

PENGARUH FREKUENSI RESONANSI TERHADAP PENURUNAN SUHU PADA SISTEM TERMOKLASTIK SEDERHANA

Moh. Shofi Nur Utami^{1*}, Nur Rohman Arif², Agus Yulianto¹

¹Jurusan Fisika, FMIPA Unnes, Kampus Unnes Sekaran, Semarang

²Jurusan Teknik Mesin, FT Unnes, Kampus Unnes Sekaran, Semarang

*Email: ophie@students.unnes.ac.id

Abstrak

Termoakustik merupakan fenomena fisis dimana perubahan temperatur dapat menyebabkan gelombang (akustik) bunyi atau sebaliknya gelombang (akustik) bunyi dapat menimbulkan perubahan temperatur. Sistem termoakustik sederhana yang menggunakan *stack* dari bahan plastik dengan panjang 10 cm dan pori-pori berbentuk lingkaran serta *resonator tube* dari bahan PVC dengan diameter 1/4 in. dioperasikan untuk mengetahui pengaruh frekuensi resonansi terhadap penurunan suhunya. Metode yang digunakan untuk frekuensi resonansi, yaitu dengan menentukan panjang *resonator tube*, kemudian memberikan perlakuan pada *resonator tube* dengan memberikan gelombang bunyi pada *resonator tube*, ketika tampilan spektrum pada CRO menampilkan puncak spektrum maksimum dapat dikatakan sudah terjadi resonansi. Transfer energi optimum terjadi pada saat resonansi. Frekuensi resonansi mempengaruhi panjang *resonator tube*, semakin tinggi frekuensi resonansi maka panjang *resonator tube* semakin pendek. Hal ini yang menyebabkan kecepatan transfer kalor pada frekuensi resonansi tinggi semakin cepat. Perubahan suhu terkecil terjadi pada frekuensi resonansi 90 Hz, yaitu 0,9 °C. Sedangkan perubahan suhu terbesar terjadi pada frekuensi resonansi 150 Hz, yaitu 1,9 °C dibagian tandon dingin sistem termoakustik sederhana.

Kata kunci: frekuensi, resonansi, *stack*, termoakustik

PENDAHULUAN

Bertambah majunya peradaban manusia dan menurunnya kelestarian alam menuntut kita untuk berpikir lebih keras dalam menciptakan teknologi mutakhir yang ramah lingkungan. Salah satu teknologi yang berpengaruh terhadap kelestarian alam adalah mesin pendingin yang digunakan untuk mendinginkan bahan makanan, obat-obatan, bahan kimia maupun ruangan atau yang sering disebut AC (*air conditioner*). Mesin pendingin yang di jual bebas di pasaran saat ini pada umumnya masih menggunakan CFC (*Chloro Fluoro Carbon*), yang dapat mengakibatkan kerusakan lapisan ozon di atmosfer bumi (stratosfer). Kerusakan lapisan ozon berdampak pada terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim dunia. Dari permasalahan tersebut maka perlu dikembangkan mesin pendingin yang ramah lingkungan untuk mengurangi kerusakan lapisan ozon di atmosfer bumi.

Mesin pendingin yang sekarang sedang dikembangkan adalah mesin pendingin termoakustik yang memanfaatkan udara sebagai fluida kerjanya. Termoakustik adalah sistem pendingin yang ramah lingkungan karena menggunakan media kerja udara atau gas mulia sebagai alternatif sistem pendingin konvensional yang membahayakan lingkungan (Andreia *et al.*, 2011).

Konsep dasar sistem termoakustik adalah memanfaatkan gelombang suara yang dihasilkan oleh *loudspeaker* yang bergerak melalui suatu tabung resonator dan didalamnya terdapat *stack* yang berfungsi seperti kompresor pada sistem pendingin siklus kompresi *vapor*. Udara sebagai fluida kerja kemudian memasuki kanal-kanal kecil yang berada pada *stack* dan mengalami kompresi sehingga suhunya meningkat dan melepaskan kalor ke material *stack*. Fluida tersebut selanjutnya mengalami ekspansi dan penurunan suhu sehingga terjadi perpindahan

kalor yang mengakibatkan terjadinya perbedaan suhu pada dua ujung *stack*. Perpindahan kalor dari udara ke *stack* dan sebaliknya merupakan akibat dari gelombang akustik yang beresonansi dalam tabung yang bekerja sebagai kerja eksternal (Putra et al., 2012).

Resonator tube berbentuk silindris dengan satuujung terbuka dan satu ujung tertutup, dalam keadaan seperti ini dapat hadir gelombang bunyi tegak dengan frekuensi resonansi

$$f_n = \frac{nv}{4L} \quad (1)$$

Dengan $n = 1, 3, 5, \dots$ adalah orde harmonik, v adalah cepat rambat gelombang bunyi di udara, dan L adalah panjang *resonator tube*. Apabila koreksi ujung diterapkan pada *resonator tube* silindris, maka selain panjang *resonator tube*, diameter *resonator tube* (D) juga akan berpengaruh terhadap frekuensi resonansinya menurut persamaan (2) berikut (Setiawan et al., 2013):

$$f_n = \frac{nv}{4\left(L + \frac{14D}{23\pi}\right)} \quad (2)$$

Penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan menggunakan material logam, aluminium, tembaga, besi, kaca pyrex dan PVC (Hartulistiyoso et al., 2013).

Parameter-parameter yang berpengaruh pada kinerja sistem termoakustik adalah bahan tabung resonator, panjang tabung resonator, bahan *stack* yang digunakan, panjang *stack*, letak *stack*, jarak antar lapisan *stack*, diameter *stack*, fluida kerja, penggunaan *hot heat exchanger* dan *cold heat exchanger*, daya *loudspeaker*, intensitas sumber bunyi, frekuensi resonansi yang digunakan dan seterusnya.

Namun demikian, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh frekuensi resonansi terhadap penurunan suhu pada sistem termoakustik dengan panjang *stack* 10 cm dari bahan plastik. Panjang *stack* 10 cm memiliki pengaruh pergeseran fase yang paling kecil (Huda et al., 2013).

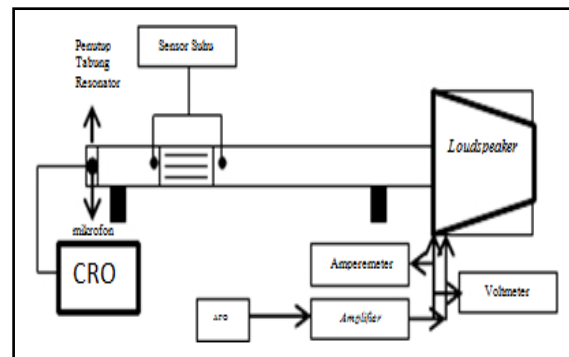
METODE

Langkah awal adalah menyiapkan *resonator tube* dari bahan PVC dengan

diameter 1 1/4 in. dan panjang yang ditentukan setelah menentukan frekuensi resonansi. *Stack* dipilih dari bahan plastik dengan panjang 10 cm (Cahyono et al., 2013). Sebagai sumber bunyi digunakan *loudspeaker piezoelectric* dengan daya dan impedansi 200 Watt/4 Ohm (Symko, 1994). Penguat gelombang bunyi yang digunakan adalah *Amplifier Marcopolo*. Untuk mengukur tegangan dan arus digunakan dua buah multimeter CD771 Sanwa. Sebagai pembaca sudah terjadi frekuensi resonansi menggunakan CRO yang dihubungkan dengan mikrofon pada bagian penutup *resonator tube*.

Sistem pendingin termoakustik sederhana beserta peralatan pengukurannya diperlihatkan secara skematik oleh gambar 1. Frekuensi resonansi bisa ditentukan dengan perhitungan (teori) atau dengan percobaan dengan melihat spektrum pada CRO. Ketika spektrum CRO menunjukkan posisi maksimum maka dapat dikatakan sudah terjadi frekuensi resonansi. Ini dioperasikan pada tegangan yang bervariasi setiap frekuensi resonansi. Kemudian dengan posisi *stack* $X_s = \lambda/20$, kita ketahui bahwa $\lambda = v/f$. Maka akan dapat diketahui posisi *stack* pada X_s .

Setelah terjadi frekuensi resonansi sistem termoakustik sederhana ini dioperasikan selama 15 menit untuk mengetahui pengaruh frekuensi resonansi terhadap penurunan suhu pada tandon dingin. Pengambilan data dilakukan sebanyak tujuh kali, yaitu frekuensi resonansi 90 Hz, 100 Hz, 110 Hz, 120 Hz, 130 Hz, 140 Hz dan 150 Hz.



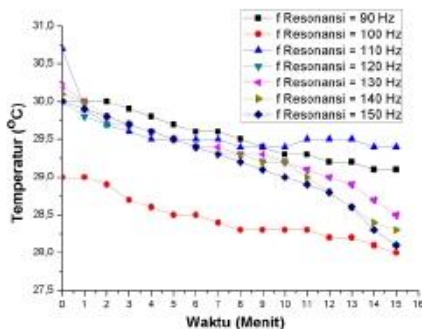
Gambar 1. Skema susunan peralatan eksperimen sistem pendingin termoakustik sederhana

Luaran yang diharapkan dari eksperimen ini adalah data pengaruh frekuensi resonansi terhadap penurunan suhu pada

sistem termoakusik sederhana. Indikator keberhasilannya yaitu diperoleh data frekuensi resonansi tinggi maka panjang *resonator tube* semakin pendek, kemudian menyebabkan kecepatan transfer kalor pada frekuensi resonansi tinggi semakin cepat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

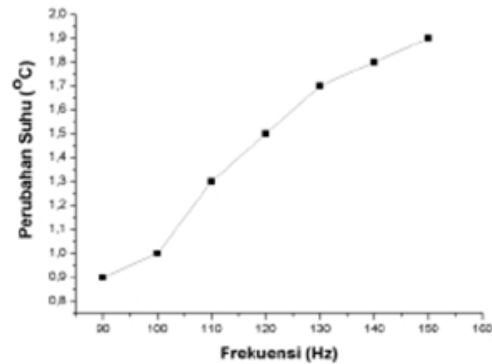
Pada gambar 2. menunjukkan bahwa frekuensi resonansi mempengaruhi penurunan suhu pada tandon dingin per-menitnya. Besarnya penurunan suhu pada tandon dingin sistem termoakustik sederhana ini bervariasi bergantung pada tinggi frekuensi resonansi yang diberikan. Setiap variasi frekuensi resonansi tidak dioperasikan pada suhu lingkungan yang sama, karena suhu lingkungan sekitar tidak selalu konstan setiap kali pengambilan datanya. Itu disebabkan pengoperasian sistem termoakustik sederhana dengan jeda yang cukup singkat. Sehingga menyebabkan suhu awal pada pengambilan data kedua tidak seperti suhu awal pada pengambilan data pertama dan seterusnya sampai pengambilan data ke tujuh. Gambar 2 menunjukkan bahwa setiap kali pengambilan data dengan frekuensi resonansi yang bervariasi tidak mencapai kondisi stabil pada waktu tertentu, hal ini menandakan belum terjadinya kesetimbangan termal antara piranti dengan lingkungan. Dengan kata lain, kemungkinan besar ketika piranti ini dioperasikan lebih lama lagi akan menunjukkan penurunan suhu yang lebih signifikan sampai pada keadaan stabil dan terjadi kesetimbangan termal antara piranti dengan lingkungan.



Gambar 2. Penurunan suhu yang terjadi per menit setiap frekuensi resonansi

Gambar 2. juga menunjukkan bahwa kecepatan penurunan suhu paling cepat adalah pada frekuensi resonansi 110 Hz, dapat dilihat

dari menit ke nol suhu awalnya 30,7 °C kemudian ketika menit ke satu suhu pada tandon dingin menunjukkan 29,9 °C, $\Delta T_{t=0 \rightarrow 1} = 0.8 \text{ }^\circ\text{C}$ Berbeda dengan frekuensi resonansi lain yang rata-rata $\Delta T_{t=0 \rightarrow 1} = 0.3 \text{ }^\circ\text{C}$. Namun, pada menit selanjutnya penurunan suhunya hampir sama dengan frekuensi resonansi lain.



Gambar 3. Pengaruh frekuensi resonansi terhadap perubahan suhu ($\Delta T^\circ\text{C}$)

Gambar 3 menjelaskan bahwa kelinearan antara besarnya frekuensi resonansi dengan perubahan suhu yang terjadi. Perubahan suhu terjadi akibat pemompaan (transfer) kalor dari tandon dingin ke tandon panas yang dilakukan oleh gelombang bunyi. Perubahan suhu optimum terjadi saat resonansi. Hal ini dikarenakan transfer energi optimum terjadi pada saat resonansi. Frekuensi resonansi mempengaruhi panjang *resonator tube*, semakin tinggi frekuensi resonansi maka panjang *resonator tube* semakin pendek. Hal ini yang menyebabkan kecepatan transfer kalor pada frekuensi resonansi tinggi semakin cepat. Sehingga pada frekuensi resonansi tinggi menyebabkan perubahan suhu yang paling besar.

Penurunan suhu minimal terjadi pada frekuensi resonansi 90 Hz dengan panjang *resonator tube* 95 cm pada posisi *stack* $X_s = 19,1 \text{ cm}$ terjadi penurunan suhu sebesar 0,9°C. Penurunan suhu maksimal terjadi pada frekuensi resonansi 150 Hz dengan panjang *resonator tube* 56,6 cm pada posisi *stack* $X_s = 11,5 \text{ cm}$ dengan penurunan suhu sebesar 1,9 °C.

SIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah frekuensi resonansi mempengaruhi

optimalisasi perubahan suhu yang terjadi. Hal ini dikarenakan pemompaan (transfer) kalor optimum terjadi pada saat resonansi. Frekuensi resonansi mempengaruhi panjang *resonator tube*, semakin tinggi frekuensi resonansi maka panjang *resonator tube* semakin pendek. Hal ini yang menyebabkan kecepatan transfer kalor pada frekuensi resonansi tinggi semakin cepat.

Symko, G., & Orest. 1994. *High Frequency Refrigerator*. University of Utah, DTIC Selected 29 June 1994.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyono, A., I. Setiawan & A.B.S. Utomo. 2013. Analisis Kinerja Pompa Kalor termoakustik Pada Variasi Diameter *Stack* Berpori Lingkaran. *Berkala MIPA UGM*.
- Hartulistiyoso, E., M. Yulianto & I. Sentosa. 2013. Potensi Penggunaan Bambu sebagai Tabung Resonator *Thermoacoustic Refrigeration*. *JTEP Jurnal Keteknikan Pertanian* 27(2).
- Huda, C., A.F. Kurniawan & S. Ristanto. 2013. Pengaruh *Stack* Terhadap Fase Gelombang Tekanan Dalam Tabung Resonator. *Proceedings of Lontar Physics Forum Progdi Pendidikan Fisika FPMIPA IKIP PGRI Semarang di Semarang, 08 Juni 2013. LPF1356-1 - LPF1356-3*.
- Nandy, P., D. Agustina, A.I.V. Gilang & S. Waluyo. 2012. Pengaruh Parameter *Stack* Serta Variasi Frekuensi Terhadap Performa Termal Pendingin Termoakustik. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin ITENAS Bandung, 17-18 Januari 2012. TKE 24-30*.
- Nascumanto, A.A. 2011. Numerical Simulation of Thermoacoustic Refrigerator. *Proceedings of COBEM 2011 Natal, RN, Brazil, October 24-28, 2011*.
- Setiawan, I. 2013. Pengaruh Dimensi Resonator Silindris Terhadap Kinerja Suatu Pendingin Termoakustik. *Berkala MIPA UGM*.