

KINERJA PIRANTI PENDINGIN TERMOAKUSTIK GELOMBANG TEGAK PADA TEBAL SUSUNAN STACK BERBEDA

Wahyu Nur Achmadin

Jurusan Pendidikan Matematika, IKIP PGRI Jember

Email : nurachmadin@ikipjember.ac.id

Abstrak

Rusaknya lapisan ozon merupakan dampak langsung dari penggunaan refrigerant terhadap lingkungan, sehingga untuk mengurangi dampak tersebut diperlukan sebuah teknologi yang ramah lingkungan. Piranti termoakustik merupakan salah satu dari beberapa teknologi ramah lingkungan yang memiliki fungsi yang sama yaitu dengan memanfaatkan perbedaan suhu sebagai sumber dari fenomena termoakustik. Medium yang digunakan adalah gas udara sehingga tidak menyebabkan bahaya pada lingkungan. Komponen utama piranti termoakustik terdiri dari regenerator, pipa resonator dan loudspeaker. Regenerator memiliki peranan yang besar yaitu sebagai tempat konversi energi terjadi. Penelitian ini akan membahas tentang pengaruh ketebalan stack yang terpasang di dalam regenerator pada kinerja piranti pendingin termoakustik gelombang tegak. Bahan yang digunakan adalah mesh ukuran #18 yang disusun rapat dengan ketebalan 4 cm sampai 5,5 cm dengan interval 0,5 cm. Waktu pengoperasian dilakukan selama 30 menit. Pipa resonator terbuat dari pipa PVC. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ketebalan stack memiliki pengaruh terhadap penurunan suhu. Penurunan suhu terbesar dalam penelitian ini terjadi pada panjang stack 5,5 cm yang mampu menurunkan 4,7 °C dari suhu awal penelitian.

Kata kunci: termoakustik, gelombang tegak, regenerator

Abstract

The damage to the ozone layer is a direct impact of the use of refrigerants on the environment, so reducing this impact requires an environmentally friendly technology. Thermoacoustic devices are one of several environmentally friendly technologies that have the same function, namely by utilizing temperature differences as a source of thermoacoustic phenomena. The medium used is air gas so that it does not cause harm to the environment. The main components of a thermoacoustic device consist of a regenerator, resonator pipe and a loudspeaker. The regenerator has a big role, namely as a place for energy conversion to occur. This research will discuss about the effect of stack thickness installed in the regenerator on the performance of the vertical wave thermoacoustic cooling device. The material used is a mesh size # 18 which is tightly arranged with a thickness of 4 cm to 5.5 cm with an interval of 0.5 cm. Operation time is carried out for 30 minutes. The resonator pipe is made of PVC pipe. The results of this study indicate that the thickness of the stack has an effect on temperature reduction. The largest temperature drop in this study occurred at a stack length of 5.5 cm which was able to reduce 4.7 °C from the initial temperature of the study.

Keywords: thermoacoustic, standing wave, regenerator

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi saat ini telah banyak memudahkan berbagai aktivitas manusia sehingga perkembangan tersebut merupakan salah satu dari beberapa dampak positif dari adanya perkembangan teknologi. Salah satunya adalah teknologi yang berkaitan dengan pompa kalor (heat pump) pada pendingin konvensional. Seseorang dapat bekerja dengan kesejukan dan kenyamanan yang diberikan piranti tersebut. Namun, dibalik dampak positif tersebut, terdapat pula beberapa dampak negatif yang muncul secara bersamaan, salah satu yang perlu dikhawatirkan adalah kebocoran sistem refrigerant pada pendingin ruangan ataupun mesin pendingin yang mampu mengakibatkan lapisan ozon berlubang.

Dari alasan tersebut, dampak negatif dari penggunaan refrigerant perlu dilakukan. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan mampu memberikan solusi untuk penggunaan refrigerant. Piranti dalam penelitian ini adalah piranti pendingin termoakustik yaitu piranti dengan udara sebagai bahan mediumnya, bukan gas

refrigerant. Piranti ini mengenakan fenomena termoakustik, yakni fenomena fisis yang dapat memicu adanya perbedaan suhu dari gelombang bunyi

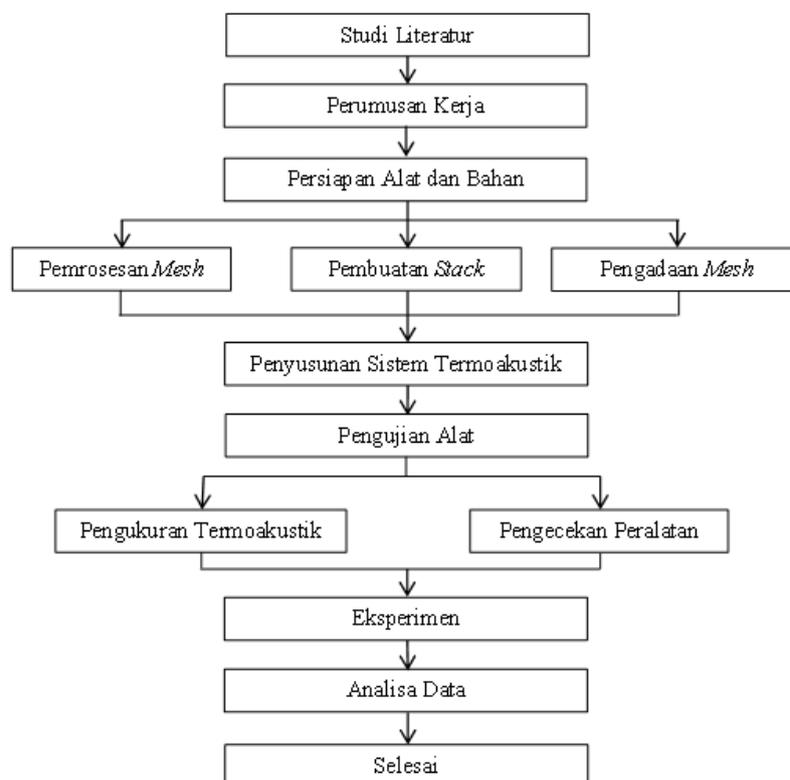
Pada tahun 1777 Higgins menemukan fenomena termoakustik (fenomena perbedaan suhu) dengan memanaskan sebuah pipa organa terbuka dengan api hidrogen sehingga mampu menghasilkan bunyi. Kajian teoritis mengenai perkembangan fenomena termoakustik telah dilakukan oleh Lord Rayleigh pada tahun 1887. Lord menyatakan bahwa pengaruh kumpulan fluks panas beserta variasi densitas dapat menghasilkan osilasi termoakustik [1]. Getaran (vibrasi) pada partikel udara dapat terjadi pada saat pemampatan (kompresi) yaitu apabila sejumlah panas dihantarkan ke udara dan pada saat ekspansi, saat panas diserap. Pada tahun 2002 secara eksperimental telah dilakukan oleh Russel dan Weibull dengan menciptakan serta mengoperasikan mesin pendingin termoakustik gelombang tegak. Kemudian telah diselidiki dalam berbagai variasi oleh peneliti lain seperti jarak *space* antar stack [2], bahan stack yang digunakan berupa metal [3] dan alami [4], posisi stack [5], frekuensi yang digunakan [6], stack dengan pori acak [7] dan paralel [8].

Termoakustik sendiri adalah gabungan antara bidang ilmu akustika dan bidang ilmu termodinamika. Terdapat dua jenis piranti yang membedakan termoakustik, yaitu mesin kalor termoakustik (*thermoacoustic heat engine*), yaitu mesin dengan perbedaan suhu sebagai sumbernya dapat menghasilkan gelombang akustik dan mesin pendingin termoakustik (*thermoacoustic refrigerator*), yaitu mesin dengan gelombang akustik sebagai sumbernya dapat menghasilkan perbedaan suhu. [9]

Adapun beberapa keunggulan dari teknologi piranti termoakustik ini adalah ramah lingkungan, lebih murah, komponen mesin yang tidak bergerak (*no moving part*) [10]. Dalam penelitian ini, penulis ingin memperlihatkan bahwa piranti ini mampu dibuat dikarenakan bahan yang digunakan merupakan komponen yang terjangkau dan murah. Adapun parameter kerja yang dilakukan dalam penelitian ini berupa ketebalan stack pada regenerator. Parameter kerja tersebut dilakukan untuk memberikan kinerja piranti pendingin termoakustik gelombang tegak yang lebih baik lagi. Berdasarkan parameter tersebut juga, diharapkan penurunan suhu dan beda suhu yang tinggi dapat dihasilkan pada piranti termoakustik gelombang tegak ini

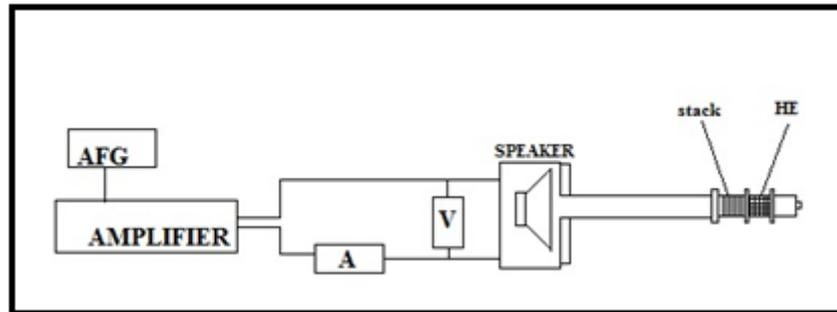
2. Metode Penelitian

Gambar 1 menunjukkan bagian-bagian penting pada sistem termoakustik. Pada penelitian ini menggunakan loudspeaker Subwoofer 500 W jenis Hertz ES 250 dengan daya maksimum mencapai 500 watt, pipa dengan panjang 80 cm bahan PVC (*Polyvinyl Chloride*) berdiameter 5,5 cm serta kepingan *wiremesh* yang disusun rapat pada regenerator termoakustik sepanjang 4 cm hingga 5,5 cm. Diagram alir tahapan penelitian ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Pengaturan frekuensi gelombang bunyi dilakukan dengan mengoperasikan *Audio Function Generator* (AFG), sedangkan input tegangan dari sumber listrik menuju loudspeaker diatur oleh audio amplifier dengan dipantau oleh voltmeter serta amperemeter. Perubahan suhu pada bidang regenerator direkam oleh data logger dan komputer yang tersambung dengan sensor suhu LM35.



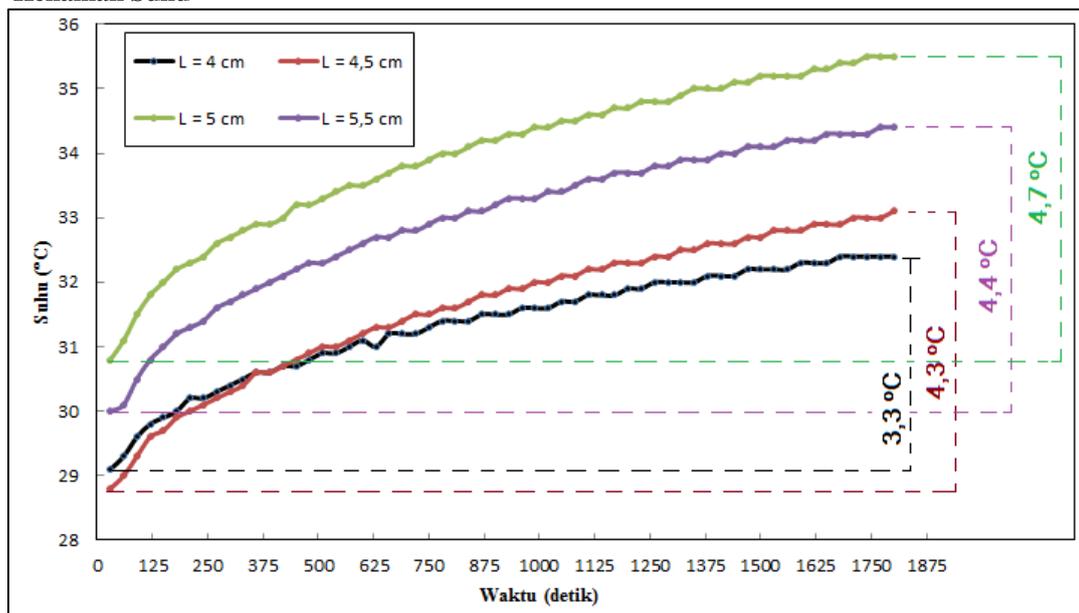
Gambar 2. Sistem Bunyi pada Piranti Termoakustik

Sinyal-sinyal dengan frekuensi tertentu dibangkitkan oleh *Audio Function Generator* (AFG) dan kemudian dihubungkan terhadap Audio Amplifier yang berfungsi sebagai penguat frekuensi yang keluar dari AFG. Sinyal yang keluar dari AFG dan amplifier kemudian diatur dengan memperkuat amplitudo. Pengaturan ini bersifat kondisional terhadap panel AFG dan amplifier. Sinyal dari AFG yang kemudian diperkuat oleh amplifier menjadi sinyal masukan bagi loudspeaker. Penelitian mengenai kinerja termoakustik dengan variasi ketebalan stack bertujuan untuk mengetahui tebal stack optimum pada pipa resonator. Tebal stack optimum regenerator akan memberikan penurunan suhu yang maksimum pada perangkat pendingin termoakustik ini.

Langkah awal setelah semua peralatan dan bahan tersusun adalah menyalakan sistem deteksi/pengukur suhu. Termometer suhu yang terhubung dengan data logger TCDAS akan ditampilkan ke layar monitor komputer dengan mengusahakan agar suhu pada masing-masing sensor bernilai sama, kemudian sistem sumber bunyi (loudspeaker) diaktifkan dengan mengatur frekuensi pada Audio Function Generator (AFG) serta daya distabilkan dengan mengatur amplifier. Setelah gelombang bunyi dihasilkan, maka akan terjadi perubahan suhu pada kedua ujung regenerator yang pencatatan waktu dilakukan tiap 30 detik.

3. Hasil Dan Analisis

3.1. Kenaikan Suhu



Gambar 3. Grafik suhu terhadap waktu pada sisi panas regenerator dengan rentang waktu 30 detik; tebal stack 4 cm garis warna hitam; tebal stack 4,5 cm garis warna coklat; tebal stack 5 cm garis warna hijau; tebal stack 5,5 cm garis warna ungu.

Gambar 3 merupakan grafik perubahan suhu pada sisi panas regenerator. Sisi panas regenerator merupakan suatu bagian (sisi) pada regenerator dimana suhu sisi tersebut lebih tinggi dibanding suhu awal (kamar). Pada mulanya suhu diusahakan berada dalam keadaan suhu kamar. Terlihat bahwa pada masing-masing ketebalan stack memiliki kondisi awal yang berbeda, yaitu dengan range paling rendah 28,8 °C hingga 30,8 °C. Hal ini terjadi akibat dipengaruhi oleh kondisi kamar pada mesin yang digunakan. Dari kondisi awal tersebut, kemudian sistem pembangkit gelombang bunyi diaktifkan, sehingga kenaikan suhu terlihat menaik seiring dengan waktu pengoperasian.

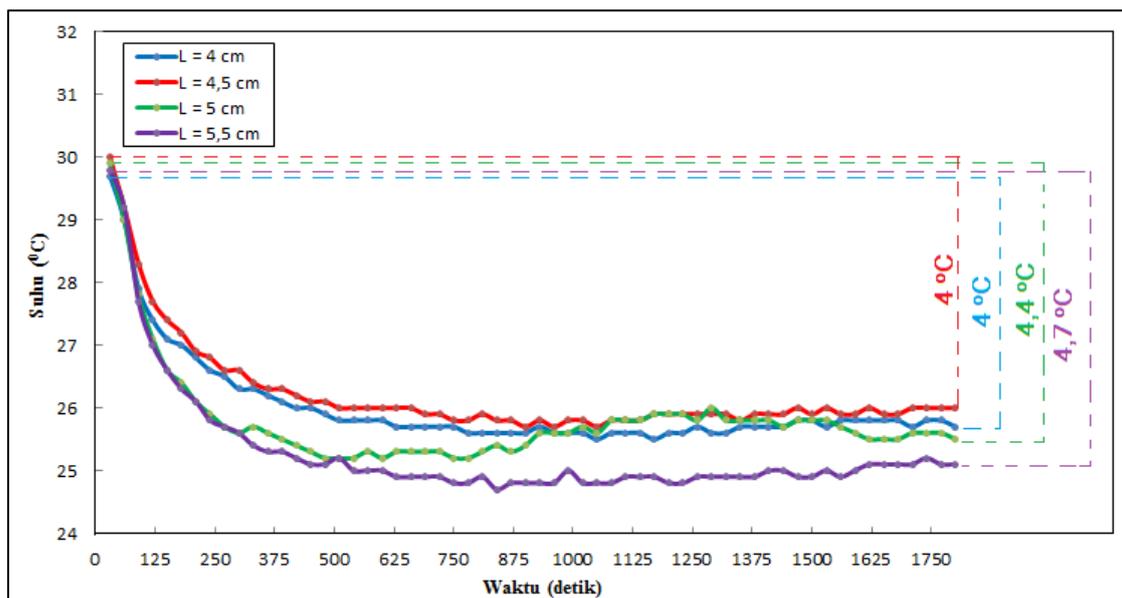
Dari grafik nampak suhu pada sisi panas tertinggi adalah pada piranti termoakustik yang menggunakan tebal stack 5 cm, yaitu sebesar 5,7 °C, artinya piranti mampu menaikkan suhu sebesar 5,7 °C dalam waktu pengoperasian selama 30 menit. Sedangkan suhu pada sisi panas terendah adalah pada piranti termoakustik yang menggunakan tebal stack 4 cm, yaitu piranti mampu menaikkan suhu sebesar 3,3 °C dalam waktu 30 menit, seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kenaikan suhu pada masing-masing tebal stack regenerator

| No. | Panjang (cm) | Kenaikan Suhu (°C) |
|-----|--------------|--------------------|
| 1 | 4 | 3,3 |
| 2 | 4,5 | 4,3 |
| 3 | 5 | 4,7 |
| 4 | 5,5 | 4,4 |

3.2. Penurunan Suhu

Gambar 4 merupakan grafik perubahan suhu pada sisi dingin regenerator. Sisi dingin regenerator merupakan suatu bagian (sisi) pada regenerator dimana suhu sisi tersebut lebih rendah dibanding suhu awal (kamar). Pada mulanya suhu diusahakan berada dalam keadaan suhu kamar.



Gambar 4. Grafik suhu terhadap waktu pada sisi dingin regenerator dengan rentang waktu 30 detik; tebal stack 4 cm garis warna biru; tebal stack 4,5 cm garis warna merah; tebal stack 5 cm garis warna hijau; tebal stack 5,5 cm garis warna ungu.

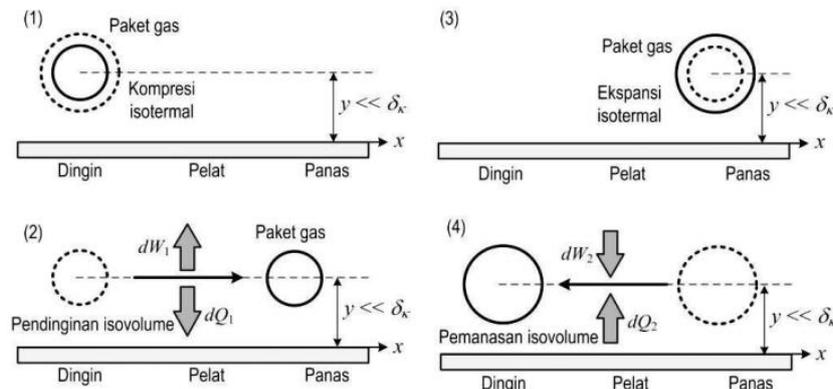
Terlihat bahwa pada masing-masing ketebalan stack memiliki kondisi awal yang sama, yaitu suhu berada pada kisaran 30 °C. Dari kondisi awal tersebut, kemudian sistem pembangkit gelombang bunyi diaktifkan, sehingga penurunan suhu terlihat menurun seiring dengan waktu pengukuran. Dari grafik nampak penurunan suhu yang paling tinggi adalah piranti termoakustik dengan tebal stack 5,5 cm, yaitu mampu menurunkan suhu sebesar 4,7 °C selama 30 menit waktu pengukuran. Sedangkan penurunan suhu yang paling rendah adalah piranti termoakustik dengan tebal stack 4 cm dan 4,5 cm, yaitu mampu menurunkan suhu sebesar 4 °C selama 30 menit waktu pengukuran, seperti terlihat pada Tabel 2.

Ketika belum diaktifkannya sistem pembangkit gelombang bunyi, medium yang berada di dalam regenerator atau biasa disebut paket gas, berada pada kondisi tetap (diam). Kemudian, pada saat sumber bunyi mulai diaktifkan, osilasi antar paket gas terjadi di dalam regenerator, osilasi inilah yang mampu memindahkan panas dari sisi dingin ke sisi panas regenerator. Inilah yang dinamakan fenomena termoakustik.

Tabel 2. Penurunan suhu pada masing-masing tebal stack regenerator

| No. | Panjang (cm) | Penurunan Suhu (oC) |
|-----|--------------|---------------------|
| 1 | 4 | 4 |
| 2 | 4,5 | 4 |
| 3 | 5 | 4,4 |
| 4 | 5,5 | 4,7 |

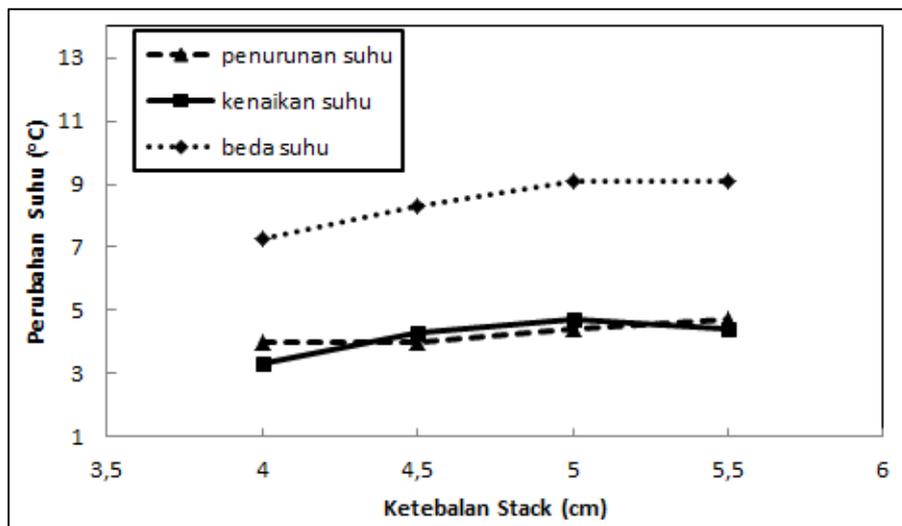
Untuk memudahkan pemahaman mengenai fenomena termoakustik dapat dilihat pada Gambar 5 yang merupakan sebuah ilustrasi dari fenomena termoakustik. Paket gas menggambarkan suatu volume gas yang agak kecil sehingga tekanan serta temperatur suhu seragam namun cukup besar apabila dilakukan peninjauan sifat-sifat makroskopik gas. Regenerator diasumsikan merupakan susunan dari lapisan pelat sejajar yang mana letak paket gas dapat bergerak bolak balik dalam arah yang sejajar sehingga paket gas memiliki kecepatan dan tekanan akibat dari gelombang bunyi.



Gambar 5. Ilustrasi tahapan siklus fenomena termoakustik [11]

Pada saat paket gas bergerak osilasi di dekat pelat regenerator dengan jarak y lebih kecil dari kedalaman penetrasi termal (kontak termal terbaik) maka tahapan yang terjadi pada paket gas ada empat tahapan, seperti yang telah ditunjukkan pada gambar 5. Tahap awal (1) kompresi isothermal terjadi terhadap paket gas pada pelat yang bersuhu rendah (dingin). Kemudian dalam tahap selanjutnya ketika paket gas menuju ke daerah bagian pelat yang bersuhu lebih tinggi dari suhu sebelumnya, paket gas bersamaan mengalami pendinginan saat volume konstan dengan melepaskan kalor (dQ_1) kepada pelat. Kondisi ini merupakan usaha (dW_1) yang dilakukan paket gas pada lingkungan. Pada tahap selanjutnya (3) ekspansi isothermal terjadi terhadap paket gas pada pelat yang bersuhu tinggi (panas). Dan tahap terakhir (4) ketika paket gas kembali menuju ke daerah bagian pelat yang bersuhu lebih rendah dari sebelumnya, paket gas mengalami pemanasan saat volume konstan dengan menyerap kalor (dQ_2) dari pelat. Sehingga kondisi tersebut menunjukkan bahwa usaha (dW_1) dilakukan dari lingkungan terhadap pada paket gas [11]. Keempat tahapan ini akan terus berulang hingga perbedaan suhu pada ujung regenerator terjadi.

Terlihat pada Gambar 6 bahwa penurunan tertinggi adalah stack dengan ketebalan 5,5 cm, yaitu mampu menurunkan suhu sebesar 4,7 °C. Namun, dibalik penurunan suhu yang cukup tinggi, pada stack setebal 5,5 cm ini juga diiringi dengan kenaikan suhu yang cukup tinggi pula. Hal ini menunjukkan bahwa pergerakan osilasi paket gas di dalam regenerator dalam kurun waktu 30 menit terjadi sangat cepat. Hal ini berbeda dengan yang terjadi pada stack 4 cm. Pada stack 4 cm, selama 30 menit mengalami kenaikan suhu yang paling kecil dibanding tebal stack lainnya, yang artinya pergerakan osilasi paket gas terhadap stack di dalam regenerator relatif agak lambat. Sehingga, cukup dimungkinkan bahwa stack dengan ketebalan 4 cm ini memerlukan waktu pengoperasian lebih lama untuk melihat lebih optimal lagi.



Gambar 6. Diagram perbandingan perubahan suhu terhadap ketebalan stack

4. Kesimpulan

Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh ketebalan stack acak regenerator terhadap kinerja piranti pendingin termoakustik pada gelombang tegak. Penelitian ini memberikan hasil bahwa ketebalan stack acak pada regenerator memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penurunan suhu. Penurunan suhu tertinggi diperoleh sebesar 4,7 °C pada stack dengan ketebalan 5,5 cm.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kami tujukan kepada IKIP PGRI Jember dan Jurusan Fisika FMIPA UGM yang telah mendukung serta membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Russel DA, Weibull P. Tabletop Thermoacoustic Refrigerator for demonstration. *Am J Phys.* 2002;70(12):1231–3.
- [2] Tijani MEH, Zeegers JCH, de Waele ATAM. The optimal stack spacing for thermoacoustic refrigeration. *J Acoust Soc Am.* 2002;112(1):128–33.
- [3] Dyatmika HS, Achmadin WN, Murti P, Setiawan I, Utomo ABS. Development of The Thermoacoustic Refrigerator System Using a Stack Made of Some Stainless Steel Mesh and a Hot Heat Exchanger. *Indones J Phys.* 2015;26(March 2016):5–8.
- [4] Hidayah Q, Asmara P, Gupita MC, Setiawan I, Utomo ABS. Pengaruh Stack Berpori Acak Bahan Alami, Sintesis dan Logam pada Sistem Pendingin Termoakustik. *J Fis Indones.* 2020;22(3):37.
- [5] Ristanto S, Kurniawan AF, Huda C. Pengaruh Posisi Stack Terhadap Frekuensi Resonansi Pada Tabung Resonator Termoakustik. *J Fis Unnes.* 2013;3(1):80121.
- [6] Cahyono A, Achmadin WN, Setiawan I, Setio Utomo AB. Analisa Kinerja Pompa Kalor Termoakustik Pada Frekuensi Harmonik Orde 1, 3, 5 dan 7 Menggunakan Stack Berpori Lingkaran. *J Fis Indones.* 2020;23(1):18.
- [7] Yumnawati, Murti P, Achmadin WN, Setio Utomo AB. Sistem Pendingin Termoakustik Dengan Menggunakan Stack Acak dan Penukar Kalor Tambahan Dalam Resonator. *J Fis Indones.* 2020;22(1):23.
- [8] Kharismawati I, Putri HR. Pengaruh Panjang Stack Selubung Kabel Terhadap Perubahan Suhu Pada Sistem Pendingin Termoakustik. *SPEKTRA J Fis dan Apl.* 2017;2(2):119.
- [9] Swift G. Thermoacoustics: a Unifying perspective for some engines and refrigerators. Vol. 113, *The Journal of the Acoustical Society of America.* 2002.
- [10] Setiawan I, Achmadin WN, Murti P, Nohtomi M. Experimental Study on a Standing Wave Thermoacoustic Prime Mover with Air Working Gas at Various Pressures. *J Phys Conf Ser.* 2016;710(1):012031.
- [11] Setiawan I. Pembuatan Piranti Pendingin Termoakustik Gelombang Berjalan. In: *Prosiding Seminar Nasional Fisika Terapan IV.* Surabaya; 2014. p. B10–4.