

## **Pengaruh Tekanan Gelombang terhadap Konversi Energi Termoakustik**

**Irna Farikhah<sup>1</sup>, Harto Nuroso<sup>2</sup>, Umami Kaltsum<sup>2</sup>, Muhammad Amiruddin<sup>3</sup>, Yuris Setyoadi<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas PGRI Semarang

<sup>2</sup>Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas PGRI Semarang

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas PGRI Semarang

Email: [irnafarikhah@upgris.ac.id](mailto:irnafarikhah@upgris.ac.id)

### **ABTRAK**

Termoakustik adalah kombinasi antara ilmu thermal dan akustik. Bidang ilmu ini berakar pada sains fisika yang diaplikasikan pada mesin panas dan mesin pendingin dengan teknologi termoakustik. Teknologi ini bisa mengubah limbah panas maupun energi panas menjadi energi akustik yang terjadi pada mesin termoakustik. Energi akustik tersebut juga bisa diubah menjadi pendingin termoakustik yang terjadi pada pendingin termoakustik. Untuk penelitian ini, kami fokus pada konversi energi mesin termoakustik. Ada beberapa parameter yang mempengaruhi konversi mesin termoakustik salah satunya adalah pengaruh tekanan gelombang. Penelitian ini dilakukan secara numerik dengan program fortran yang mana menghitung stability limit dan efisiensi konversi energi termoakustik. Konversi energi ini dinyatakan dalam efisiensi konversi energi termoakustik. Efficiency konversi energi Termoakustik yang dicapai mencapai 38 % dengan tekanan gelombang 4 M.Pa.

### **ABSTRACT**

Thermoacoustics is a combination of thermal and acoustic sciences. This field of science is rooted in the physical sciences applied to heat engines and refrigeration engines with acoustical technology. This technology can convert waste heat and heat energy into acoustic energy that occurs in thermoacoustic machines. The acoustic energy can also be converted into a thermoacoustic cooler that occurs in a thermoacoustic cooler. For this study, we focused on the energy conversion of a thermoacoustic engine. There are several parameters that affect the thermoacoustic engine conversion, one of which is the effect of wave pressure. This research was carried out numerically with a program which calculated the limits of stability and efficiency of thermoacoustic energy conversion. This energy conversion is expressed in terms of thermoacoustic energy conversion efficiency. Thermoacoustic energy conversion efficiency that reaches 38% with a pressure wave of 4 M.Pa.

**Kata kunci:** Termoakustik, konversi energi

## PENDAHULUAN

Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2019 Buku Outlook Energi Indonesia (OEI), total produksi energi di Indonesia cenderung menurun di beberapa sektor [1]. Mengingat semakin menipisnya fosil energi di Indonesia dan komitmen untuk mengurangi efek rumah kaca, energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan sangat dibutuhkan. NS Pemerintah Indonesia, melalui Pemerintah Peraturan Nomor 79 Tahun 2014 tentang Nasional Kebijakan Energi, telah mengaturnya untuk mengatasi hal ini krisis energi. Dimana target baru dan bauran energi terbarukan pada tahun 2025 setidaknya 23% dan 31% pada tahun 2050 [2]. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian tentang adanya energi baru yaitu ramah lingkungan untuk mendukung energi produksi di Indonesia salah satunya adalah energi dihasilkan dari proses termoakustik. Termoakustik adalah ilmu yang mempelajari bidang interaksi antara panas dan suara, yaitu tentang konversi energi panas menjadi energi suara (akustik) dan sebaliknya [3]. Untuk menghasilkan efek termoakustik, termoakustikperangkat yang dibutuhkan [4], yaitu thermoacoustic mesin (penggerak utama) [5], [6] dan termoakustik pendingin [7], [8], yang sering disebut sebagai panas pompa [9]. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi kinerja mesin termoakustik. Menurut Swift dan Knalpot belakang, penggunaan tabung melingkar memiliki lebih besar efisiensi dibandingkan menggunakan tabung lurus [10]. Ini adalah karena tabung melingkar digerakkan oleh perjalanan gelombang yang melakukan operasi dengan reversible siklus pengadukan dibandingkan dengan tabung lurus yaitu dilakukan oleh gelombang berdiri sehingga mengalami proses ireversibel [11].

Ada banyak aplikasi untuk mesin termoakustik. Swift pada tahun 1988 mendemonstrasikan mesin termoakustik [9]. Dia juga dilakukan investigasi tentang besar mesin termoakustik. Dia menemukan bahwa efisiensi mesin hanya 13% dan suhu pemanasan adalah 700 [12]. Pada tahun 2002 Yazaki et. al juga melakukan penyelidikan tentang mesin termoakustik. Namun,

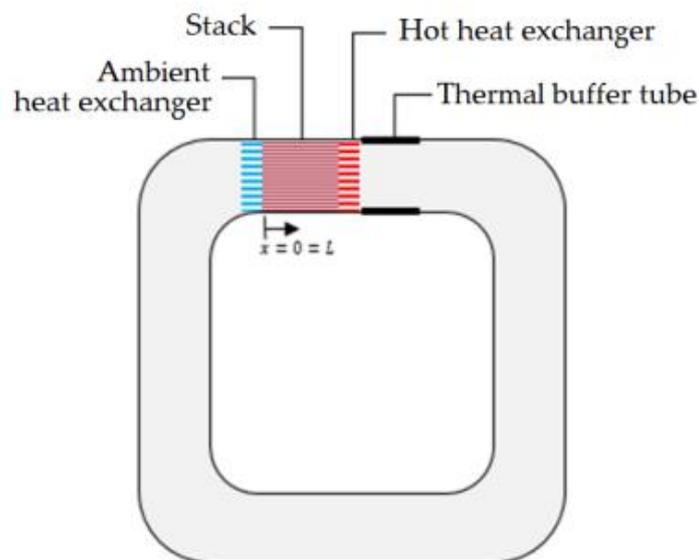
Mereka tidak menghitung efisiensi mesin [13]. Apalagi pada tahun 2016 dan 2017 Farikhah et. al melakukan itu perhitungan mesin termoakustik [14], [15]. Pada tahun 2017 Farikhah et. al menyelidiki efek dari porositas pada kinerja mesin. Mereka menemukan bahwa efisiensi adalah 72% tetapi pemanasan suhu 295 [16]. Mereka menemukan bahwa efisiensi mesin mencapai 75%. Namun, suhu pemanasan masih tinggi pada 523. Pada tahun 2020 Farikhah melakukan numerik perhitungan dan mendapatkan hasil bahwa efisiensi dari mesin adalah 75%. Namun, permulaan pemanasan suhu 307 [8]. penelitian eksperimental dan studi numerik telah dilakukan untuk dapatkan suhu onset terendah dan tertinggi efisiensi mesin. Menurut Zang et al, ada adalah beberapa parameter untuk mendapatkan yang terendah suhu pemanasan dan mesin tertinggi efisiensi, itu adalah tekanan rata-rata [12], radius tumpukan [13], panjang tumpukan [14], dll. Semua penyelidikan yang dilakukan oleh peneliti lain yang suhu pemanasan masih tinggi yaitu tidak mungkin untuk memanfaatkan limbah panas dari mobil mesin karena panas buang dari mesin mobil adalah lebih rendah dari 200 C. Oleh karena itu, dalam penelitian kami, kami ingin fokus menemukan pemanasan onset rendah suhu sambil menjaga efisiensi tetap tinggi. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan memeriksa secara numerik untuk menentukan suhu onset terendah dan efisiensi tertinggi dengan memvariasikan tekanan rata-rata dan loop's radius pada mesin termoakustik gelombang berjalan oleh tabung melingkar.

## **METODE PENELITIAN**

Skema mesin termoakustik sistem yang merupakan model perhitungan dalam hal ini studi ditunjukkan pada Gambar 1. The thermoacoustic mesin yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan tabung melingkar yang dihasilkan oleh gelombang berjalan. Komponen dalam mesin termoakustik ini meliputi: loop, penukar panas-panas, penukar panas ambien, dan tabung penyangga termal. Sebagai variabel kontrol, panjang pipa melingkar set 2,8 meter,

radius saluran sempit dari regenerator 0,7 mm, panjang loop 7 cm, porositas loop 0,9, dan gas kerja yang digunakan adalah helium dengan tekanan 501 KPa.

Jari-jari loop dilambangkan sebagai  $r$ . Di dalam perhitungan, tekanan rata-rata  $P_m$  dan jari-jari Loop  $R_{loop}$  digunakan sebagai parameter untuk mencari suhu pemanasan rendah dan efisiensi mesin termoakustik. Di dalam perhitungan numerik, nilai ditentukan sesuai dengan suhu kamar, yaitu 301 atau 28 °C. Adapun  $\beta$ , ditentukan dengan menghitung batas stabilitas, di mana variabel independent digunakan satu per satu untuk mendapatkan pemanasan terendah dan efisiensi mesin termoakustik.

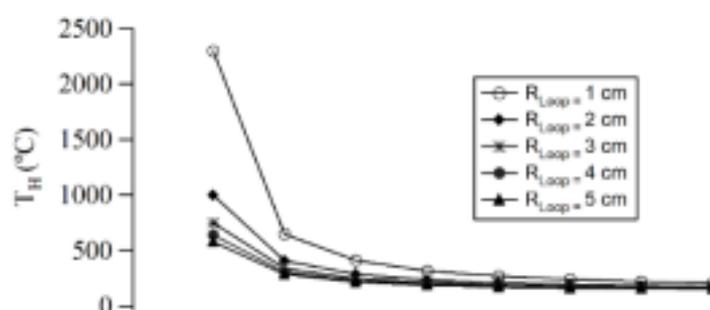


Gambar 1. Skema gambar mesin Termoakustik

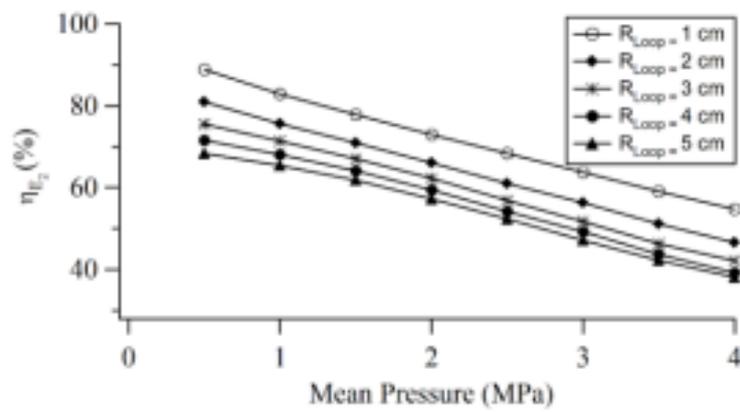
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini disajikan dalam grafik hubungan variasi dalam tekanan rata-rata dan jari-jari loop pada Gambar 2 dan 3. Gambar 2 menunjukkan suhu awal terendah telah menurun drastis mulai dari tekanan rata-rata 0,5 MPa - 2 MPa, dan cenderung menurun terus-menerus dari 2 - 4 MPa. Dari grafik ini dapat dilihat bahwa yang terendah suhu awal diperoleh pada 153 °C ketika adalah 4,0 MPa dan adalah 5 cm. dipengaruhi oleh fase gelombang . Hal ini dapat

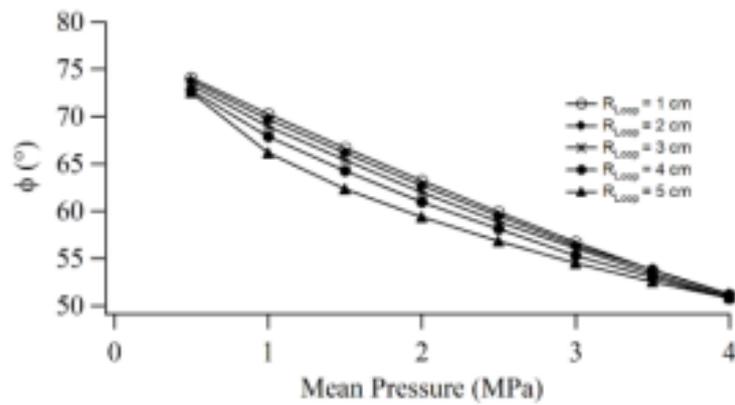
diamati dengan Gambar 4. Menurut Gambar 4, ketika  $R_{loop} = 5$  cm dan  $P_m = 4.0$  Mpa, fase terendah dihasilkan pada  $50,7^\circ$ . Hal ini sama dengan grafik pada Gambar 2, yang juga mencapai nilai terendah dalam hal itu posisi. Fase ini berbanding terbalik dengan daya akustik yang dihasilkan. terendah, akan menghasilkan daya akustik tertinggi ini disesuaikan dengan persamaan oleh Ueda [11]. Pada Gambar 3, efisiensi menurun secara linier sebagai penurunan. Pada grafik itu bisa menjadi diamati, efisiensi juga menurun sebagai loop's jari-jari berkurang. Dari grafik tersebut dapat terlihat bahwa efisiensi tertinggi diperoleh ketika adalah  $P_m 0,5$  MPa dan  $R_{loop} 1$  cm, Efficiency sama dengan 88,8%. Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa untuk mencapai tinggi efisiensi, suhu onset tinggi juga diperlukan. Ketika adalah  $P_m 0,5$  MPa dan  $R_{loop} 1$  cm, efisiensi tertinggi diperoleh, tetapi yang diperlukan suhu awal juga tinggi, mencapai  $2295^\circ\text{C}$ . Sebaliknya, ketika adalah  $P_m 4$  MPa dan  $R_{loop} 5$  cm, suhu pemanasan terendah diperoleh di  $153^\circ\text{C}$ , namun efisiensi yang dihasilkan tidak terlalu besar, efisiensi hanya 38,1%. Pilih parameter yang tepat adalah diperlukan untuk mendapatkan efisiensi tertinggi atau untuk mendapatkan suhu awal terendah. Dalam penelitian ini, paling tepat untuk dieksekusi adalah pada dari  $P_m 2$  MPa dan  $R_{loop} 5$ cm. Pemilihan ini bukan semata-mata tanpa alasan karena menghasilkan  $174^\circ\text{C}$  yang termasuk dalam limbah panas tingkat rendah [23] paling banyak dihasilkan dari kegiatan industri [24]. Dalam perhitungan, efisiensi sebenarnya dari mesin 1 dibandingkan dengan carnot efisiensi menurut Persamaan. (15). Semakin tinggi nilai efisiensi aktual dan semakin rendah nilai efisiensi carnot akan mencapai maksimum. Hubungan dari  $1, \eta C$  dan ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6, dapat dilihat kedua  $1$  dan  $\eta C$  mencapai nilai maksimum mereka ketika mereka digunakan  $0,5$  MPa dan  $1$  cm.



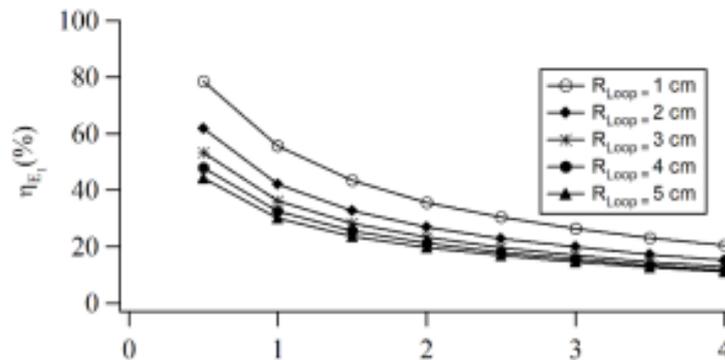
Gambar 2. Grafik suhu VS Pm dan Rloop



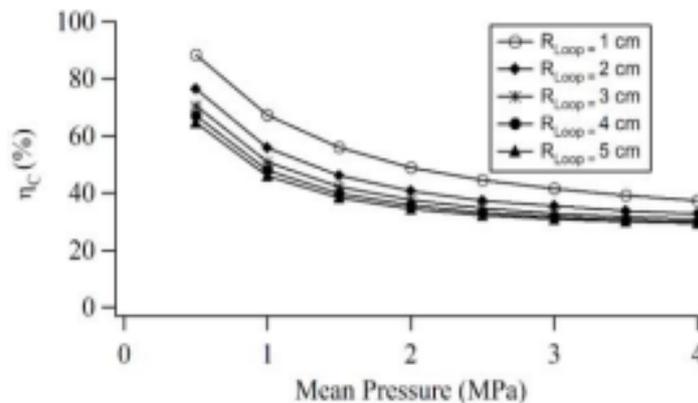
Gambar 3. Grafik Efisiensi VS Pm dan Rloop



Gambar 4. Grafik beda fase VS Pm dan Rloop



Gambar 5. Efisiensi Termal VS Pm dan Rloop



Gambar 6. Efisiensi Carnot VS Pm dan Rloop

## SIMPULAN DAN SARAN

Dalam penelitian ini, suhu onset terendah adalah 153 °C yang lebih terjangkau untuk limbah panas di mesin mobil untuk diubah menjadi berguna lainnya energi. Suhu ini diperoleh ketika tekanan rata-rata 4 MPa digunakan dan jari-jari lingkaran adalah 5 cm. Dengan suhu awal ini, efisiensi mesin yang dihasilkan adalah 38%. Di dalam penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh tekanan rata-rata dan jari-jari loop pada permulaan suhu pemanasan dan mesin termoakustik efisiensi. Model mesin memberikan panduan untuk peneliti yang bekerja secara eksperimental untuk memilih parameter untuk mendapatkan suhu pemanasan rendah.

## DAFTAR PUSTAKA

Suharyati, S. H. Pambudi, J. L. Wibowo, dan N. I. Pratiwi, "Outlook Energi Indonesia," Jakarta, 2019.

Presiden RI, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. 2014.

I. Setiawan, P. Murti, W. N. Achmadin, dan M. Nohtomi, "Pembuatan dan Pengujian Prime Mover Termoakustik Tipe Gelombang Tegak," in *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*, 2015.

G. A. I. Varian, "Karakteristik Termoakustik Berdasarkan Variasi," Universitas Indonesia, 2011.

G. W. Swift, "Thermoacoustic Engines," *J. Acoustical Soc. Am.*, vol. 84, no. 4, hal. 1145–8 1180, 1988.

S. Backhaus dan G. W. Swift, "A thermoacoustic-Stirling heat engine : Detailed study A thermoacoustic-Stirling heat engine : Detailed study," *J. Acoustical Soc. Am.*, vol. 107, no. 6, hal. 3148–3166, 2000.

Y. Ueda, T. Biwa, U. Mizutani, dan T. Yazaki, "Experimental studies of a thermoacoustic Stirling prime mover and its application to a cooler," *Acoust. Soc. Am.*, vol. 115, no. 3, hal. 1134–1141, 2004.

X. Zang, J. Chang, S. Cai, dan J. Hu, "A multi-stage travelling wave thermoacoustic engine driven refrigerator and operation features for utilizing low grade energy," *Energ Convers Manag.*, vol. 114, no. 224, hal. 33, 2016.

S. W. Utami, "Kajian Numerik Pengaruh Jari-Jari Stack Terhadap Suhu Pemanasan Rendah Dan Efisiensi Mesin Termoakustik Tipe Gelombang Berjalan," Universitas PGRI Semarang, 2019.

K. Rahmatunisa, "Kajian Numerik Pengaruh Panjang Dan Diameter Stack Terhadap Suhu Pemanasan Rendah Dan Efisiensi Mesin Termoakustik Tipe Gelombang Berjalan," Universitas PGRI Semarang, 2019.

- N. Rott, "Damped and Thermally Driven Acoustic Oscillations in Wide and Narrow Tubes," *Z. Angew. Math. Phys.*, vol. 20, hal. 230–243, 1969.
- T. Yazaki, A. Tominaga, dan Y. Narahara, "Experiments on thermally driven acoustics oscillations of gaseous helium," *Low Temp. Phys.*, vol. 41, hal. 45–60, 1980.
- Y. Ueda dan C. Kato, "Stability analysis of thermally induced spontaneous gas oscillations in straight and looped tubes," *J. Acoustical Soc. Am.*, vol. 124, no. 2, hal. 851–858, 2008.
- G. W. Swift, *Springer Handbook of Acoustics: Thermoacoustic*. New York: Springer International Publishing, 2006.
- N. Rott, "Thermally driven acoustic oscillations. Part III: Second-order heat flux," *Z angew Math. Phys.*, vol. 26, hal. 43–49, 1975.
- I. Farikhah dan Y. Ueda, "Numerical Calculation of the Performance of a Thermoacoustic System with Engine and Cooler Stacks in a Looped Tube," *Appl. Sci. Artic.*, vol. 7, hal. 1–14, 2017.
- T. Yazaki, T. Biwa, dan A. Tominaga, "A pistonless Stirling cooler," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 80, no. 1, 2002.
- I. Farikhah, "Optimization of a heat-driven thermoacoustic cooler in a looped tube with two stacks," Tokyo University, 2018.
- I. Johnson, W. T. Choate, dan A. Davidson, "Waste heat recovery: technology and opportunities in US Industry," 2008.
- C. Haddad, C. Perilhon, A. Danlos, dan M. X. Francois, "Some efficient solutions to recover low and medium waste heat: competitiveness of the thermoacoustic technology," in *The International Conference on technology and Materials for Renewable Energy, Environment, and Sustainability, TMREES14*, 2014, hal. 1058.

M. R. Braun, P. Walton, S. B. M. Beck, dan W. London, “Illustrating the relationship between the coefficient of performance and the coefficient of system performance by means of an R404 supermarket refrigeration system,” *Int. J. Refrig.*, vol. 70, hal. 225–234, 9 2016.

Z. Ma, H. Bao, dan A. P. Roskilly, “Thermodynamic modelling and parameter determination of ejector for ejection refrigeration systems,” *Int. J. Refrig.*, vol. 75, hal. 117– 128, 2017.