



---

---

## SIMULASI PENGARUH JARI-JARI STACK TERHADAP PENDINGIN TERMOAKUSTIK YANG DIBANGKITKAN OLEH MESIN TERMOAKUSTIK

Rifki Nur Fadhilah Isnand<sup>1</sup>

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

### Abstrak

Nowadays, the scarcity of renewable energy is one of the world issues. Therefore, some researchers are keening to find the solutions. One of the alternative renewable energies is from waste heat or sunlight. The energies can be utilized using thermoacoustic technology. An array stacks or regenerator inside a tube can be employed as a media to convert the thermal into the acoustic energy. On the other hand, the demand of environmentally friendly cooler is inevitable, so thermoacoustic cooler is proposed for the alternative solution. Therefore, it is essential to drive the thermoacoustic cooler by the thermoacoustic engine in a loop tube. There are some important parameters have impact on the engine and cooler. One of them is the length of the regenerator. In this numerical calculation, the Rott derivations were used. The stability limit conditions and efficiencies were calculated to obtain the performance of the entire system. It was found that the total efficiency of the system is 4 % of the upper limit value and the engine and cooler efficiency are 52.4 % and 35.7 % of the thermodynamical upper limit value, respectively. It was found that the optimum value is 0.014. It means that the length of the regenerators is 4 cm while the length of looped tube is 280 cm.

### A. Pendahuluan

Mesin pendingin merupakan perangkat yang sangat dibutuhkan oleh manusia, dan jumlah penggunaannya selalu bertambah hingga saat ini. Salah satu zat pendingin yang banyak digunakan pada mesin pendingin adalah “freon” *chlorofluorocarbon* (CFC). Bahan kimia untuk proses pendingin ruangan (air conditioner/AC) ialah klorofluorokarbon (CFC), atau yang populer disebut freon yang telah dikembangkan sejak penemuannya di tahun 1930. Bahan ini sangat stabil, tidak berbau, tidak mudah terbakar, tidak beracun dan bahkan tidak korosif, sehingga sangat baik untuk pendingin ruangan dan refrigerator (kulkas). Bahan kimia ini juga dipergunakan untuk sterilisasi sebagai aerosol di rumah

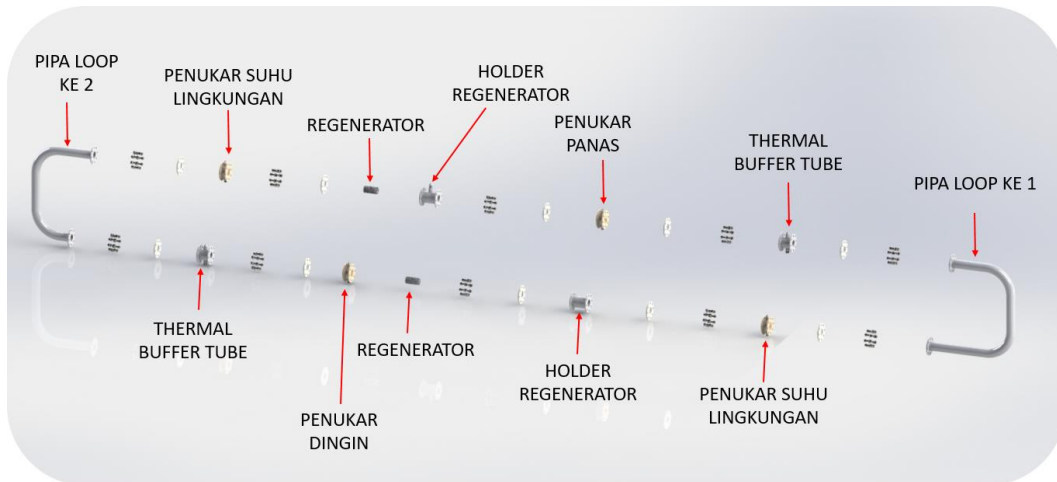
sakit, untuk membuat busa plastik sebagai penyekat, dan sebagainya. Sejak selesai perang dunia kedua (1945), penggunaan beberapa jenis CFC dipakai secara luas, sehingga CFC diproduksi besar-besaran di Amerika Serikat. Dengan digunakannya bahan kimia yang sangat menguntungkan tersebut secara besar-besaran maka kebocoran CFC ke udara sangat mungkin terjadi, misalnya penyemprotan ruangan, kebocoran kulkas dan air conditioner, serta pembakaran busa plastik. Dengan demikian, CFC terbebas ke udara dan bergerak ke lapisan stratosfer. Dalam lapisan stratosfer di bawah pengaruh radiasi sinar ultraviolet berenergi tinggi, bahan tersebut terurai dan membebaskan atom klor. Klor akan mempercepat pemecahan ozon menjadi gas oksigen ( $O_2$ ). Diperkirakan satu atom klor akan dapat mengurai 100.000 molekul  $O_3$ . Di samping itu, gas dari rumah kaca dan beberapa atom lainnya seperti bahan yang mengandung bromium (Br) juga ikut memperbesar pemecahan ozon tersebut (Ketut Irianto, 2015).

Untuk mencegah polusi termal yang menyebabkan kerusakan ozon maka dikembangkanlah teknologi termoakustik. Termoakustik merupakan kombinasi energi akustik dan panas, yang mana termoakustik merupakan teknologi konversi energi dengan menggunakan tenaga tanpa piston. Tenaga ini dapat dihasilkan oleh banyak sumber energi yang tersedia di dunia seperti tenaga surya, panas bumi dan limbah panas. Di bidang termoakustik, ada dua jenis pendingin yang digerakkan oleh panas berdasarkan jumlah mesin regenerator; yang pertama adalah pompa kalor yang digerakkan oleh satu mesin yaitu mesin satu tahap, dan yang kedua adalah pompa kalor yang digerakkan oleh beberapa mesin yaitu mesin bertingkat atau mesin multistage. Komponen utama piranti termoakustik terdiri dari penukar panassekitar, mesin regenerator, penukar panas, tabung penyangga termal, tabung melingkar (Farikha, 2017).

Sebelumnya, Rohmawati dalam skripsinya telah meneliti tentang pengaruh tekanan dan jari-jari loop terhadap suhu pemanasan rendah dan efisiensi mesin termoakustik. Dalam penelitian tersebut belum membahas tentang efek jari-jari regenerator terhadap performa mesin pendingin termoakustik yang dibangkitkan oleh mesin termoakustik satu tahap. Skripsi ini akan mengkaji secara numerik perhitungan efek jari-jari regenerator terhadap performa mesin pendingin yang dibangkitkan oleh mesin termoakustik dua tahap menggunakan pemrograman Fortran 95 dengan code pemrograman yang sudah dibuat oleh Irna Farikha, dengan variasi jari-jari regenerator (0,05 mm, 0,06 mm, 0,07 mm, 0,08 mm, 0,09 mm, 0,1 mm, 0,11 mm, 0,12 mm, 0,13 mm, 0,14 mm, 0,15 mm). Selain itu, terdapat kajian pustaka mengenai prinsip dasar

termoakustik pada pipa melingkar dengan tipe gelombang berjalan. Selanjutnya, akan dibahas pula metode dan transfers matriks untuk mendapatkan perhitungan numerik dan flowchart untuk mendapatkan nilai energi yang dihasilkan, suhu kalor, tekanan, dan kecepatan.

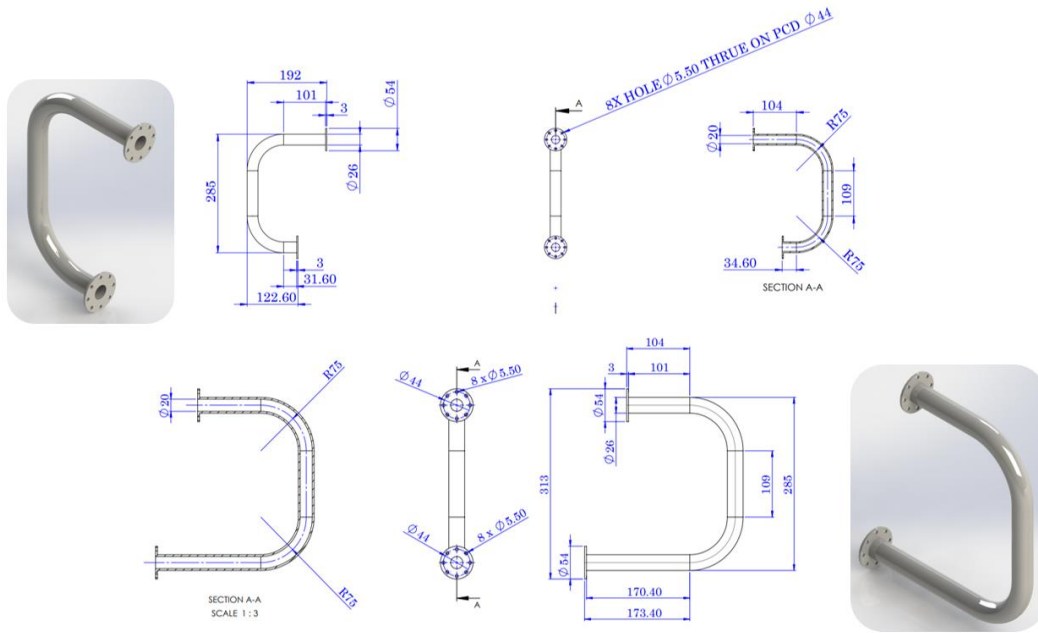
## B. Metode Penelitian



Gambar 1 Tampilan bagian-bagian mesin termoakustik

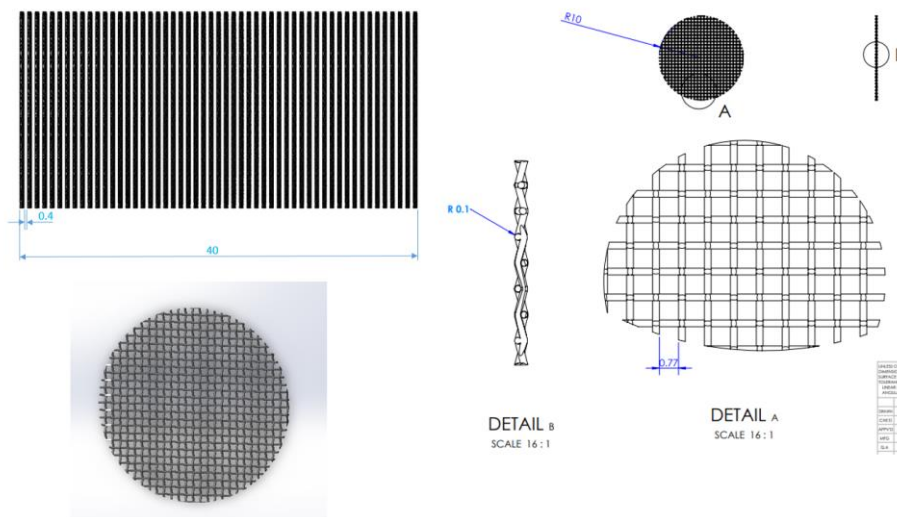
Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi ukuran jari-jari *regenerator* mesin termoakustik terhadap efisiensi pendingin termoakustik, maka di perlukan analisis menggunakan simulasi numerik. Simulasi numerik sebagai metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh parameter tertentu dalam kondisi terkendali.

Mesin termoakustik dalam penelitian ini menggunakan pipa melingkar (*Loop tube*) dengan tipe gelombang berjalan. Mesin ini terdiri dari susunan *regenerator*, dua buah penukar panas (*hot heat exchanger*), dua buah penukar suhu lingkungan (*ambient heat exchanger*), dan dua buah *thermal buffer tube*. Panjang pipa melingkar dinotasikan sebagai *Lloop* dengan nilai sebesar 2,8 m, sedangkan jari-jari pipa akan dinotasikan sebagai *rloop* (*radius of loop*) dengan besaran 10 mm.



Gambar 2 Pipa loop

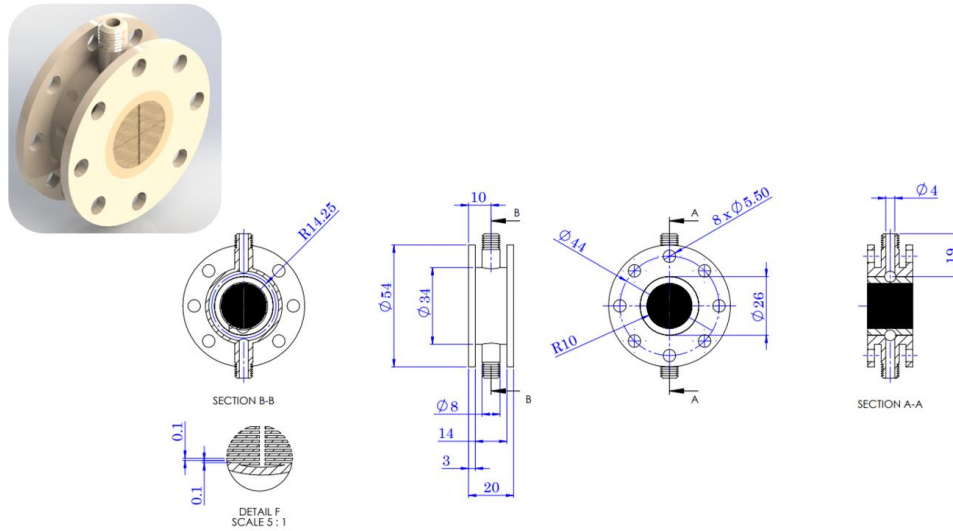
Adapun gas helium akan dipilih sebagai gas kerja dengan tekanan sebesar 3 MPa. *Regenerator* dimodelkan sebagai susunan anyaman kawat stainless (bentuknya seperti ayakan kopi) yang dipasang di salah satu bagian pipa. Jari-jari dari *regenerator* ini akan dinotasikan sebagai *rs*. Adapun panjang dan jari-jari. Adapun panjang jari-jari *regenerator* akan dinotasikan sebagai *ls* (*length of stack*) dengan nilai besaran 40 mm.



Gambar 3 Regenerator

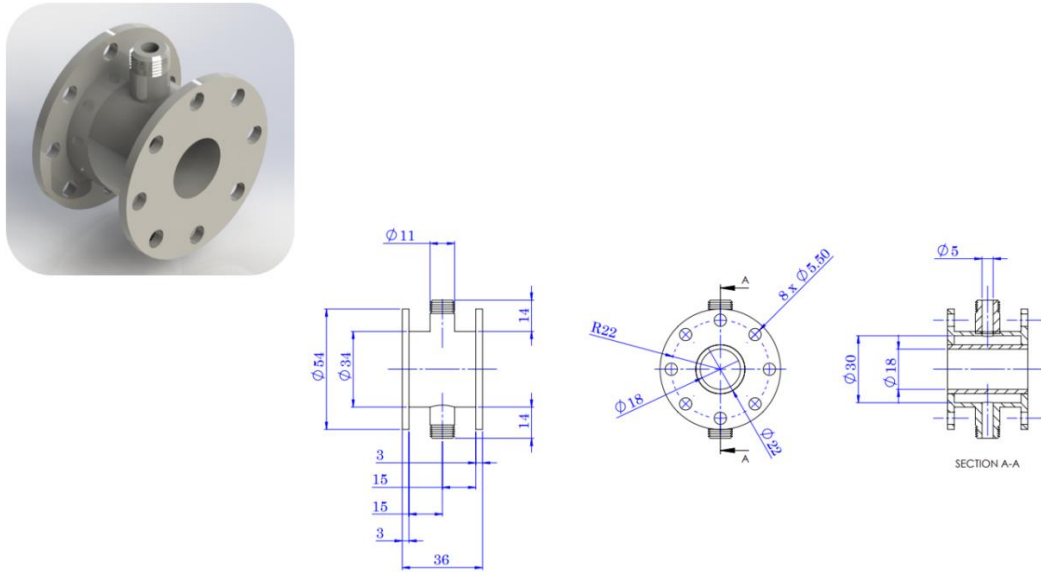
Adapun penukar suhu panas dan penukar suhu lingkungan dimodelkan sebagai tumpukan beberapa pelat datar dengan jarak antar pelatnya sebesar 0,1 cm dan panjang 2 cm. Suhu pada penukar panas akan dinotasikan sebagai *TH*, sedangkan suhu pada penukar

lingkungan dinotasikan sebagai  $TA$ .  $TA$  ditetapkan sebagai suhu ruangan dengan nilai  $28^{\circ}\text{C}$ , sedangkan  $TH$  diperoleh dari perhitungan numerik stabilitas limit menggunakan variabel bebas.

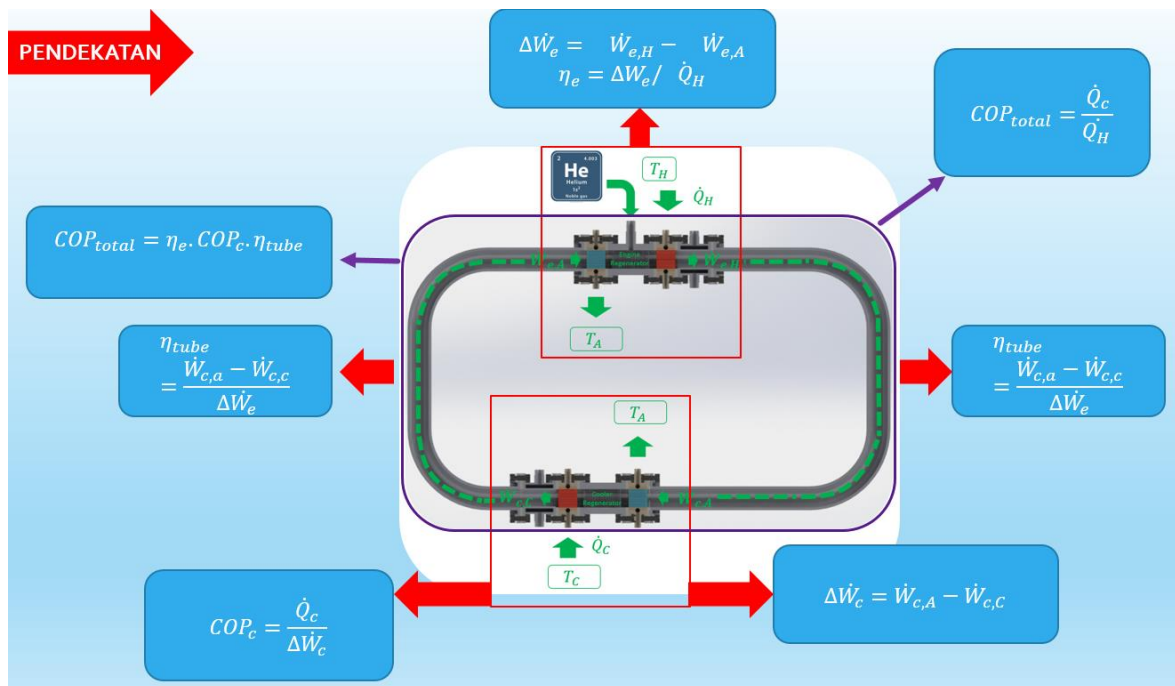


Gambar 4 Penukar suhu panas dan penukar suhu lingkungan

Dan untuk menghambat perambatan panas dengan suhu tinggi keseluruhan pipa pada mesin termoakustik serta untuk menjaga agar pipa *loop* tetap dalam suhu ruang maka digunakanlah *thermal buffer tube*. *Thermal buffer tube* sendiri merupakan pipa yang lapisan luar pipa dialiri air sehingga dapat menjaga pipa *loop* tetap dalam kondisi suhu ruang.



Gambar 5 Thermal buffer tube



Gambar 6 Sistem aliran energi termoakustik

Pendingin termoakustik secara skema diilustrasikan ulang dari sudut pandang termodinamika. Subskrip e, c, A, H, dan C masing-masing menunjukkan regenerator mesin, regenerator pendingin, sisi terakhir piranti penukar suhu lingkungan, sisi terakhir piranti penukar panas, dan sisi terakhir pendingin. Misalnya,  $\dot{W}_{e,A}$  menunjukkan daya akustik pada sisi akhir penukar suhu lingkungan dari sisi regenerator. Kemudian dimasukkanlah gas helium kedalam mesin melalui valve pada *holder* regenerator dengan tekanan  $3 \text{ MP}_a$ . Kemudian air

kita alirkan pada *thermal buffer tube* dan penukar suhu lingkungan guna menjaga suhu pada pipa pertama dan kedua tetap stabil pada suhu ruang. Selanjutnya panas ( $T_H$ ) dialirkan kedalam mesin melalui perangkat penukar panas . Ketika suhu ( $T_H$ ) melebihi nilai kritis, gas di dalam tabung melingkar termasuk di dalam regenerator secara spontan berosilasi. Akibatnya, gelombang akustik yang dihasilkan secara spontan berjalan di sepanjang tabung melingkar dan mengangkut energi. Daya akustik  $\dot{W}_{e,A}$  gelombang akustik yang dihasilkan adalah *input* dari ujung penukar suhu lingkungan regenerator mesin dan diperkuat di regenerator mesin. Daya akustik  $\dot{W}_{e,A}$  dari gelombang akustik yang dihasilkan adalah *input* dari sisi terakhir penukar suhu lingkungan mesin dan diperkuat di regenerator mesin. Daya akustik yang diperkuat  $\dot{W}_{e,H}$  dipancarkan dari ujung penukar panas regenerator mesin. Oleh karena itu, penguatan daya akustik regenerator mesin  $\Delta\dot{W}_e$ , dinyatakan sebagai Persamaan sebagai berikut :

$$\Delta\dot{W}_e = \dot{W}_{e,H} - \dot{W}_{e,A}$$

Untuk memperkuat daya akustik, penukar panas panas perlu memasok daya termal akustik  $\dot{Q}_H$ . Oleh karena itu, efisiensi regenerator mesin dinyatakan sebagai Persamaan sebagai berikut:

$$\eta_e = \Delta\dot{W}_e / \dot{Q}_H$$

Bagian dari daya akustik  $\dot{W}_{e,H}$  di sebarakan di sepanjang tabung antara penukar panas yang terpasang di regenerator mesin dan penukar suhu lingkungan yang terpasang di pendingin. Sisa dari  $\dot{W}_{e,H}$  dilambangkan sebagai  $\dot{W}_{c,A}$  memasuki regenerator pendingin dari sisi sekitarnya. Ini digunakan untuk memompa panas dari penukar panas dingin ke sekitar di sepanjang regenerator pendingin. Kemudian,  $\dot{W}_{c,C}$  adalah *output* dari penukar panas dingin. Daya akustik juga dihamburkan di bagian lain dari tabung melingkar antara penukar panas dingin dari regenerator pendingin dan penukar panas sekitar dari regenerator mesin. Daya termal yang dipompa dari penukar panas dingin didefinisikan sebagai  $Q_c$ . Karena daya akustik yang digunakan dalam regenerator pendingin adalah  $\Delta\dot{W}_c = \dot{W}_{c,A} - \dot{W}_{c,C}$ , koefisien kinerja regenerator pendingin dinyatakan sebagai :

$$COP_c = \frac{\dot{Q}_c}{\Delta\dot{W}_c}$$

Daya akustik  $\dot{W}_{c,C}$ , dikirim ke ujung penukar suhu lingkungan regenerator mesin dan diperkuat kembali. Efisiensi tabung melingkar sebagai saluran transmisi daya akustik didefinisikan sebagai berikut:

$$\eta_{tube} = \frac{\dot{W}_{c,a} - \dot{W}_{c,c}}{\Delta \dot{W}_e}$$

Ketika  $\eta_{tube}=1$ , disipasi tidak terjadi di sepanjang tabung kecuali regenerator mesin dan pendingin, dan semua daya akustik yang dihasilkan di regenerator mesin digunakan di regenerator pendingin. Koefisien total kinerja sistem pendingin total dinyatakan sebagai berikut:

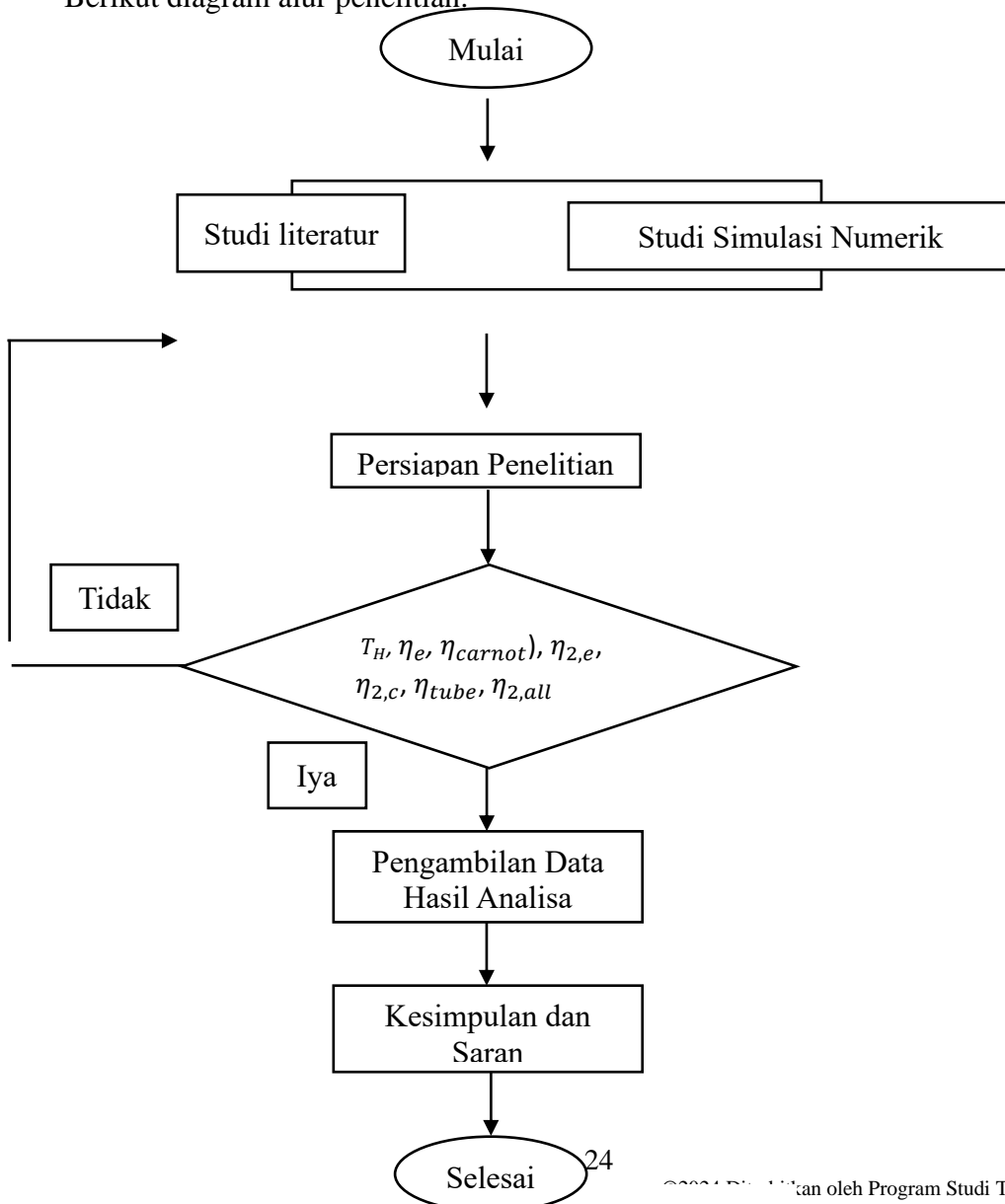
$$COP_{total} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_H}$$

Hal ini juga diungkapkan dengan menggunakan  $\eta_e$ ,  $COP_c$ , dan  $\eta_{tube}$  sebagai berikut:

$$COP_{total} = \eta_e \cdot COP_c \cdot \eta_{tube}$$

Desain penelitian ini yaitu dengan menggunakan diagram alur penelitian.

Berikut diagram alur penelitian:



Gambar 7 Diagram Alur Penelitian



**C. Hasil dan Pembahasan**

Dari hasil perhitungan secara komputasi numerik menggunakan pemrograman fortran pada stabilitas limit guna mencari nilai suhu pemanasan ( $T_H$ ), kecepatan sudut frekuensi ( $\omega$ ), tekanan gelombang akustik ( $P_{e,A}$ ), dan kecepatan gelombang akustik ( $U_{e,A}$ ), dimana ( $P_{e,A}$ ) dan ( $U_{e,A}$ ) diperlukan untuk mencari impedans ( $z$ ) yang mana  $z = P_{e,A}/U_{e,A}$ . Dalam perhitungan stabilitas limit,  $T_H$ ,  $\omega$ ,  $z$

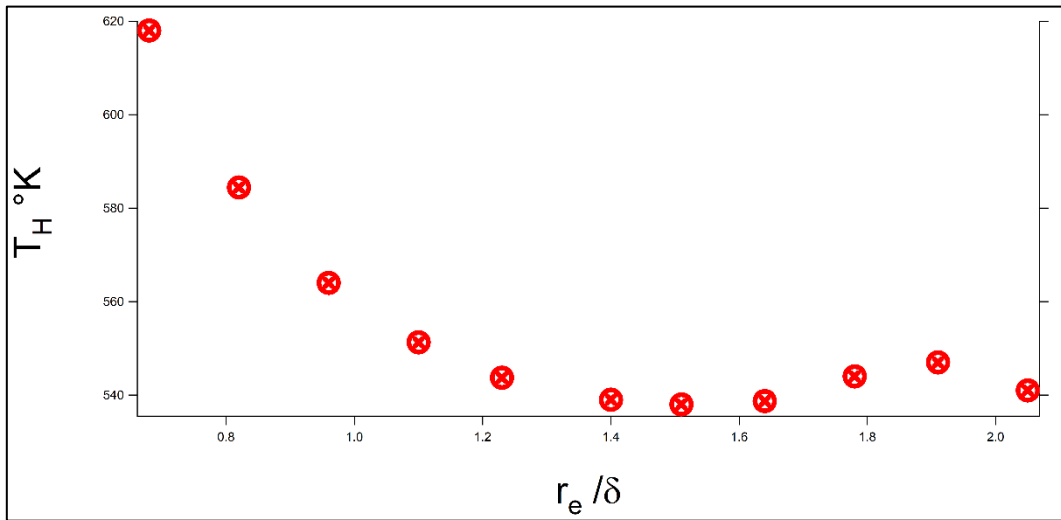
ditentukan berdasarkan rasio regenerator ( $r_e/\delta$ ) dimana  $r_e$  melambangkan jari-jari regenerator dan  $\delta$  melambangkan kedalaman penetrasi gas. Dari perhitungan stabilitas limit maka diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 1 Hasil Perhitungan stabilitas limid

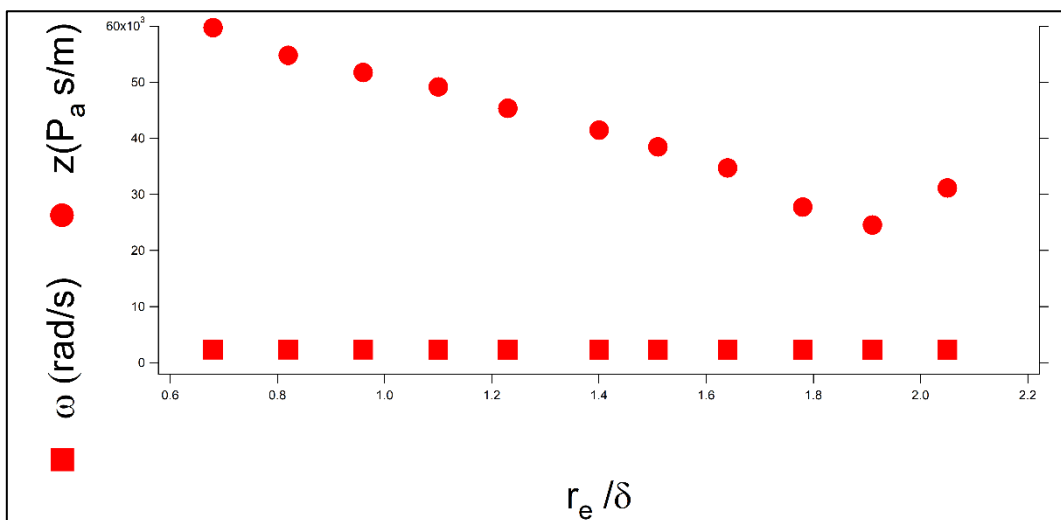
No	$r_e$ (mm)	$\delta$ (mm)	$r_e/\delta$	$T_H$ ( $^{\circ}$ K)	$\omega$ (rad/s)	$z$ ( $P_a$ s/m)
1	0.05	0.074	0.68	618	2314	59739
2	0.06	0.073	0.82	584.4	2312	54792
3	0.07	0.073	0.96	564	2310	51720
4	0.08	0.073	1.10	551.29	2308	49163
5	0.09	0.073	1.23	543.7	2307	45356
6	0.10	0.071	1.40	539	2305	41461
7	0.11	0.073	1.51	538	2304	38468
8	0.12	0.073	1.64	538.7	2303	34723
9	0.13	0.063	2.05	541	2302	31138
10	0.14	0.079	1.78	544	2301	27735
11	0.15	0.079	1.91	547	2300	24560

Dari table 4.1 diatas dapat diketahui bahwa nilai suhu pemanasan ( $T_H$ ) tertinggi yang dibutuhkan oleh mesin termoakustik sebesar  $618^{\circ}$  K atau  $345^{\circ}$ C jika  $r_e/\delta$  senilai 0.68 dan jari-jari regenerator berukuran 0.05 mm. Nilai suhu pemanasan ( $T_H$ ) terendah yang dibutuhkan oleh mesin termoakustik sebesar  $538^{\circ}$  K atau  $265^{\circ}$ C jika  $r_e/\delta$  sebesar 1.51 dan ukuran jari-jari regenerator sebesar 0.11 mm. Nilai kecepatan sudut frekuensi ( $\omega$ ) tertinggi senilai 2314 rad/s terjadi pada mesin termoakustik jika jari-jari regenerator berukuran 0.05 mm dan  $r_e/\delta$  sebesar 0.68. Nilai kecepatan sudut frekuensi ( $\omega$ ) terendah senilai 2300 rad/s terjadi apabila ukuran

jari-jari regenerator sebesar 0.15 mm dan  $r_e / \delta$  sebesar 1.91 . Dari tabel 4.1 dapat dibuat grafik sebagai berikut:

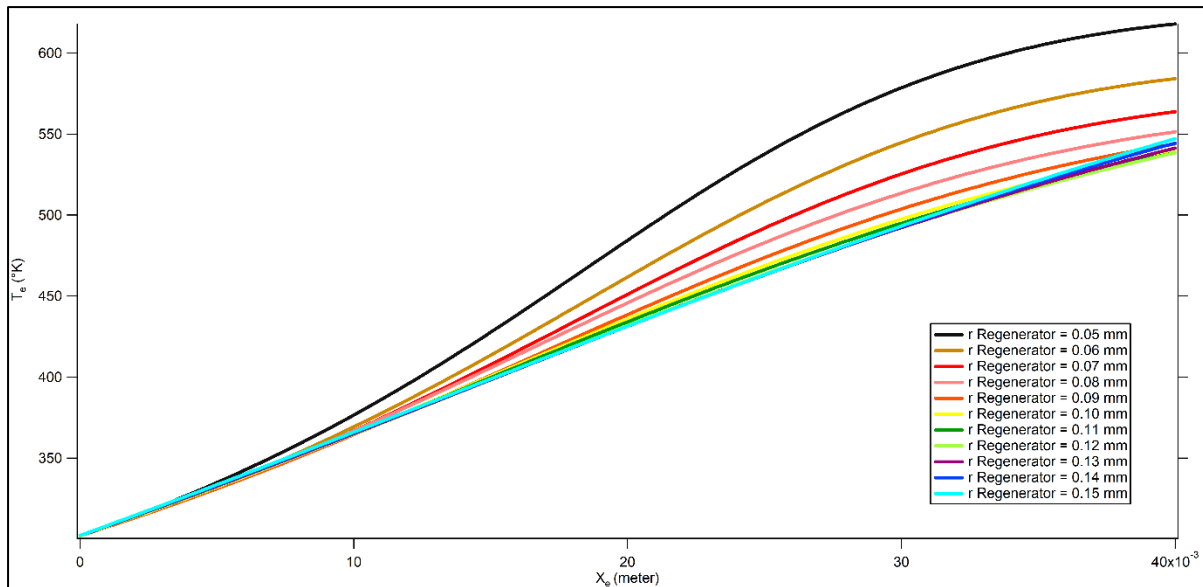


Gambar 8 Suhu pemanasan ( $T_H$ ), nerdasarkan rasio regenerator ( $r_e / \delta$ )



Gamba 9 Hubungan antara kecepatan sudut frekuensi ( $\omega$ ) dan impedans ( $z$ ) terhadap rasio regenerator ( $r_e / \delta$ )

Untuk data gradient temperatur pada mesin termoakustik di sajikan pada tabel 4.3 dan grafik pada gambar 4.4:



Gambar 10 Grafik gradien suhu pada mesin

Kemudian dari perhitungan COP untuk menentukan nilai dari efisiensi mesin termoakustik ( $\eta_e$ ), efisiensi carnot ( $\eta_{carnot}$ ), efisiensi kedua mesin termoakustik ( $\eta_{2,e}$ ), efisiensi kedua pendingin termoakustik ( $\eta_{2,c}$ ), efisiensi tube ( $\eta_{tube}$ ), efisiensi total ( $\eta_{2,all}$ ), COP total, perubahan daya akustik pada mesin termoakustik ( $\dot{W}_e$ ), perubahan daya akustik pada pendingin termoakustik ( $\dot{W}_c$ ), energi perpindahan panas ( $\dot{Q}_H$ ), perubahan suhu pada mesin termoakustik ( $T_e$ ),  $\dot{Q}_{progg}$  merupakan daya termal yang berkaitan dengan gelombang berdiri dan  $\dot{Q}_{stand}$  merupakan daya termal yang berkaitan dengan gelombang tegak, serta  $\dot{Q}_d$  adalah daya termal yang berhubungan dengan disipasi, diperoleh data sebagai berikut :

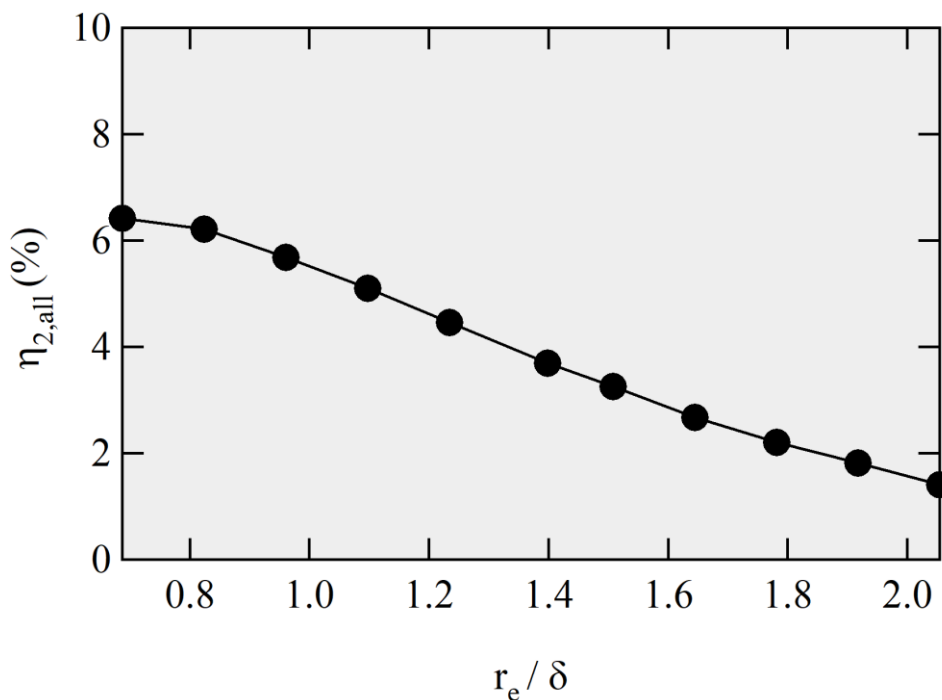
Tabel 4.2 dan grafik pada gambar 4.4 menerangkan tentang hasil dari efisiensi seluruh sistem  $\eta_{2,all}$  terhadap  $r_e/\delta$ . Dimana efisiensi seluruh sistem  $\eta_{2,all}$  dipengaruhi oleh efisiensi hukum kedua pada mesin  $\eta_{2,e}$ , efisiensi pendingin  $\eta_{2,c}$ , dan efisiensi tube  $\eta_{tube}$ . Efisiensi seluruh sistem dapat dinyatakan dalam persamaan persamaan  $\eta_{2,all} = \eta_{2,e} \cdot \eta_{2,c} \cdot \eta_{tube}$ . Adapun tabel dari hasil dari efisiensi seluruh sistem  $\eta_{2,all}$  terhadap  $r_e/\delta$  sebagai berikut:

Tabel 2 Hubungan antara  $r_e/\delta$  dan efisiensi total sistem ( $\eta_{2,all}$ ).

No	$r_e$ (mm)	$\delta$ (mm)	$r_e/\delta$ mm	$\eta_{2,all}$ %
1	0.05	0.074	0.68	6.41
2	0.06	0.073	0.82	6.22

3	0.07	0.073	0.96	5.69
4	0.08	0.073	1.10	5.10
5	0.09	0.073	1.23	4.46
6	0.10	0.071	1.40	3.69
7	0.11	0.073	1.51	3.26
8	0.12	0.073	1.64	2.67
9	0.13	0.063	2.05	2.20
10	0.14	0.079	1.78	1.82
11	0.15	0.079	1.91	1.41

Pada tabel 2 dapat dituliskan bahwa data terendah dari efisiensi total sistem  $\eta_{2,all}$  senilai 1.41% diperoleh jika mesin termoakustik menggunakan rgenerator dengan jari-jari 0.15 mm dengan rasio  $r_e/\delta$  1.91, dan data tertinggi dari efisiensi total sistem  $\eta_{2,all}$  senilai 6.41% diperoleh jika mesin termoakustik menggunakan rgenerator dengan jari-jari 0.05 mm dengan rasio  $r_e/\delta$  0.68 . Dari data pada tabel 4.4 diperjelas oleh grafik dari gambar 4.4 sebagai berikut:



Gambar 11 Hubungan antara  $r_e/\delta$  dan efisiensi total sistem ( $\eta_{2,all}$ ).

Karena efisiensi seluruh sistem  $\eta_{2,all}$  dipengaruhi oleh efisiensi hukum kedua pada mesin  $\eta_{2,e}$ , efisiensi pendingin  $\eta_{2,c}$ , dan efisiensi tube  $\eta_{tube}$ , akan ditampilkan tabel dan grafik

hubungan antara hukum kedua pada mesin  $\eta_{2,e}$ , efisiensi pendingin  $\eta_{2,c}$ , dan efisiensi tube  $\eta_{tube}$  terhadap  $r_e/\delta$

#### D. Kesimpulan

Telah dilakukan penelitian simulasi pengaruh jari-jari pendingin termoakustik yang dibangkitkan oleh mesin termoakustik. Diperoleh nilai optimum Ketika  $r_e/\delta$  adalah 0.6.

#### Referensi

- Q. Bian, "Waste heat: the dominating root cause of current global warming", *Environmental System Research*, vol. 9. Pp. 2-11, 2020.
- Y. Ammar, S. Joyce, R. Norman, Y. Wang, A. P. Roskilly, "Low grade thermal energy sources and uses from the process industry in the UK", *Appl. Energy*, vol. 89, 2012.
- U. Shazat, "The need for renewable energy sources", *International Journal of Information Technology and Electrical Engineering*, 2012.
- S. Benhadid-Dib, A. Benzaoui, "Refrigerants and their environmental impact Substitution of hydro chlorofluorocarbon HCFC and HFC hydro fluorocarbon. Search for an adequate refrigerant", *Energy Procedia*, vol.18, pp. 807-816, 2012.
- D. L. Gardner, C. Q. Howard, "Waste-heat-driven Thermoacoustic Engine and Refrigerator", *Proceedings of ACOUSTICS*, Adelaide, Australia, 23-25 November 2009.
- T. Tiwatane, S. Barve S, "Thermoacoustic Effect: The Power of Conversion of Sound Energy & Heat Energy: Review", *International Journal for Research in Technological Studies*, vol.1, 2014.
- M. A. Hakim, M. Amiruddin, K. Hasto, Margono, I. Harjanto, Carsoni, I. Farikhah, Y. Setyoadi, H. Nuroso, U. Kaltsum, "The Potential of Mechanic Vibration for Generating Electric Energy", *Advance Sustainable Science, Engineering and Technology (ASSET)*", vol. 2, 2020.
- I. Farikhah, S. Ristanto, H. Idrus, U. Kaltsum, A. Faisal, I. Setiawan, A. B. S. Utomo, "Thermoacoustic design using stem of goose down stack", *American Institute of Physics (AIP) Conference Proceedings*, vol. 1474, pp. 283-286, September 2012., American Institute of Physics (AIP) Conference Proceedings, vol. 1474, pp. 283-286, September 2012.
- Y. Ueda, I. Farikhah, "Calculation of energy conversion efficiency of a stack-screen Stack using thermoacoustic theory, TEION KOGAKU (Journal of Cryogenics and Superconductivity Society of Japan), vol. 51, pp. 403-408, 2016.
- S. W. Utami, I Farikhah, N. Khoiri, S Patonah, U Kultsum, S. Suciati, "Numerical study of the influence of radius stack on the low heating temperature and efficiency of travelling wave thermoacoustic engine", *J. Phys.: Conf. Ser*, vol. 1464, 2020.

- E. D. Rokhmawati, I. Farikhah, U. Kaltsum, H. Nuroso, A. Burhanudin, Y. Setyoadi, M. Amiruddin, I. A. Rahim, "Numerical study on the effect of mean pressure and loop's radius to the onset temperature and efficiency of travelling wave thermoacoustic engine", *Automotive Experiences*, vol. 3, pp. 96-103, 2020
- I. Farikhah, E. A. Elsharkawy, H. Nuroso, M. Novita, D. Marlina, "Study of stack length on efficiency of thermoacoustic engine", In *Proceedings of the 3rd IEEE Eurasia conference on IOT, communication and engineering 2021*, Yunlin, Taiwan, 2021.
- I. Farikhah, E. A. Elsharkawy, A. S. Saad, T. Atia, "Numerical Study on the Effect of Stack Radii on the Low Onset Heating Temperature and Efficiency of 4-Stage Thermoacoustic Engine". *Arab J Sci Eng* , 2022.
- I. Farikhah, Y. Ueda," The effect of the porosity of stacks on the performance of a heat-driven thermoacoustic cooler", *Proceeding of the 24th International Conference on Sound and Vibration (24 ICSV) London*, 2017.
- I. Farikhah, "The effect of mean pressure on the performance of a single-stage heat-driven thermoacoustic cooler. *Int. J. Low-Carbon Technol.* vol. 15, pp. 471–476, 2020.
- I. Farikhah, Y. Ueda, "Numerical calculation of the performance of a thermoacoustic system with engine and cooler stacks in a looped tube", *Appl. Sci*, vol. 7, pp. 672. 2017.
- Y. Ueda, C. Kato,"Stability Analysis of Thermally Induced Spontaneous Gas Oscillations in Straight and Looped Tube". *Journal of Acoustical Society of America*, 2008.
- G. W. Swift, *Thermoacoustics A Unifying Perspective for Some Engines and Refrigerators*; Acoustical Society of America, New York, USA, 2002.
- N. Rott, "Thermally driven acoustic oscillations part ii: Stability limit for helium", *Z Angew Math Phys.*, vol. 24, 1973.
- N. Rott, "Damped and thermally driven acoustic oscillations in a wide and narrow tubes", *Z Angew Math Phys*, vol 20, 1969.
- G. W. Swift, D. L. Gardner, S. A. Backhaus, "Thermoacoustic Stirling engine", *Nature*, vol. 399, pp. 335-338, 1999.
- M.E.H, Tijani, S. Spoelstra, "A high performance thermoacoustic engine", *J. Appl. Phys*, vol. 110, 2011.
- Y. Timoumi, I. Tlili, S. B. Nasrallah, "Design and performance optimization of GPU-3 Stirling engines", *Energy*, vol.33, pp.1100-1114, 2008.