

# KAJI EKSPERIMENTAL ALAT PENDINGIN TERMOAKUSTIK DENGAN PANJANG TABUNG RESONATOR $\lambda/2$ DAN $\lambda/4$

Damar Agung Deviawan<sup>1</sup>, Dinni Agustina<sup>2</sup>

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

<sup>1</sup>damar.agung@student.unri.ac.id, <sup>2</sup>dinniagfa@lecturer.unri.ac.id

## ABSTRACT

*Thermoacoustic is a system that converets energy from high amplitude sound waves into heat energy which produces temperature differences or vice versa, each of which can be used for heat engines and heat pump. This combination of pressure and temperature oscillation will cause a thermoacoustic phenomenon, acoustic power input provided by a loudspeaker (driver) in the form of high amplitude soundwaves. In this study using  $\lambda/2$  and  $\lambda/4$  resonator tubes with a length of 80 cm and 60 cm. For the position of the stack in this study that is at the position of the tip farthest end of the sound source or loudspeaker box (stack position 2), and the position of the stack at the closest end of the sound source or loudspeaker box (stack position 1). From the analysis results obtained temperature differences on both sides of the stack that is on stack position 1 resonator tube  $\lambda / 2$  2.69°C, on stack position 2 resonator tubes  $\lambda / 2$  2.81°C, while on stack position 1 tube  $\lambda / 4$  4.14°C and stack position 2 resonator tubes  $\lambda / 4$  5.15 °C. stack position influences the occurrence of thermoacoustic phenomena, the better position is stack position 2 because the greatest amplitude occurs in the position farthest from the sound source.*

**Keyword:** Refrigeration, thermoacoustic, stack, resonator

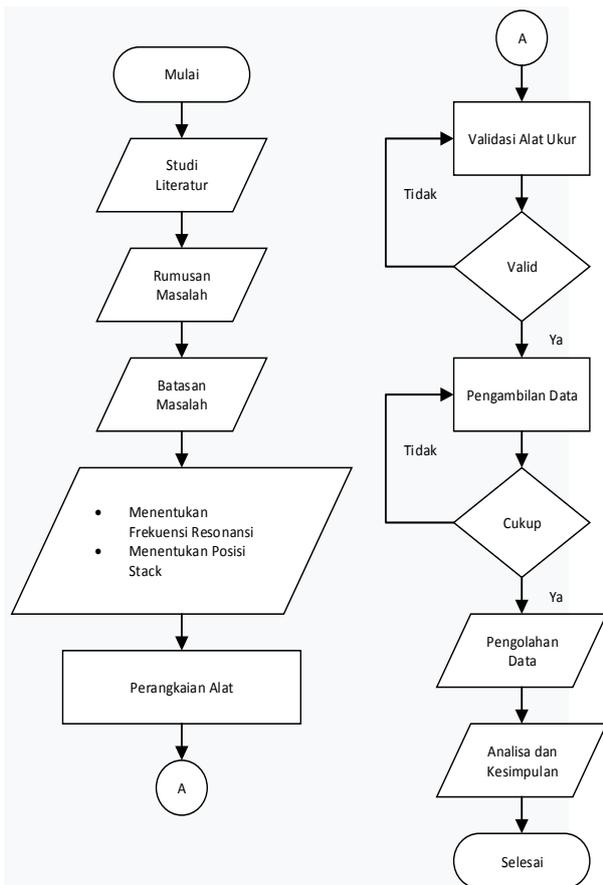
## 1. Pendahuluan

Sistem Pengkondisian udara dan refrigerasi menjadi kebutuhan yang sangat vital dalam kehidupan sehari-hari. Dimana kebocoran dari penggunaan refrigerant dapat merusak lapisan ozon dan meningkatkan pemanasan global. Dengan demikian perlunya pengembangan teknologi pendingin yang ramah lingkungan dan salah satu sistem pendingin alternatif yaitu *Thermoacoustic Refrigerator* atau pendingin termoakustik. Termoakustik merupakan sistem yang mengkonversi energi dari gelombang bunyi beramplitudo tinggi menjadi energi kalor yang menghasilkan perbedaan suhu atau sebaliknya yang masing-masing dapat digunakan untuk mesin kalor dan pompa kalor. Gabungan osilasi tekanan dan suhu ini akan menimbulkan fenomena termoakustik, input daya akustik diberikan oleh pengeras suara (*driver*) berupa gelombang suara beramplitudo tinggi [1]. Piranti termoakustik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu mesin kalor termoakustik yang dapat membangkitkan gelombang akustik dengan adanya perbedaan suhu [2], dan pendingin termoakustik atau pompa kalor termoakustik yang dapat menghasilkan perbedaan suhu dengan menggunakan gelombang bunyi [3]. Resonator merupakan bahan termoakustik yang berfungsi mengalirkan gelombang suara menuju *stack*. Bahan resonator harus memiliki konduktivitas termal yang rendah agar dapat meningkatkan efisiensi perangkat pendingin termoakustik[4]. Tabung resonator  $\lambda/2$  menggunakan panjang tabung yang lebih panjang dibandingkan dengan tabung resonator  $\lambda/4$ , untuk kedua ujung tabung resonator ada yang terbuka untuk tabung resonator  $\lambda/2$  dan pada tabung

resonator  $\lambda/4$  ujungnya tertutup. Posisi *stack* berada pada setiap ujung dari tabung resonator yaitu pada ujung terdekat dari sumber suara atau loudspeaker dan pada ujung terjauh dari sumber suara[5].

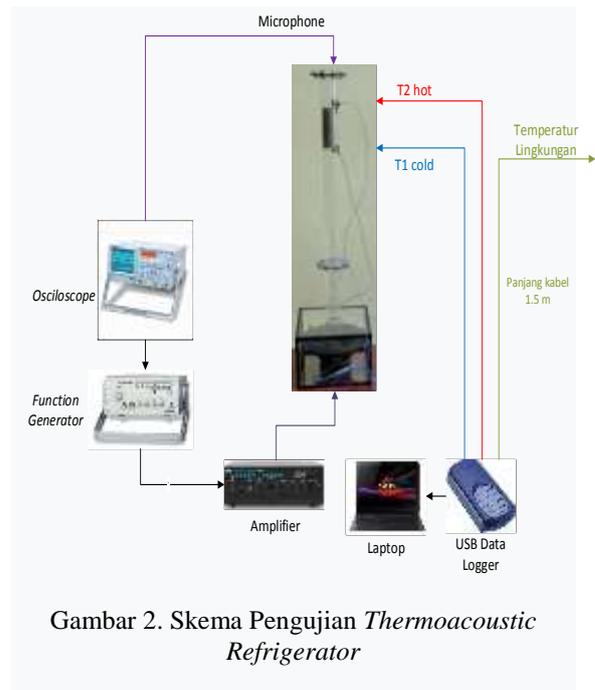
## 2. Metode

Pada penelitian kali ini yang dijadikan objek penelitian adalah fenomena termoakustik yang terjadi terhadap perbedaan posisi *stack* pada panjang tabung resonator  $\lambda/2$  dan  $\lambda/4$ . Dapat dilihat pada gambar 1 merupakan diagram alir penelitian yang dilakukan.



Gambar 1 Diagram Alir penelitian

Pada gambar 2 merupakan skema pengujian *Thermoacoustic refrigerator* dimana *function generator* menghasilkan gelombang suara yang disambungkan ke amflifier lalu suara monotone akan dikeluarkan oleh loudspeaker didalam tabung resonator, *oscilloscope* digunakan untuk melihat bentuk gelombang yang digunakan selama proses pengujian. Termokopel yang digunakan ada 3 yaitu pada sisi dingin *stack*, sisi panas *stack*, dan temperature lingkungan yang disambungkan ke OMEGA TC-08 yang dihubungkan ke laptop/pc. Dapat dilihat pada gambar 2



Gambar 2. Skema Pengujian *Thermoacoustic Refrigerator*

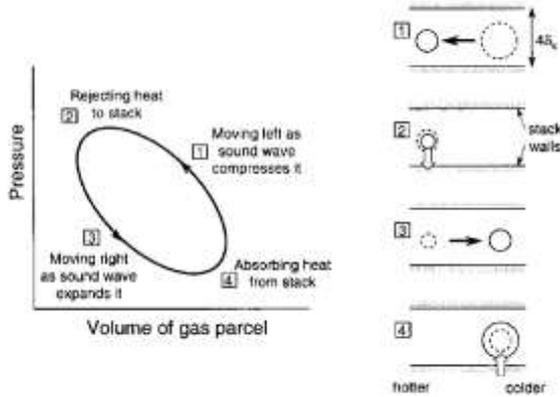
Keterangan :

1. Loudspeaker
2. Tabung resonator
3. *Stack*
4. Termokopel type K
5. Omega TC-08
6. *Function Generator*
7. *Osciloskop*
8. Amplifier
9. laptop

Berikut merupakan langkah-langkah untuk siklus *Thermoacoustic*[6]:

- a. Langkah 1: Proses Kompresi Adiabatik  
 Pada langkah ke-1, gas secara simultan terkompresi sehingga volumenya menjadi lebih kecil dan bergerak ke arah *stack* akibat perambatan gelombang akustik. Kontak termal didalam pori *stack* berlangsung tidak sempurna sehingga selama langkah ke-1 gas mengalami kenaikan suhu hampir mendekati kondisi adiabatik karena adanya peningkatan tekanan. Kemudian ketika gas mencapai lokasi baru, temperturnya lebih tinggi dibandingkan dinding *stack*.
- b. Langkah 2: Proses Perpindahan panas irreversibel  
 Lalu pada langkah ke-2, terjadi transfer panas dari gas menuju dinding *stack* dan mengakibatkan kontraksi termal pada gas sehingga volume gas menjadi lebih kecil.
- c. Langkah 3: Proses Ekspansi Adiabatik  
 Pada langkah ke-3, gas secara simultan mengalami ekspansi adiabatik sehingga volumenya meningkat dan bergerak ke arah *stack* akibat perambatan gelombang akustik. Ketika mencapai lokasi baru, temperatur gas lebih rendah dibandingkan temperatur pada dinding *stack*.
- d. Langkah 4: Proses Perpindahan Panas Irreversibel

pada langkah ke-4 terjadi transfer panas dari dinding *stack* menuju gas. Transfer panas tersebut membuat temperatur gas meningkat dan mengakibatkan ekspansi termal sehingga volumenya menjadi lebih besar. Kondisi ini membawa kepada kondisi awal siklus dan siap mengulangi langkah ke-1. Penjelasan siklus *thermoacoustic* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Siklus *Thermoacoustic* [7]

### A. Frekuensi Resonansi

Pada pengujian termoakustik digunakan frekuensi resonansi yg digunakan untuk keluaran suara dari loudspeaker. Frekuensi resonansi dapat ditentukan dengan persamaan [8]:

$$f_n = \frac{nv}{4(L + \frac{14D}{23\pi})} \quad (1)$$

### B. Posisi Stack

Untuk menentukan posisi stack pada tabung resonator berdasarkan panjang gelombang dari tabung resonator dengan persamaan[9] :

$$X_{sn} = \frac{\lambda}{20} \quad (2)$$

Untuk pembuatan *stack* yang utama ditentukan adalah Kedalaman penetrasi termal (*thermal penetration depth*) ( $\delta_k$ ). Kedalaman penetrasi termal (*thermal penetration depth*) ( $\delta_k$ ) adalah jarak suatu difusi kalor yang melalui fluida kerja atau gas dalam kasus ini pada selang waktu  $t = 1/\pi f$  dengan persamaan [10]:

$$\delta_k = \sqrt{\frac{2k}{\rho_m c_p \omega}} = \sqrt{\frac{k}{\rho_m c_p \pi f}} = \sqrt{\frac{\eta}{\pi \rho f}} \quad (3)$$

Memaksimalkan area kontak gas sebesar mungkin dapat dilakukan dengan cara menggunakan lebih banyak plat, mengoptimalkan jarak antar plat dengan nilai lebih dari  $2\delta_k$  serta memperbesar daya akustik yang melakukan kerja dengan memperbesar panjang *stack* ( $L_s$ ). Panjang *stack* ( $L_s$ ) optimum didapatkan dengan persamaan [9]

$$L_s = \frac{1}{k L_{sn}} \quad (4)$$

### B. Resonator

Tabung resonator ini berfungsi sebagai tempat untuk mengalirkan gelombang suara dan udara sepanjang tabung resonator. Bentuk dan

panjang tabung resonator ditentukan oleh frekuensi resonansi dan energi loss paling rendah pada tabung resonator. Persamaan pada kedua ujung tabung yang ujungnya tertutup maupun terbuka [11].

$$\lambda = 2L \quad (5)$$

Persamaan pada tabung yang salah satu ujungnya tertutup maupun terbuka [11].

$$\lambda = 4L \quad (5)$$

## 3. Hasil

### A. Frekuensi Resonansi

Frekuensi resonansi adalah frekuensi yang saling menguatkan sehingga jika kerja yang dilakukan akan lebih baik. Frekuensi adalah jumlah getaran yang terjadi dalam satu satuan waktu ataupun jumlah gelombang yang dihasilkan dalam satu satuan waktu tertentu. Untuk mendapatkan frekuensi resonansi maka kita mengambil frekuensi sample dari hasil perhitungan dengan persamaan (1) dapat dilihat pada tabel 1.

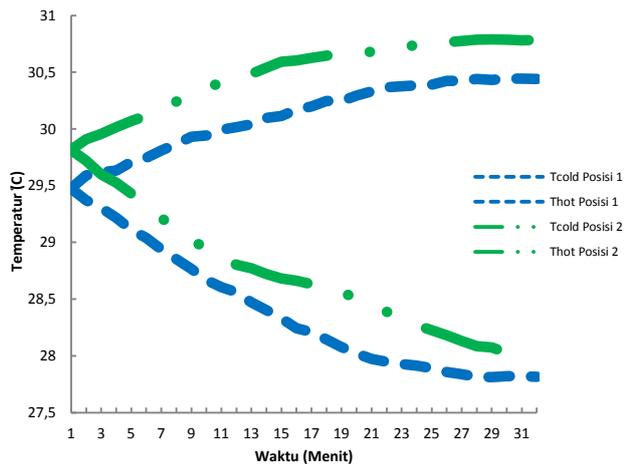
Tabel 1 frekuensi resonansi tabung resonator  $\lambda/2$  dan  $\lambda/4$  hasil perhitungan dan pengujian

n	v (m/s)	L (m)	D (m)	$f_n$ Perhitungan (Hz)	$f_n$ Pengujian (Hz)
1	344	$\lambda/4$	0.050	141,3	145
1	344	$\lambda/2$	0.050	107,2	125

## 4. Pembahasan

### A. Tabung Resonator $\lambda/2$

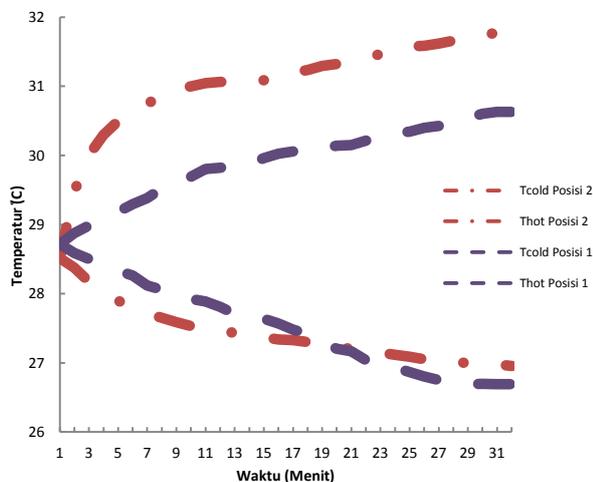
Penelitian dilakukan sebanyak tiga kali pengujian dengan didapatkan temperatur pada ujung *stack* sisi dingin dan ujung *stack* sisi panas. Dengan perbandingan pada *stack* posisi 1 dan *stack* posisi 2. Pada *stack* posisi 1 didapatkan perbedaan antara sisi dingin dan sisi panas kedua ujung *stack* 2,69 °C, dan pada *stack* posisi 2 didapatkan perbedaan antara kedua sisi dingin dan sisi panas kedua ujung *stack* 2,81 °C. Dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik Tcold dan Thot rata-rata Resonator  $\lambda/2$

### B. Tabung Resonator $\lambda/4$

Penelitian dilakukan sebanyak tiga kali pengujian dengan didapatkan temperatur pada ujung *stack* sisi dingin dan ujung *stack* sisi panas. Dengan perbandingan pada *stack* posisi 1 dan *stack* posisi 2. Pada *stack* posisi 1 didapatkan perbedaan antara sisi dingin dan sisi panas kedua ujung *stack* 4.14 °C, dan pada *stack* posisi 2 didapatkan perbedaan antara kedua sisi dingin dan sisi panas kedua ujung *stack* 4.15 °C. Dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik Tcold dan Thot rata-rata Resonator  $\lambda/4$

### 5. Simpulan

Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan yaitu:

- posisi *stack* berpengaruh terhadap sistem pendingin hal tersebut karena amplitude maksimum terbesarnya terjadi pada posisi terjauh dari sumber suara yaitu tabung loudspeaker sehingga membuat posisi terjauh dari sumber suara menghasilkan perbedaan

temperature yang lebih tinggi. Pada tabung resonator  $\lambda/2$  antara *stack* posisi 1 dan *stack* posisi 2 terjadi perbedaan temperature yang tidak terlalu signifikan, sedangkan pada tabung resonator  $\lambda/4$  antara *stack* posisi 1 dan posisi 2 terjadi perbedaan sehingga pada tabung resonator  $\lambda/4$  yang lebih baik yaitu *stack* pada posisi 2.

- berdasarkan panjang tabung resonator  $\lambda/2$  dan  $\lambda/4$  pada tabung resonator  $\lambda/4$  perbedaan temperature yang lebih tinggi dibandingkan dengan tabung resonator  $\lambda/2$  karena pada tabung resonator  $\lambda/4$  menyerap energi yang lebih sedikit dibandingkan dengan tabung resonator  $\lambda/2$ .

### Daftar Pustaka

- [1] D. Rossing, Thomas. 2007. Introduction to Acoustic, Springer Handbook of Acoustic.
- [2] Mostafa A. Nouh, Nadim M. Arafa and Ehab Abdel Rahman. 2009. *Stack Parameters Effect On The Performance Of an Anharmonic Resonator Thermoacoustic Heat Engine*.
- [3] Daniel, George Chinn. 2010. *Piezoelectrically-driven Thermoacoustic Refrigerator*.
- [4] Hariharan, M.M, P. Sivashanmugan,S. Kashitiregan. 2013. *Influence of operational and geometrical parameters on the performance of twin thermoacoustic primemover*. International Journal of Heat and Mass transfer.
- [5] Sigit, Ristanto. 2013. Pengaruh Posisi *Stack* Terhadap Frekuensi Resonansi Pada Tabung Resonator Termoakustik. Jurnal fisika Vol. 3 No. 1.
- [6] Swift, GW. 1998. *Thermoacoustic Engine*. International Journal Of Acoustic Society.
- [7] Russel, DA., Weibull, P. 2002. *Table Top Thermoacoustic Refrigeration for Demonstration*. Am J Phys.
- [8] Kinsler, L.E., Frey, A.R. Coppens, A.B. dan Sanders, J.V., 1999, *Fundamentals of Acoustics*, Wiley, New York, Edisi ke-4, Bab 8.
- [9] Tijani, M.E.H. 2001. *Loudspeaker-Driven Thermoacoustic Refrigeration* (Disertasi). Eindhoven (NL): Technische Universiteit Eindhoven.
- [10] Tijani, M.E.H., Zeegers, J.C.H., and de Waele, A.T.A.M., 2002, *Construction*.
- [11] Collard, S. 2012. *Design and Assembly of a Thermoacoustic Engine Prototype*. Thesis of Engineering. Helsinki Metropolia University of Applied Science.