal.uin-malang.ac.id/index.php/NEUTRINO/article/view/4073/5648>
- [8] Putri, E. K. N, 2013, *Studi Pengaruh Penukar Panas untuk Tandon Dingin dan Panas terhadap Kinerja Sistem Pendingin Termoakustik Menggunakan Stack Berbahan Gambas (Luffa Acutangula)*, Skripsi, Jurusan Fisika, FMIPA UGM, Yogyakarta.