

ARTIKEL RISET

Sistem Pendingin Termoakustik Dengan Menggunakan *Stack* Acak dan Penukar Kalor Tambahan Dalam Resonator

Yumnawati*, P. Murti, W.N. Achmadin and Agung Bambang Setio Utomo

Ringkasan

Telah dilakukan penelitian pada kinerja sistem pendingin termoakustik menggunakan *stack* acak dan kemudian ditingkatkan lagi kinerjanya dengan memberi penukar kalor tambahan sebagai *auxiliary heat exchanger*. Resonator yang digunakan berbentuk silinder dengan satu ujung tertutup, sedangkan ujung yang lain dihubungkan dengan *speaker*. Gelombang bunyi yang dihasilkan dari *speaker* dalam resonator akan memberi pengaruh pada medium udara dalam tabung resonator. Dalam hal ini pengaruh utamanya pada daya pendinginan, sehingga perlu dibuat sistem yang cukup efisien. Diharapkan dengan terwujudnya sebuah pendingin termoakustik menggunakan penukar kalor tambahan dapat meningkatkan kinerja sistem.

Kata Kunci : termoakustik, penukar kalor tambahan, resonator.

Abstract

A research on the thermoacoustic system performance using a randomized porous stack and increasing their performance by using an heat exchanger has been done. A PVC cylindrical pipe is used as resonator which is covered on the end and connected by a loudspeaker on the other end. The sound, which is produced by speaker, in resonator pipe would give an influence on the air in resonator. In principles the influence is a cooling power so it has been made an efficient system. By constructing a thermoacoustic cooling system, which uses an heat exchanger, could increase the system performance.

Keywords: thermoacoustic; auxiliary heat exchange; resonator.

1 PENDAHULUAN

Di Indonesia, keberadaan sistem pendingin (AC) sangatlah diperlukan untuk pendinginan ruangan, akan tetapi sistem pendingin umumnya masih menggunakan zat pendingin tertentu dan zat pendingin tertentu ini memungkinkan menjadi salah satu penyebab kerusakan lingkungan di atmosfer bumi. Akibat adanya kerusakan lingkungan berdampak pada kehidupan di bumi. Untuk itu perlu kiranya dikembangkan suatu sistem pendingin yang aman bagi lingkungan sebagai alternatif sistem pendingin yang telah ada.

Pada penelitian terdahulu, telah dibangun sistem pendingin termoakustik sederhana menggunakan resonator silindris dan telah diselidiki pengaruh

frekuensi gelombang bunyi terhadap beda suhu yang timbul dalam tabung silinder [1], pengaruh posisi *stack* terhadap kinerja sistem [2], diameter resonator yang dapat mempengaruhi sistem [3], dan amplitudo bunyi gelombang bunyi yang digunakan [4] terhadap kinerja sistem pendingin tersebut.

Kesemua penelitian yang telah dilakukan itu menggunakan *stack* jenis sejajar, yaitu jenis *stack* yang mempunyai alur sejajar dengan arah sumbu silinder tabung resonator. Sedangkan pada penelitian ini *stack* yang digunakan terbuat dari bahan *stainless* dan bersifat acak.

Pada penelitian ini dibatasi hanya pada pengaruh *stack* acak dan adanya penukar kalor tambahan sebagai *hot heat exchanger* dalam resonator, sehingga dapat diselidiki pengaruh kinerja termoakustik menggunakan *stack* acak dan dengan adanya penukar kalor tambahan sebagai *hot heat exchanger*.

Selain parameter di atas, pada dasarnya terdapat banyak parameter yang menentukan kinerja dan

*Correspondence: uchyyumna@gmail.com

Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Haluoleo, Kendari, Indonesia

Full list of author information is available at the end of the article

†Equal contributor

efisiensi pendingin termoaustik, antara lain: jenis dan tekanan gas, bahan *stack*, kinerja *loudspeaker*, konfigurasi resonator, dan lain-lain [5, 6, 7, 8, 9, 10].

1.1 Studi Pustaka

Sejauh ini, teknologi termoaustik terus dikembangkan oleh banyak peneliti [11, 12]. Acuan yang komprehensif tentang termoaustika telah ditulis oleh [6], bahwa desain piranti termoaustik jenis gelombang berdiri relatif lebih sederhana. Adapun bentuk resonator yang termudah untuk piranti termoaustik adalah bentuk silinder, meskipun pendingin termoaustik dengan bentuk seperti ini memiliki efisiensi relatif rendah [5]. Russell dan Weibull (2002) [7] membangun piranti pendingin termoaustik menggunakan resonator silinder dan *stack* bahan film fotografi 35 mm, menghasilkan penurunan suhu sekitar 10°C dalam waktu 4 menit pengoperasian. Biwa dkk. (2004) [13] secara eksperimental mendemonstrasikan piranti termoaustik sedangkan Yazaki dkk. (2002) [14] mendemonstrasikan sebuah prototipe pendingin akustik didasarkan pada proses siklus Stirling. Selain itu Tu dkk. (2005) [9] secara teoritis dan eksperimental tentang karakteristik frekuensi pada pendingin termoaustik. Jensen dkk (2006) [15], memodelkan secara numerik dua pendekatan yang berbeda untuk integrasi gradien suhu di dalam *stack* termoaustik sedangkan Zoontjens dkk (2005)[8] telah mengembangkan desain pendingin termoaustik. Pemodelan, optimisasi dan kinerja sistem secara keseluruhan [16].

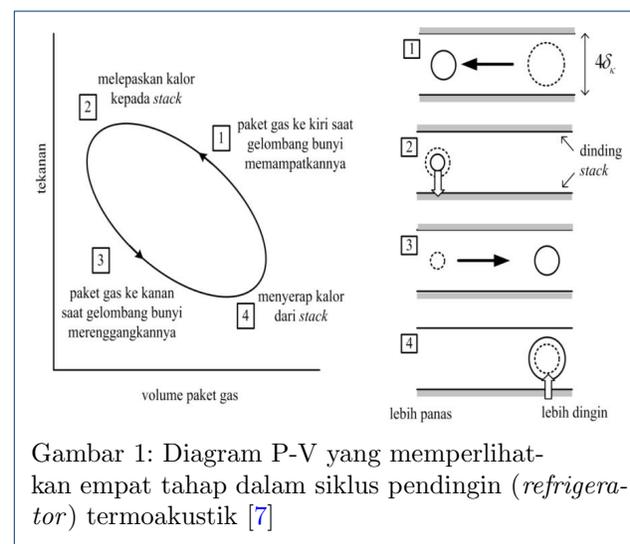
Setiawan dkk. (2005) [17] telah memulai mewujudkan sistem termoaustik sejak 2005. Ikhsan dkk. (2007) [18] telah melakukan penelitian tentang pendingin termoaustik sederhana menggunakan resonator silindris dari pipa PVC, *stack* dari bahan kertas kardus dan film fotografi, tentang pengaruh amplitudo (intensitas) dan frekuensi bunyi yang digunakan terhadap kinerja sistem. Diperoleh hasil bahwa penurunan suhu terbesar terjadi di pada frekuensi resonansi sistem resonator dan sebanding dengan intensitas bunyi yang digunakan [17, 1, 2, 4].

Pada tahun 2006, dilakukan penelitian untuk mempelajari pengaruh geometri resonator silindris yang digunakan, meliputi panjang dan diameternya, terhadap kinerja piranti pendingin yang dibuat [18, 3]. Diperoleh kecenderungan bahwa penurunan suhu berbanding terbalik dengan panjang resonator.

2 METODE PENELITIAN

Siklus proses pendinginan termoaustik diilustrasikan pada Gambar 1. Saat gelombang akustik menyebabkan paket gas di dalam *stack* bergerak ke kiri (ke bagian

panas) maka tekanan dalam ruang tersebut meningkat dan gas termampatkan. Paket gas yang termampatkan ini sekarang lebih panas daripada dinding *stack* di dekatnya sehingga gas melepaskan kalor ke *stack* dan menyusutkan volume paket gas tersebut. Saat gelombang melanjutkan siklusnya, paket gas ditarik kembali ke kanan (ke bagian dingin) dimana tekanan dalam ruang tersebut lebih rendah. Paket gas menjadi lebih renggang dan lebih dingin dari pada dinding *stack* di dekatnya, sehingga gas menyerap kalor dari dinding *stack* untuk mengembang. Siklus ini terus berulang dan efeknya adalah transfer kalor dari bagian dingin ke bagian panas *stack*.



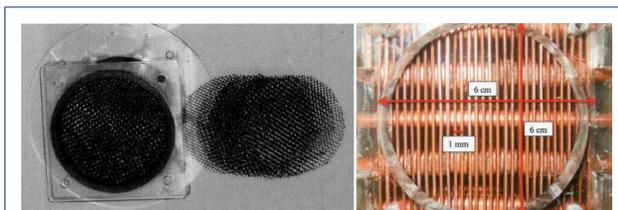
Gambar 1: Diagram P-V yang memperlihatkan empat tahap dalam siklus pendingin (*refrigerator*) termoaustik [7]

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terbagi dalam dua bagian, yaitu sistem sumber bunyi yang terdiri dari *loudspeaker* (+ kotak sebagai penutupnya) dengan merek CUBIG, diameter ring 10 inch, *impedance* 4 ohm, *maximum power* 400W, dan AFG (*audio function generator*) digital model GFG-8016G dengan ketelitian alat 1 Hz beserta penguat daya stereo (*stereo power amplifier*) dengan merek BELL M-900. Sedangkan sistem deteksi suhu yang digunakan berupa dua buah sensor suhu (termometer digital) dan dua buah termometer batang. Termometer digital yang digunakan disertai sensor suhu tipe LM-35. Adapun termometer digital yang digunakan ini memiliki ketelitian $0,1^{\circ}\text{C}$, sedangkan termometer batang memiliki ketelitian $0,5^{\circ}\text{C}$.

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian sebagai unit termoaustik, terdiri atas tabung resonator terbuat dari pipa PVC dengan diameter 5,53 cm dan panjang pipa 80 cm. Pipa PVC ini dibagi dalam tiga bagian dengan panjang masing-masing berukuran 14 cm, 11 cm, dan 54 cm beserta

penyambung pipa. Pipa-pipa tersebut dihubungkan dengan dua buah penghubung PVC dengan ketebalan masing masing 0,5 cm. Penghubung PVC pertama dipasang pada pipa berukuran 14 cm dan 11 cm. Diantara kedua pipa ini diletakkan *hot heat exchanger*. Kemudian penghubung PVC kedua dipasang antara 11 cm dan 54 cm. Di dalam pipa berukuran 11 cm diletakkan *stack*, sedangkan ujung pipa yang berukuran 54 cm dihubungkan dengan *loudspeaker* dan pada ujung pipa 14 cm ditutup dengan penutup PVC [19].

Adapun *stack* terbuat dari sejumlah lembar *stainless* dengan ukuran *mesh* tertentu yang dijejer menjadi satu kesatuan menjadi *stack* berpanjang L dan bersifat acak antar lembar satu dengan yang lain. Jenis *stack* acak berbahan *stainless* dengan ukuran *mesh* tertentu yang divariasi panjang L nya dan diamati kinerja sistem berdasar ukuran *mesh* dari *stack* yang dipergunakan. Murti (2012) [20] memperoleh hasil bahwa kinerja sistem akan optimum pada penggunaan *mesh* dari *stack* dengan ukuran tertentu, yang kemudian, menggunakan *stack* ber *mesh* tertentu tersebut divariasi panjang *stack* (L) nya, yaitu pada $L = 4\text{ cm}$; $4,5\text{ cm}$; 5 cm ; $5,5\text{ cm}$; 6 cm ; $6,5\text{ cm}$ dan 7 cm (Gambar 2a). Penelitian selanjutnya, adalah menggunakan ukuran *mesh* dan L pada kinerja sistem yang optimum, ditambahkan *hot heat exchanger* berbahan tembaga, sebagai penyerap kalor (Gambar 2b).



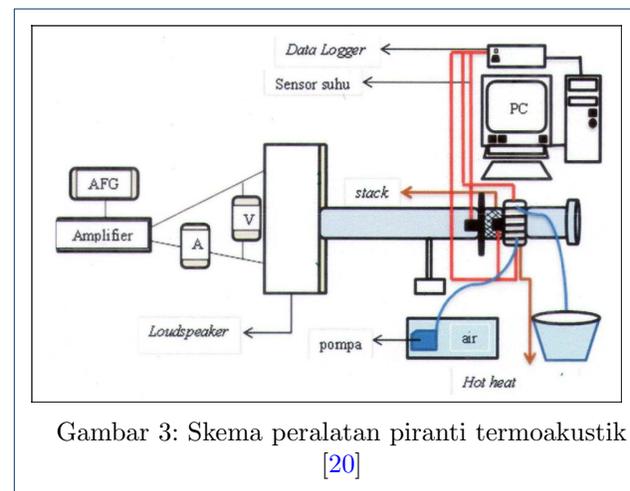
Gambar 2: *Stack* yang ditumpuk (2a), *Hot heat exchanger* yang terbuat dari pipa tembaga (2b) [20, 21]

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini cairan yang digunakan sebagai bahan pendingin atau penukar kalor pada *hot heat exchanger* adalah air. Sistem pendinginan *hot heat exchanger* menggunakan pompa air sebagai sirkulator yang dilengkapi selang penghubung ke *hot heat exchanger* sehingga cairan dapat masuk ke dalam *hot heat exchanger* dan selanjutnya dibuang keluar sistem/gelas ukur [22]. Sedangkan sebagai alat untuk memonitor tegangan dan arus pada sistem sumber bunyi menggunakan multimeter merek HELES UX

37 (ketelitian 0,1 Volt). Adapun frekuensi yang akan digunakan ditentukan secara perhitungan dan diperoleh $f = 105\text{ Hz}$ dengan orde frekuensi $n = 1$, tegangan $V = 15\text{ Volt}$ dan arus $I = 2,4\text{ Ampere}$. [20]

Untuk mengetahui laju pendinginan dan pemanasan yang terjadi pada tabung resonator dengan cara mengukur suhu udara yang ada pada tandon panas (pada Gambar 3 sebelah kanan *stack*) dan tandon dingin (pada Gambar 3 sebelah kiri *stack*). Pengukuran laju ini dilakukan selama pengoperasian alat berlangsung menggunakan $f = 105\text{ Hz}$ dan *stack* ber-*mesh* 18 dan kemudian diteliti tentang pengaruh variasi frekuensi sehingga dapat diperoleh frekuensi optimum, yaitu frekuensi yang memberikan kinerja sistem optimum. Selain itu dilakukan variasi panjang *stack* sehingga diperoleh panjang *stack* yang memberikan kinerja sistem optimum pada frekuensi optimum dan *mesh* 18 serta penggunaan *hot heat exchanger* sebagai pembuang kalor ke luar lingkungan. (Gambar 3)

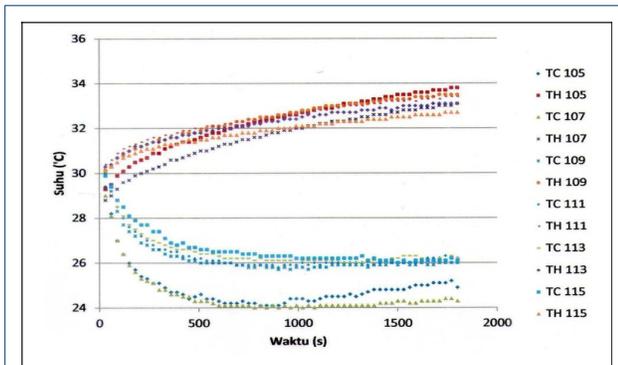


Gambar 3: Skema peralatan piranti termoakustik [20]

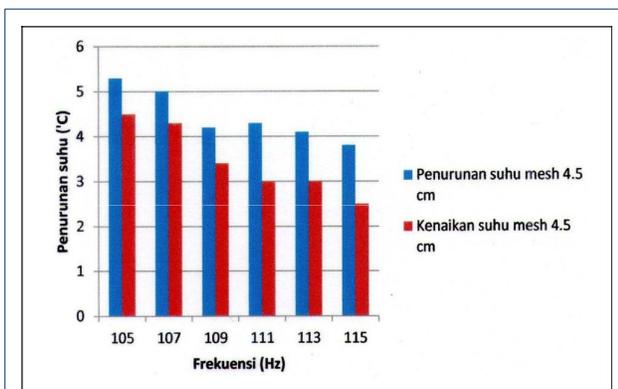
Kinerja piranti termoakustik terlihat dari daya pendinginan yang dimiliki dan tercermin dari seberapa besar penurunan suhu yang dapat dicapai pada reservoir dingin. Laju pendinginan dan pemanasan yang terjadi di dalam tabung resonator menunjukkan bahwa adanya perubahan suhu pada tandon dingin dan tandon panas. Gambar 4 menyajikan suhu pada tandon dingin dan panas menggunakan *stack* dengan *mesh* 18 pada berbagai frekuensi gelombang bunyi.

Gambar 5 memperlihatkan grafik variasi frekuensi gelombang bunyi pada penggunaan *mesh* 18. Grafik menunjukkan bahwa kinerja sistem optimum pada penggunaan frekuensi $f = 105\text{ Hz}$. Dengan kata lain, pada frekuensi tersebut transfer kalor antar tandon panas dan dingin berjalan dengan efektif.

Sedangkan Gambar 6 menunjukkan bahwa panjang *stack* yang optimum (ditunjukkan oleh kinerja sistem

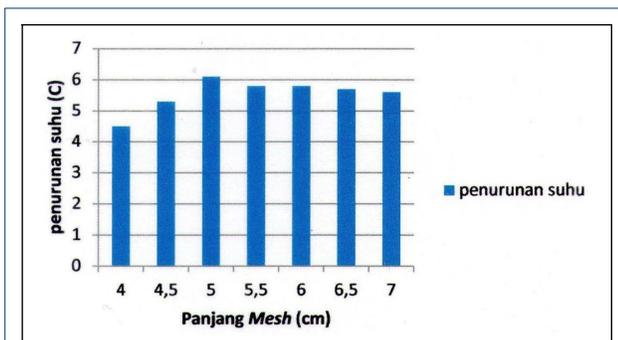


Gambar 4: Gambar hasil suhu vs waktu sistem termoakustik [20]



Gambar 5: Hasil suhu vs frekuensi gelombang bunyi sistem termoakustik [20]

yang optimum) adalah pada panjang *stack* $L = 5\text{ cm}$ pada ukuran *mesh* 18 dan frekuensi 105 Hz.



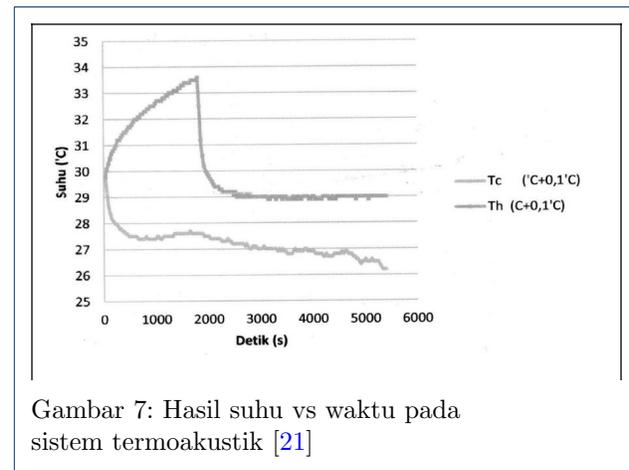
Gambar 6: Hasil suhu vs panjang mesh pada sistem termoakustik [20]

Setelah diperoleh ukuran *stack* dengan *mesh* 18, frekuensi gelombang bunyi $f = 105\text{ Hz}$, dan panjang *stack* $L = 5\text{ cm}$ yang memberikan kinerja sistem optimum, maka *hot heat exchanger* dialiri

air. Pada saat pengoperasian piranti termoakustik beberapa menit sebelum *heat exchanger* pipa tembaga dialiri cairan, kedua tandon pada piranti termoakustik mengalami perubahan suhu, dimana pada tandon panas mengalami peningkatan suhu dan pada tandon dingin mengalami penurunan suhu akibat adanya transfer kalor dalam tandon dingin dipindahkan ke tandon panas.

Akan tetapi setelah beberapa menit pengoperasian, suhu dalam tandon dingin akan mencapai minimum dan suhu dalam tandon panas mencapai maksimum atau mengalami kejenuhan pada masing-masing tandon.

Hal ini berakibat adanya sebagian kalor dalam tandon panas yang mengalir kembali ke tandon dingin sehingga menyebabkan suhu tandon dingin sedikit demi sedikit menjadi naik. Hal inilah yang mendasari perlunya penggunaan *hot heat exchanger* sebagai pembuang kalor dari tandon panas ke luar dari sistem piranti termoakustik agar suhu pada tandon panas tidak jenuh sehingga tidak ada aliran kalor balik dari tandon panas ke tandon dingin dan suhu pada tandon dingin tetap dingin (Gambar 7).



Gambar 7: Hasil suhu vs waktu pada sistem termoakustik [21]

Pendinginan *hot heat exchanger* dengan menggunakan cairan memberikan perubahan terhadap laju pendinginan dan pemanasan tandon. *Hot heat exchanger* berbahan tembaga yang memiliki kapasitas panas tinggi dan konduktivitas termal besar sehingga mampu menyerap dan melepaskan kalor relatif cepat. Adapun cairan yang digunakan untuk mendinginkan *hot heat exchanger* berupa air. Pada saat *hot heat exchanger* dialiri cairan, suhu pada tandon panas relatif menurun, hal ini disebabkan karena cairan mampu membawa kalor dan membuangnya ke luar sistem/lingkungan sehingga tidak ada kalor balik ke tandon dingin dan tandon dingin tetap dingin. Hal ini menandakan bahwa *hot heat exchanger* bekerja dengan baik.

Penurunan suhu pada tandon panas bersifat langsung turun beberapa derajat Celcius, sedangkan pada tandon dingin tidak langsung mengalami penurunan suhu tetapi beberapa saat setelah pemberian cairan pada pipa tembaga *heat exchanger*. Hal ini disebabkan karena kalor pada tandon panas diserap langsung oleh pipa tembaga dan air yang mengalir, sedangkan pada tandon dingin masih dalam proses pemompaan kalor dari tandon dingin ke tandon panas.

4 KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah bahwa transfer kalor terbaik jika menggunakan *stack* ber *mesh* 18 dengan panjang $L = 5 \text{ cm}$ dan menggunakan frekuensi gelombang bunyi $f = 105 \text{ Hz}$. Adapun penggunaan air sebagai pendingin *hot heat exchanger* dapat membuat turunnya suhu pada tandon panas sehingga mengurangi/menghilangkan aliran balik kalor dari tandon panas menuju tandon dingin.

PENULIS

1 Yumnawati

Dari :

(1) Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Haluoleo

2 P. Murti

Dari :

(2) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada

3 W.N. Achmadin

Dari :

(2) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada

4 Agung Bambang Setio Utomo

Dari :

(2) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada

Pustaka

- Elyanita MS, Setiawan I, Setio Utomo AB. Pengaruh Peubah frekuensi dan posisi stack bahan kardus terhadap peubah suhu pada sistem termoakustik. *Jurnal Fisika Indonesia*. 2007;(33).
- Romdhiah; Setiawan, Ikhsan; Utomo ABS. Pengaruh Variasi Posisi Stack dan Frekuensi Gelombang Bunyi Terhadap Perbedaan Suhu pada Sistem Termoakustik dengan Bahan Stack Film. *Jurnal Fisika Indonesia*. 2006;X(31).
- Sampurna D, Setiawan I, Setio Utomo AB. Studi eksperimen untuk mengetahui pengaruh diameter tabung resonator silindris terhadap kinerja piranti termoakustik. *Jurnal Fisika Indonesia*. 2007;(33).
- Zulheldi IS, Setio Utomo AB. Pengaruh Intensitas Bunyi, Jarak Letak Stack dan Diameter Tabung Resonator pada Piranti Termoakustik. *Jurnal Fisika Indonesia*. 2006;(31).
- Swift GW. Thermoacoustic engines. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 1988;84(4):1145–1180.
- Swift GW. Thermoacoustics: A unifying perspective for some engines and refrigerators. *Acoustical society of America*; 2003.
- Russell DA, Weibull P. Tabletop thermoacoustic refrigerator for demonstrations. *American Journal of Physics*. 2002;70(12):1231–1233.
- Zoontjens L, Howard CQ, Zander AC, Cazzolato BS. Development of a low-cost loudspeaker-driven thermoacoustic refrigerator. In: *Proceedings of ACOUSTICS*; 2005. p. 9–11.
- Tu Q, Gusev V, Bruneau M, Zhang C, Zhao L, Guo F. Experimental and theoretical investigation on frequency characteristic of loudspeaker-driven thermoacoustic refrigerator. *Cryogenics*. 2005;45(12):739–746.
- Setiawan, Ikhsan; Mitraryana; Utomo ABS. Pengembangan Pendingin termoakustik Ramah Lingkungan Menggunakan Dua Buah Stack. In: *Proceedings 7th Basic Science National Seminar*. Malang: Universitas Brawijaya Malang; 2010. .
- Anonim. Thermoacoustics; 2007. Available from: <http://www.phys.lanl.gov/projects/thermoacoustics/>.
- Biwa T, Tashiro Y, Mizutani U, Kozuka M, Yazaki T. Experimental demonstration of thermoacoustic energy conversion in a resonator. *Physical Review E*. 2004;69(6):66304.
- Yazaki T, Biwa T, Tominaga A. A pistonless Stirling cooler. *Applied Physics Letters*. 2002;80(1):157–159.
- Jensen C, Raspet R, Slaton W. Temperature gradient integration in thermoacoustic stacks. *Applied acoustics*. 2006;67(7):689–699.
- Zoontjens L, Howard CQ, Zander AC, Cazzolato BS. Modelling and optimisation of acoustic inertance segments for thermoacoustic devices. In: *Proceedings of ACOUSTICS*. vol. 2006; 2006. .
- Ikhsan Setiawan; Agung B S U; Andi R W ; Guntur M . Rancang Bangun Piranti Termoakustik sebagai Pendingin dan Pemanas Udara secara Simultan. Yogyakarta: FMIPA Universitas Gadjah Mada; 2005.
- Setiawan I, Utomo ABS, Maruto G, Wijaya AR. Rancang bangun piranti termoakustik sebagai pemompa kalor. *Sigma*. 2007;10(1):25–33.
- Ma'rifah LK. Optimalisasi Diameter Tabung Resonator Silindris Dan Daya Loudspeaker Terhadap Penurunan Suhu Pada Sistem Pendingin Termoakustik. Universitas Gadjah Mada; 2009.
- Murti P. Pengaruh frekuensi dan panjang stack berliku terhadap perbedaan suhu pada kinerja pendingin termoakustik. Universitas Gadjah Mada; 2012.
- Achmadin WN. Studi eksperimen untuk mengetahui pengaruh ukuran porositas dan panjang bahan stack serta keberadaan hot heat exchanger terhadap kinerja pendingin termoakustik. Universitas Gadjah Mada; 2012.
- Pebriarti A. Pengaruh Berbagai Densitas Cairan Pada Heat Exchanger Terhadap Penurunan Suhu Dalam Piranti Termoakustik. Universitas Gadjah Mada; 2011.