



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK TERMOAKUSTIK BERDASARKAN VARIASI
MODEL *STACK***

SKRIPSI

Gilang Arrahman Ikhsan Varian

07 06 26 7023

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JUNI 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK TERMOAKUSTIK BERDASARKAN VARIASI
MODEL *STACK***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Gilang Arrahman Ikhsan Varian

07 06 26 7023

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JUNI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : **Gilang Arrahman Ikhsan Varian**
NPM : **0706267023**
Tanda Tangan :
Tanggal : **13 Juni 2011**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Gilang Arrahman Ikhsan Varian
NPM : 0706267023
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : KARAKTERISTIK TERMOAKUSTIK
BERDASARKAN VARIASI MODEL *STACK*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr.-Ing. Ir. Nandy Setiadi Djaya Putra ()
Penguji : Prof. Dr.-Ing Raldi A Koestoer. ()
Penguji : Dr. Agus S. Pamitran, ST, M.Eng. ()
Penguji : Dr. Ir Danardono AS DEA ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 13 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, tentunya tidak memungkinkan bagi penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis sangat menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr-Ing. Ir Nandy S. Putra selaku pembimbing penulisan skripsi. Tanpa saran bimbingan serta bantuan beliau tentunya Penulis tidak akan dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. “Senior – Senior” Lab *Applied Heat Transfer*, Mas Wayan, Bu Dini, Ridho, Hedri, dan yang lainnya yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu, menemani dan mendukung penulis menyelesaikan Skripsi.
3. Dr. Ir. Adi Suryosatyo selaku pembimbing akademis penulis yang telah membantu penulis terhitung hampir 4 tahun selama penulis berkuliah.
4. Ikhsan Setiawan, S.Si., M.Si. dari Fisika UGM dan Dri-Ing. Cuk Imawan dari Fisika Universitas Indonesia dan Dr.-Ing. Ir. Nasruddin M.Eng dari DTM UI yang telah banyak membantu penulis dengan meluangkan waktu untuk memberikan pengetahuan, dukungan dan nasehatnya bagi penulis dan partner.
5. Orang tua Penulis, Imran Sartono dan Ria Purnamasari, yang tiada hentinya mendukung, memotivasi, mendoakan, mendorong dan mendidik

penulis sehingga penulis mampu melakukan semuanya. Semoga kelak penulis dapat membuat bapak dan ibu bangga.

6. Keluarga penulis, Anisha ACV dan Mahesa AGV sebagai saudara kandung penulis yang selalu menghibur dan memotivasi penulis untuk menjadi lebih baik dari sebelumnya. Linda “Uwa” Kemalasari yang selalu mendoakan dan memberi semangat kepada penulis. Afra Elizabeth Thahira, sepupu penulis yang juga sedang menjalani semester akhir dan Laporan magang di FEUI. Dan keluarga besar Soekarno dan Soemirman yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
7. Partner terbaik yang bisa penulis dapatkan, Sabdo waluyo. Yang selalu ada di sisi penulis hampir setahun ini. *No more “thermoacoustic is mine”! it’s ours already p, Be proud!!*
8. Teman Seperjuangan di lab, dalah, cossa, bimo, kadal, sempak, tasia. Sumber motivasi yang juga bahan tertawaan penulis selama di lab.
9. Sahabat terbaik penulis yang telah melalui berbagai masa bersama penulis selama hampir 7 tahun. Tempat “pelarian” terbaik penulis, baik di saat senang ataupun susah. Sumber kebahagiaan dan kegembiraan terbesar penulis, terutama disaat sulit. Rilek FC dkk. Bobop, Mantri, Agung, Bojai, Azfar, Dimas, Eca, Elvis, Kybo, Nizar, Omar, Aldy, Berkew, Umar, tinton, Tplank, Putri, Angel, Tita, PS, Ega, Niki, Vani, Riri, Esya. Semoga persahabatan kita ga berubah dan semua urusan masing – masing dimudahkan.
10. “Saudara” Dite, Alwin, Latip, Dika, Fariz, Iman, Ruth. Sahabat spesial penulis di kampus yang 4 Tahun terakhir tidak terpisah dari penulis baik di dalam kampus maupun diluar.
11. Teman mesin 2007 yang penulis banggakan yang kehebatan dan potensinya tidak perlu diragukan lagi. Kita angkatan terbaik terlengkap terkonkret.
12. Teman penulis diluar sana, Teknik UI 2007, Kuda Hitam, Merger FC, tyo dan Todz House, teman SD, dan semuanya yg tidak memungkinkan bagi penulis untuk menyebutnya satu persatu. Semoga hubungan kita tetap erat kedepanya.

Akhir kata, Doa Penulis agar Allah SWT berkenan memberikan segala kebaikan yang ada kepada pihak tersebut. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu teknologi dan kehidupan Manusia.

Depok, 13 Juni 2011
Penulis



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Gilang Arrahman Ikhsan Varian
NPM : 0706267023
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**KARAKTERISTIK TERMOAKUSTIK BERDASARKAN VARIASI
MODEL STACK**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 13 Juni 2011

Yang menyatakan

(Gilang Arrahman Ikhsan Varian)

ABSTRAK

Nama : Gilang Arrahman Ikhsan Varian
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : karakteristik Termoakustik berdasarkan Posisi, Panjang Dan Model Stack Serta Variasi Frekuensi Terhadap Kinerja Suatu Pendingin Termoakustik

Alat pendingin adalah salah satu peralatan rumah tangga yang sering kita gunakan, refrigerator sangat bermanfaat karena dapat membuat kondisi makanan yang kita simpan tetap bagus keadaannya, hal itu membuat alat pendingin sebagai salah satu peralatan rumah tangga yang sering kita jumpai. Termoakustik refrigerator adalah system pendinginan yang ramah lingkungan karena menggunakan media kerja udara atau gas mulia sebagai pengganti system Freon atau system pendinginan konvensional yang dapat membahayakan lingkungan. System ini berkerja dengan memanfaatkan gelombang suara yang dihasilkan oleh loudspeaker sebagai salah satu komponen system tersebut. Gelombang suara yang dihasilkan memberikan perpindahan panas dari tendon dingin menuju tendon panas melalui sebuah alat pemindahan panas yang disebut dengan stack dimana diletakan di dalam pipa resonator. Dalam pengujian, kami menguji sebuah alat termoakustik sederhana dengan pipa resonator dengan panjang 80cm terbuat dengan bahan PVC menggunakan pengaruh variasi posisi ,panjang dan model stack serta variasi frekuensi yang digunakan. Perpindahan panas dari tendon dingin ke tendon panas menghasilkan penurunan temperatur sebesar 6°C pada tendon dingin dan kenaikan temperatur pada tendon panas sebesar 3°C setelah dioperasikan selama 30 menit.

Keywords : *thermoakustik, resonator, stack, frekuensi*

ABSTRACT

Name : Gilang Arrahman Ikhsan Varian
Major : Mechanical Engineering
Title : The characterization of Thermoacoustic refrigerator Device Based on Position, length and model of *stack* with variation frequency influence to performance thermoacoustic.

Refrigerator is one of a household appliance that is commonly used. The needs of maintaining food at the good condition make refrigerator become “must have” equipment in every household. Thermoacoustic refrigerator is an environmentally friendly cooling system because it uses air or noble gas as a working medium rather than freon or other hazardous gas as in conventional cooling system. This system utilizes sound wave to provide work for transferring heat from the cold to the hot reservoirs through an heat exchanger element called as stack which is placed in a resonator tube. The sound source system consists of a loudspeaker, an audio amplifier, and a signal generator. In this experiment the main parts of the device consist of a cylindrical resonator made of PVC pipe has 80 cm length, a loudspeaker as a sound source, and a stack as a heat transfer element. The device was operated with variation position, length and shape of stack and also variation resonance frequency, using atmospheric air as a working medium. A heat transfer from cold reservoir to hot reservoir has been observed where the cold reservoir temperature decreased about 6°C and the hot reservoir temperature increased about 3°C after 30 minutes of the device operation.

Keywords : *thermoacoustic, resonator, stack, frequency*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Manfaat	4
1.5 Metodologi	4
1.6 Sistematika penulisan.....	5
BAB 2 DASAR TEORI	7
2.1 Definisi Termodinamika	7
2.2 Jenis – Jenis Termodinamika.....	8
2.3 Komponen pada termodinamika.....	8
2.4 Teori Termodinamika.....	10
2.5 Sistem pendingin (<i>heat exchanger</i>)	12
2.5 Heat pipe	12
2.5.2 <i>Heat Sink</i>	14
2.6 Desain Perangkat Termodinamika.....	15
2.7 Keuntungan dan Aplikasi.....	17
BAB 3 PERANCANGAN DAN PERAKITAN	19
3.1 Parameter design termodinamika.....	19
3.2 Desain	20
3.3 Parameter.....	24

3.3.2	Parameter proses.....	24
3.3.2	Parameter gas kerja = udara	24
3.3.3	Parameter design <i>stack</i>	25
3.3.1	Tabung resonator	26
3.4	Konstruksi dan skema pengujian.....	26
3.4.1	Skema Pengujian	26
3.4.2	Konstruksi	28
BAB 4 PENGUJIAN		32
4.1	Cara kerja termoakustik	32
4.2	Set-up pengujian	34
4.3	Langkah-langkah pengaturan	40
4.4	Pengujian.....	40
BAB 5 HASIL DAN ANALISA		42
5.1	Grafik dan analisa termoakustik dengan model <i>Stack</i> gulungan / <i>roll</i> pada panjang <i>stack</i> 10 cm dengan frekuensi 106 serta $\delta K = 1$ mm	42
5.1.1	Posisi <i>stack</i> pada x_s 10 cm	42
5.1.2	Posisi <i>stack</i> pada x_s 11 cm	43
5.1.3	Posisi <i>stack</i> pada x_s 12 cm	45
5.1.4	Posisi <i>stack</i> pada x_s 13 cm	46
5.1.5	Posisi <i>stack</i> pada x_s 14 cm	48
5.1.6	Posisi <i>stack</i> pada x_s 15 cm	49
5.2	Grafik dan analisa termoakustik pada <i>stack plate</i> panjang <i>stack</i> 10 cm dengan frekuensi 106 serta $\delta K = 1$ mm.....	50
5.2.1	Posisi <i>stack</i> pada x_s 10 cm	50
5.2.2	Posisi <i>stack</i> pada x_s 11 cm	52
5.2.3	Posisi <i>stack</i> pada x_s 12 cm	54
5.2.4	Posisi <i>stack</i> pada x_s 13 cm	55
5.2.1	Posisi <i>stack</i> pada x_s 14 cm	56
5.3	Grafik dan table perbandingan model <i>stack roll</i> dan <i>stack plate</i>	58
5.4	Grafik dan analisa termoakustik pada <i>stack roll</i> panjang <i>stack</i> 10 cm dengan frekuensi 106 serta $\delta K = 1$ mm x_s 14 dengan menggunakan tabung tembaga	60
5.5	Grafik dan analisa perbandingan <i>stack roll</i> panjang <i>stack</i> 10 cm dengan frekuensi 106 serta $\delta K = 1$ mm menggunakan pipa tembaga dengan pipa tembaga menggunakan heatpipe	61
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		63
6.1	Kesimpulan.....	63

6.2	Saran	63
	DAFTAR PUSTAKA	65
	DAFTAR LAMPIRAN.....	67



DAFTAR GAMBAR

gambar 2. 1 komponen termoakustik	9
gambar 2. 2 siklus termoakustik [16].....	12
gambar 2. 3 <i>Struktur heat pipe</i> [17].....	13
gambar 2. 4 <i>Heat sink</i> dilengkapi dengan kipas [15].....	15
gambar 3. 1 pengambilan data frekuensi.....	22
gambar 3. 2 grafik Voltage Vs frekuensi	23
gambar 3. 3 empa panjang <i>stack</i> (L_s) dan posisi <i>stack</i> (X_s) [11].....	25
gambar 3. 4 Rancangan tabung resonator beserta box speaker	26
gambar 3. 5 (a) & (b) konstruksi dan skema pengujian alat.....	27
gambar 3. 6(a) & (b) konstruksi dan skema pengujian alat	28
gambar 3. 7 Bagian-bagian tabung resonator dan tutup speaker.....	29
gambar 3. 8 Konstruksi <i>stack</i> pertama (Gulungan)	30
gambar 3. 9 Konstruksi <i>stack</i> kedua (Plate).....	31
gambar 4. 1 Contoh Sederhana Sistem Termoakustik	33
gambar 4. 2 Proses Kerja sistem Termoakustik dalam Resonator [15]	34
gambar 4. 3 Amplifier	35
gambar 4. 4 Skema amplifier rakit sederhana	36
gambar 4. 5 Heat pipe Cooler Master Hyper 212 plus	37
gambar 4. 6 Skema amplifier rakit sederhana Heat pipe Cooler Master Hyper 212 plus.....	37
gambar 4. 7 Dimensi kipas pendingin (sumber : nidec)	38
gambar 4. 8 Termokopel	39
gambar 4. 9 Modul NI 9211	39
gambar 4. 10 chassis cDAQ-9174 NI.....	40
gambar 5. 1 <i>stack</i> dengan konfigurasi $L_s = 10 \text{ cm}$ $f=106 \text{ Hz}$ $\delta K = 1 \text{ mm}$ $x_s = 10 \text{ cm}$	42
gambar 5. 2 <i>stack</i> dengan konfigurasi $L_s = 10 \text{ cm}$ $f=106 \text{ Hz}$ $\delta K = 1 \text{ mm}$ $x_s = 11 \text{ cm}$	44

gambar 5. 3 <i>stack</i> dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta K = 1\text{ mm}$ $x_s = 12\text{ cm}$	45
gambar 5. 4 <i>stack</i> dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta K = 1\text{ mm}$ $x_s = 13\text{ cm}$	46
gambar 5. 5 <i>stack</i> dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta K = 1\text{ mm}$ $x_s = 14\text{ cm}$	48
gambar 5. 6 <i>stack</i> dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta K = 1\text{ mm}$ $x_s = 15\text{ cm}$	49
gambar 5. 7 <i>stack</i> dengan konfigurasi $L_s = 10\text{ cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta K = 1\text{ mm}$ $x_s = 10\text{ cm}$	51
gambar 5. 8 <i>stack</i> dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta K = 1\text{ mm}$ $x_s = 11\text{ cm}$	52
gambar 5. 9 <i>stack</i> dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta K = 1\text{ mm}$ $x_s = 12\text{ cm}$	54
gambar 5. 10 <i>stack</i> dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta K = 1\text{ mm}$ $x_s = 13\text{ cm}$	55
gambar 5. 11 <i>stack</i> dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta K = 1\text{ mm}$ $x_s = 14\text{ cm}$	57
gambar 5. 12 Grafik perbandingan ($T_{\text{panas}} - T_{\text{dingin}}$) _{maksimum} antara model <i>stack</i> setiap posisi	59
gambar 5. 13 Grafik perbandingan $T_{\text{ambient}} - T_{\text{dingin}}$ minimum antara model <i>stack</i> setiap posisi	59
gambar 5. 14 <i>stack</i> dengan konfigurasi $L_s = 10\text{ cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta K = 1\text{ mm}$ $x_s = 10\text{ cm}$	60
gambar 5. 15 Grafik perbandingan penggunaan heat pipe pada sistem.....	62

DAFTAR TABEL

tabel 2. 1 Tabel temperatur kerja cairan heat pipe.....	14
tabel 5. 1 tabel perbandingan penggunaan <i>stack roll</i> dan <i>stack plate</i>	58



DAFTAR LAMPIRAN

1. Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack* Gulungan dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi Stack Xs 10 cm.
2. Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack* Gulungan dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi Stack Xs 11 cm.
3. Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack* Gulungan dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi Stack Xs 12 cm.
4. Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack* Gulungan dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi Stack Xs 13 cm.
5. Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack* Gulungan dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi Stack Xs 14 cm.
6. Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack* Gulungan dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi Stack Xs 15 cm.
7. Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack Plate* dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi Stack Xs 10 cm.
8. Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack Plate* dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi Stack Xs 11 cm.
9. Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack Plate* dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi Stack Xs 12 cm.
10. Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack Plate* dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi Stack Xs 13 cm.
11. Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack Plate* dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi Stack Xs 14 cm.
12. Data Pengujian Modul Termoakustik Pipa Tembaga pada model *stack* Gulungan dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi Stack Xs 14 cm.

13. Data Pengujian Modul Termoakustik Pipa Tembaga dan Sistem pendingin *Heat Pipe* yang beroperasi pada menit pertama pada model *stack* Gulungan dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_x = 1$ mm dan posisi Stack Xs 14 cm.
14. Gambar kerja



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Kondisi masyarakat global yang menerapkan teknologi maju seperti sekarang ini memudahkan seseorang untuk mendapatkan sesuatu dengan sangat cepat kapan pun dan dimanapun mereka berada. Dari hal tersebut banyak manfaat yang didapat, contohnya hal yang sulit pada masa dahulu, sekarang menjadi sangat praktis. Seperti halnya menjentikkan jari, maka semua akan didapat dengan mudah. Hal ini didukung oleh kemajuan teknologi yang sangat pesat sekali dan untuk mendukungnya, maka perusahaan –perusahaan yang berbasis teknologi berlomba menciptakan teknologi yang sangat canggih, yang pada akhirnya mendorong konsumen berlomba untuk mendapatkannya. Semakin berkembangnya teknologi yang ada pasti menimbulkan efek yang negatif seperti contoh kecilnya berupa dampak terhadap lingkungan.

Isu yang hangat diperbincangkan orang tentang dampak lingkungan yaitu *global warming*. *global warming* [1,2] adalah fenomena alam yang dimana terjadi fenomena efek rumah kaca. Kita sudah mengetahui bahwa Segala sumber energi yang terdapat di bumi berasal dari matahari. Sebagian besar energi tersebut berbentuk radiasi gelombang pendek, termasuk cahaya tampak. Ketika energi tiba permukaan bumi, ia berubah dari cahaya menjadi panas yang menghangatkan bumi. Permukaan Bumi, akan menyerap sebagian panas dan memantulkan kembali sisanya. Sebagian dari panas ini berwujud radiasi infra merah gelombang panjang ke angkasa luar. Namun sebagian panas tetap terperangkap di atmosfer bumi akibat menumpuknya jumlah gas rumah kaca[1] antara lain uap air, karbon dioksida, dan metana yang menjadi perangkap gelombang radiasi ini. Gas-gas ini menyerap dan memantulkan kembali radiasi gelombang yang dipancarkan bumi dan akibatnya panas tersebut akan tersimpan di permukaan bumi. Keadaan ini terjadi terus menerus sehingga mengakibatkan suhu rata-rata tahunan bumi terus meningkat.

Dengan adanya masalah tentang perusakan lingkungan sehingga manusia dituntut untuk menemukan dan mengembangkan berbagai macam teknologi alternatif yang lebih efisien dan tidak berdampak terhadap lingkungan. Salah satu penemuan yang masih terdengar asing di telinga kita dan dapat berguna sebagai teknologi di masa yang akan datang adalah Termoakustik[3,4,6,7]. Termoakustik memiliki keunggulan, terutama karena piranti ini tidak menggunakan medium pendingin yang berbahaya bagi lingkungan, seperti CFC dan HFC[5,6], melainkan menggunakan medium pendingin yang ramah lingkungan, seperti udara dan gas-gas mulia. Keunggulan lainnya diantaranya adalah konstruksinya relatif lebih sederhana dan ketersediaan medium kerja yang melimpah sehingga pembuatannya memerlukan biaya yang relatif murah. Termoakustika(thermoacoustic) adalah suatu bidang yang berhubungan dengan fenomena fisis di mana perbedaan suhu dapat membangkitkan gelombang bunyi, dan sebaliknya gelombang bunyi dapat menghasilkan perbedaan suhu[3-8]. Suatu gelombang bunyi (akustik) di dalam gas biasanya hanya dipandang sebagai osilasi tekanan dan gerak, padahal osilasi suhu juga selalu terjadi. Bila bunyi merambat dalam kanal-kanal kecil, maka kalor yang berosilasi juga akan mengalir ke dan dari dinding dinding kanal. Gabungan semua osilasi ini akan menghasilkan fenomena atau efek termoakustik. Alat yang digunakan untuk menimbulkan efek termoakustik disebut piranti termoakustik. Piranti termoakustik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu (a) mesin kalor termoakustik [4] yang dapat membangkitkan gelombang akustik dengan adanya perbedaan suhu, dan (b) pendingin termoakustik[3,5-8] atau pompa kalor termoakustik yang dapat menghasilkan perbedaan suhu dengan menggunakan gelombang akustik.

Tetapi sampai saat ini masih jarang buku – buku ataupun artikel – artikel yang membahas mengenai teknologi *Thermoacoustic* dan juga karena selama ini penerapannya pun masih dalam lingkup terbatas, sehingga sistem ini jarang dikenal. Maka pada tugas akhir ini, dengan berbekal teori – teori yang pernah penulis dapat semasa kuliah di teknik mesin, mendorong penulis untuk mempraktekkan teori – teori tersebut dengan membuat alat peraga mesin kalor *Thermoacoustic*, dengan harapan kita dapat lebih mengenal cara kerja dari sistem

ini sehingga mendorong kita teknik mesin Universitas Indonesia khususnya untuk dapat ikut mengembangkan teknologi *Thermoacoustic* ini di masa mendatang.

Artikel-artikel yang membahas mengenai pengembangan termoakustik yang dipublikasikan dalam jurnal-jurnal ilmiah populer seperti yang ditulis oleh Swift [9-12] dan oleh Garret dan Backhaus[10] telah menjadikan konsep-konsep yang mendasari fenomena termoakustik dapat dipahami oleh khalayak luas. Sebelumnya, Wheatley *et al*[11] telah menyajikan pemahaman beberapa fenomena dalam termoakustik dan aplikasinya pada mesin kalor akustik. Sebuah pustaka acuan yang banyak dirujuk berbagai artikel tentang termoakustik dan sangat berharga bagi pemahaman kita tentang konsep-konsep yang terlibat dalam termoakustik telah ditulis oleh Swift[9,10,11]. Beberapa piranti termoakustik yang bertujuan demonstrasi dan penelitian banyak dibuat. Sebuah pendingin termoakustik telah dibuat dan beroperasi dengan baik, Pada penelitian ini, penulis ingin menelaah lebih lanjut tentang konversi suara menjadi tenaga pendingin melalui tabung resonator. Beberapa penelitian telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya dan mendapatkan hasil yang cukup memuaskan seperti *research* yang dilakukan oleh M.E.H Tijani [13]dkk, telah mampu mencapai temperatur pada sisi dingin hingga -65°C . Hal ini mendorong kami sebagai mahasiswa ingin mengembangkan dan mencoba membuat demonstrasi alat peraga termoakustik dengan harapan dapat lebih mengetahui cara kerja sistem ini sehingga nantinya kami dapat mengembangkan teknologi termoakustik di masa yang akan datang.

1.2 Tujuan

1. Merancang dan membuat alat mesin *Thermoacoustic* sehingga dapat mengetahui prinsip kerjanya.
2. Membuktikan fenomena bahwa adanya suatu getaran yang merambat pada suatu medium berupa udara menyebabkan perbedaan tekanan udara sehingga menghasilkan perbedaan suhu.

1.3 Manfaat

Mengetahui fenomena yang terjadi pada *Thermoacoustic*, sehingga diperoleh informasi yang dapat digunakan untuk mengembangkan alat ini pada kehidupan sehari-hari. Selain itu, *Thermoacoustic* juga memanfaatkan udara sekitar dan gas-gas mulia sehingga tidak membahayakan lingkungan sekitar.

1.4 BATASAN MASALAH

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi :

- A. *Thermoacoustic* bekerja pada suhu ruangan
- B. Menggunakan media udara sebagai fluida kerja.
- C. Menggunakan pengeras suara atau *loudspeaker* sebagai pembangkit gelombang suara (daya kerja).
- D. Merancang dan membangun alat *Thermoacoustic* sebagai pompa kalor agar tercapai suhu terendah di sisi dingin (*cold side*) sehingga dapat diaplikasikan sebagai pemompa kalor pada alat-alat sehari-hari
- E. Penggunaan 2 buah yaitu *stack* yang terbuat dari plastic dengan memiliki ketebalan 0.5mm dengan panjang 10 cm, pada *stack* dilekatkan benang pancing sepanjang *stack* dengan jarak antar pancing sekitar 1 cm kemudian *stack* tersebut digulung membentuk roll. Alat ini berkerja pada frekuensi 106, pemilihan frekuensi di dapatkan dari hasil percobaan. Dan *stack* yang lain berupa potongan plate yang terbuat dari *Ainvex* yang disusun membentuk diameter tabung resonator. Plat-plat tersebut dipisahkan dengan melekatkan benang-benang pancing sehingga jarak antar plat mengikuti diameter benang pancing tersebut 1 mm.
- F. Menggunakan *heat pipe* sebagai media untuk mengurangi temperatur tinggi pada sisi panas.

1.5 Metodologi

Metodologi penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

- A. Studi literatur

Studi literatur merupakan tahapan pembelajaran referensi yang berkaitan dengan materi bahasan yang berasal dari buku, jurnal dan situs di internet.

B. Pengujian Alat Peraga *Thermoacoustic* sebagai Pompa Kalor

Pengujian bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan cara kerja dari termoakustik sebagai pompa kalor dengan menggunakan media udara bebas dan gas Helium sebagai fluida kerja agar dicapai suhu terendah pada sisi dingin alat *Thermoacoustic*

C. Perancangan Alat *Thermoacoustic*

Perancangan alat *Thermoacoustic* dilakukan dengan mempertimbangkan sifat material, pemilihan bahan *stack*, perancangan resonator, pemilihan komponen-komponen *speaker* yang sesuai dan memungkinkan alat mampu menghasilkan perbedaan tekanan dan temperatur yang dibutuhkan untuk diaplikasikan sebagai pemompa kalor pada *Vaccine Carrier*.

D. Pengujian Alat *Thermoacoustic*

Pengujian alat dilakukan melalui proses pemilihan jenis suara dan pembangkit gelombang suara (*speaker*) yang sesuai. Pengambilan data dilakukan dengan pemberian termokopel pada titik-titik tertentu pada alat *Thermoacoustic* untuk mengetahui besar perbedaan tekanan terhadap suhu di dua sisi berbeda dalam resonator.

E. Analisa dan Kesimpulan Hasil Pengujian

Setelah data diolah, maka dilakukan proses analisa terhadap grafik yang diperoleh. Dari analisa tersebut akan diperoleh kesimpulan terhadap proses pengujian, mengetahui performa kerja alat *Thermoacoustic* yang telah dibuat dan memberikan saran untuk pengembangan desain alat *Thermoacoustic* selanjutnya.

1.6 Sistematika penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini dilakukan menurut urutan bab–bab sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bagian ini berisi latar belakang yang melandasai penulisan skripsi, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 TEORI DASAR

Bagian ini menjelaskan teori – teori yang mendukung penelitian ini dan perkembangan teknologi termoakustik. Tinjauan pustaka ini diambil dari beberapa buku, jurnal dan situs – situs internet

BAB 3 PERANCANGAN DAN PENGUJIAN *THERMOACOUSTIC*

Bagian ini berisi penjelasan secara lengkap tentang peralatan – peralatan, instalasi, langkah – langkah , serta jenis pengujian yang dilakukan.

BAB 4 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN *THERMOACOUSTIC*

Bagian ini berisi analisa data – data hasil pengujian alat *Thermoacoustic*

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini akan berisi kesimpulan dari seluruh analisa yang dilakukan dan dilengkapi saran terhadap pengembangan desain selanjutnya.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 DEFINISI TERMOAKUSTIK

Termoakustika (thermoacoustic) adalah suatu bidang yang berhubungan dengan fenomena fisis di mana perbedaan suhu dapat membangkitkan gelombang bunyi, dan sebaliknya gelombang bunyi dapat menghasilkan perbedaan suhu[3-8]. Suatu gelombang bunyi (akustik) di dalam gas biasanya hanya dipandang sebagai osilasi tekanan dan gerak, padahal osilasi suhu juga selalu terjadi. Bila bunyi merambat dalam kanal-kanal kecil, maka kalor yang berosilasi juga akan mengalir ke dan dari dinding dinding kanal. Gabungan semua osilasi ini akan menghasilkan fenomena atau efek termoakustik. Pada umumnya, hanyalah osilasi tekanan dan gerak yang diperhatikan pada rambatan gelombang bunyi pada gas, namun sebenarnya osilasi suhu juga terjadi pada saat yang bersamaan. Namun, gelombang suara konvensional seperti percakapan kita sehari-hari belumlah cukup untuk menghasilkan gradien temperatur yang diinginkan yaitu hanya menghasilkan perbedaan temperatur sebesar 10^{-4} °C. Oleh karena itu sistem termoakustik ini digunakan untuk menciptakan perbedaan temperatur yang lebih tinggi sehingga dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari.

Dalam sistem termoakustik refrigerator (pendingin), perbedaan temperatur didapatkan dari gelombang suara akustik. Gelombang suara dihasilkan oleh sumber bunyi berupa *loudspeaker* lalu dialirkan menuju tabung resonator dan *stack*. Lalu gelombang bunyi tersebut beresonansi pada tabung resonator dan memasuki kanal – kanal kecil yang berada pada *stack* sehingga terjadi perbedaan temperatur pada dua ujung *stack* yang dilalui oleh gelombang akustik tersebut. Pada termoakustik, kalor berpindah dari sisi dengan temperatur lebih tinggi (*hot side*) menuju sisi dengan temperatur lebih rendah (*cold side*) dengan gelombang akustik yang beresonansi dalam tabung bekerja sebagai kerja eksternal. Gelombang

longitudinal dari gelombang akustik mengakibatkan partikel gas berosilasi maju dan mundur di dalam dinding – dinding *stack*. Kompresi pada gas mengakibatkan temperatur normal gas berosilasi karena proses adiabatik alami dari gelombang akustik / suara. Apabila temperatur gas menjadi lebih tinggi daripada dinding *stack* terdekat, maka kalor berpindah dari gas menuju dinding *stack*, dan sebaliknya. Sehingga menciptakan perbedaan suhu antara gas yang keluar dari kedua ujung *stack*.

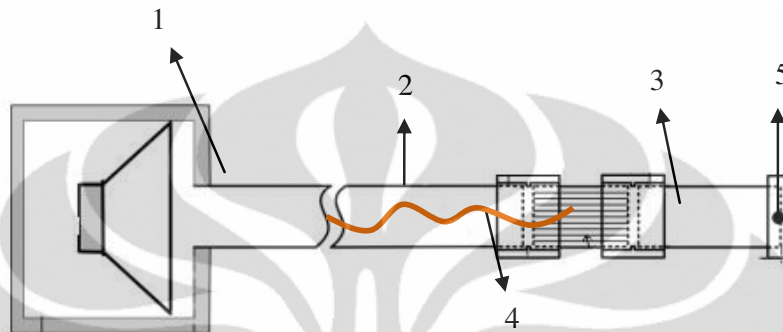
Karena banyak sekali pengembangan termoakustik dan pada dasarnya termoakustik mempunyai dua sisi, yaitu sisi dingin (*cold side*) dan sisi panas (*hot side*), untuk mencari hasil yang bagus di dalam percobaan ini, maka kita mencoba menggunakan heat pipe untuk menurunkan temperatur di sisi panas.

2.2 JENIS – JENIS TERMOAKUSTIK

- Berdasarkan cara kerja terdapat dua jenis sistem termoakustik, yaitu :
 1. Heat Engine, perbedaan temperatur digunakan untuk menciptakan suatu osilasi sehingga tercipta gelombang akustik.[10]
 2. Heat Pump atau Refrigerator, gelombang akustik dimanfaatkan untuk menghasilkan perubahan temperatur yang diinginkan.[10]
- Berdasarkan gelombang yang digunakan, terdapat dua jenis sistem termoakustik, yaitu :
 1. *Standing Wave Engines*
 2. *Traveling Wave Engines*
- Berdasarkan jenis Tabung Resonator dua jenis sistem termoakustik, yaitu :
 1. *One Way Tube*
 2. *Loop Tube*
- Berdasarkan Posisi Tabung Resonator dua jenis sistem termoakustik, yaitu :
 1. *Linear*, tabung sejajar sumbu horizontal.
 2. *Table-Top*, tabung sejajar sumbu vertikal.[13]

2.3 KOMPONEN PADA TERMOAKUSTIK

Berikut beberapa Komponen Utama dari sistem termoakustik :



gambar 2. 1 komponen termoakustik

1. *Loudspeaker*

Pembangkit gelombang akustik pada sistem. *Loudspeaker* mengalirkan gelombang akustik ke dalam tabung resonator. Pada *loudspeaker* dapat ditentukan seberapa besar frekuensi dan tipe gelombang akustik berbentuk suara dapat dikeluarkan. Pada eksperimen ini penulis menggunakan *speaker* aktif 6 inci dengan daya maksimum 80 Watt lengkap dengan amplifier. Dan pengaturan sumber gelombang akustik melakukan perangkat lunak (*software*) *Adobe Audition V3.0*.

2. Tabung Resonator

Tabung tempat mengalirnya gelombang akustik yang dikeluarkan oleh speaker. Tabung resonator[13,14] bekerja dengan sebagai pipa organa tertutup. Tabung ini merupakan tempat gelombang suara beresonansi dan menghasilkan perbedaan temperatur yang diinginkan. Tabung resonansi memiliki berbagai desain dan dimensi hingga gelombang hasil resonansi menjadi optimal. Hal ini dipengaruhi oleh besar dan jenis gelombang akustik yang digunakan, serta zat penghantar dalam tabung resonator tersebut.

3. *Stack*

Merupakan komponen inti pada sistem termoakustik. Berlaku sebagai pemindah kalor atau *heat exchanger*. *Stack* merupakan kumpulan dari kanal – kanal yang relatif kecil dan berjumlah banyak dengan posisi sejajar dengan sumbu tabung resonator. Gelombang akustik yang dihasilkan *loudspeaker* dan dialirkan dan di resonansi oleh tabung resonator diteruskan kedalam kanal-kanal *stack* yang kecil dan berjumlah banyak hingga menghasilkan perbedaan temperatur antar ujung-ujungnya.

4. Partikel Udara

Media yang digunakan gelombang akustik dalam melakukan perjalanan dari *loudspeaker* hingga ujung *stack*. Partikel udara merupakan medium yang digunakan dalam perpindahan kalor. Untuk meningkatkan transfer panas biasanya digunakan partikel udara yang mendekati gas ideal dan memiliki konduktivitas termal yang tinggi (contohnya adalah helium). Transfer kalor tidak akan terjadi bila variasi suhu puncak ke puncak yang diakibatkan oleh kompresi adiabatik gas sama dengan variasi suhu dinding lokal antara simpangan – simpangan maksimum gerak partikel-partikel gas[11]. Transfer kalor dari dingin ke panas *stack* yang mengakibatkan pendinginan jika variasi temperatur dalam gas yang diinduksi gelombang bunyi lebih besar dari gradien temperatur antara panas dan bagian dingin *stack*. Sehingga diperlukan gelombang bunyi dengan intensitas tinggi dalam resonator.

5. *Microphone*

Terletak pada ujung berlawanan dengan *loudspeaker* pada sistem termoakustik. Berfungsi sebagai penerima sinyal gelombang akustik yang dikeluarkan oleh *loudspeaker* dan di-resonansi-kan oleh tabung resonator dan *stack*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pada frekuensi berapakah desain tabung bekerja maksimal.

2.4 TEORI TERMOAKUSTIK

Pada sistem konversi energi termoakustik, fluida yang beroperasi (gas) mengalami transformasi termodinamika. sebuah gas mengalami berbagai

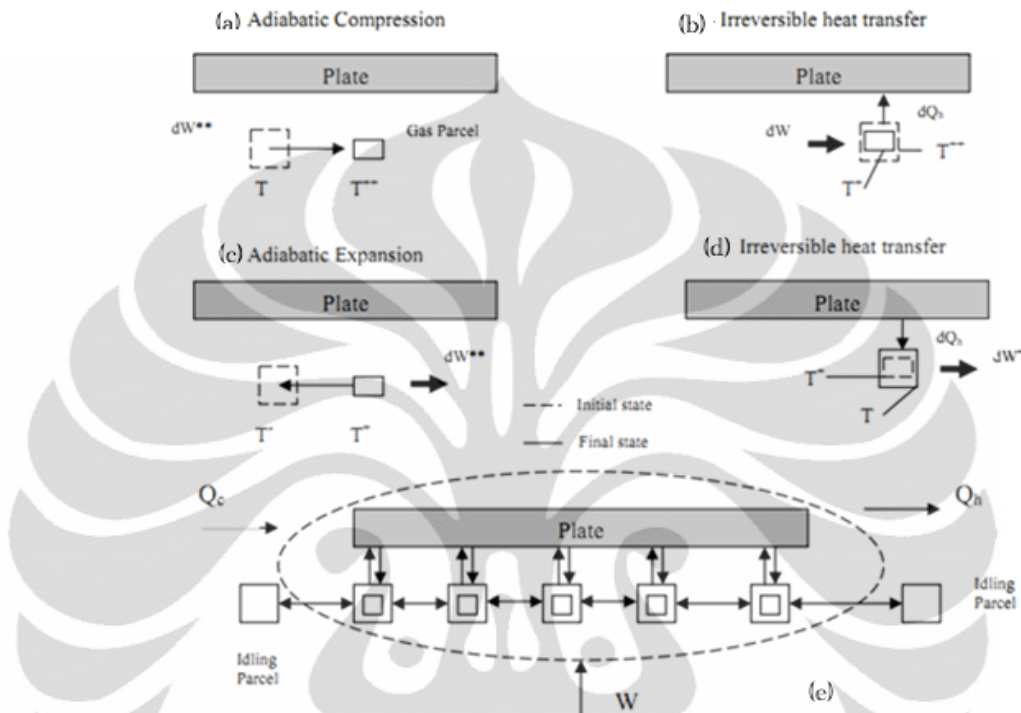
perubahan seperti tekanan, volume, temperatur, perpindahan kalor, dll hingga kembali ke kondisi awal dan kembali mengalami transformasi disebut mengalami siklus termodinamika. proses yang paling umum dapat kita ambil adalah pada motor pembakaran dalam. Campuran bahan bakar dan udara dikompresi, dibakar, dan mengalami ekspansi sehingga piston dapat bekerja. Namun tidak seperti sistem konvensi energi konvensional yang berhubungan dengan energi mekanikal, baik dalam proses ataupun hasil proses, seperti pada mesin mobil, sistem termoakustik tidak membutuhkan suatu pergerakan *part* untuk menyelesaikan siklusnya. Gelombang suara menjadi bagian pengganti piston atau *camshaft*. Gelombang suara dapat menghasilkan proses kompresi atau ekspansi serta dapat mengakibatkan variasi temperatur, melakukan perpindahan kalor, dan memindahkan partikel – partikel pada gas.

Siklus termoakustik terdiri dari dua langkah adiabatik (1 & 3) dan dua langkah isobarik (2 & 4).

- Langkah (1)
Kumpulan gas Mengalami proses kompresi adiabatik sehingga memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada *stack*. Gambar 2.2(a)
- Langkah (2)
Perpindahan kalor irreversible terjadi pada gas dan menuju *stack* sehingga Tempereatur turun pada gas. Volume kumpulan gas menyusut. Gambar 2.2(b)
- Langkah (3)
Kembali mengalami proses adibatik, namun ekspansi. Kumpulan gas kembali ke posisi semula dan mengalami penurunan suhu. Gambar 2.2(c)
- Langkah (4)
Perpindahan kalor irreversible kembali terjadi, namun kali ini dari *stack* menuju kumpulan gas. Volume kumpulan gas kembali membesar. Pada langkah ini kumpulan gas berada di tempat semula sehingga kembali ke langkah (1) sehingga siklus tersebut dapat berjalan hingga gas keluar dari kanal *stack*. Gambar 2.2(d)

Karena banyaknya kumpulan gas yang melalui sebuah *stack* dan kalor yang diberikan oleh satu kumpulan gas juga turut berpindah menuju partikel terdekat,

maka perbedaan temperatur terus terjadi selama gas berada di dalam *stack*. Gbr 2.2(e)



gambar 2. 2 siklus termoakustik [16]

2.5 SISTEM PENDINGIN (*HEAT EXCHANGER*)

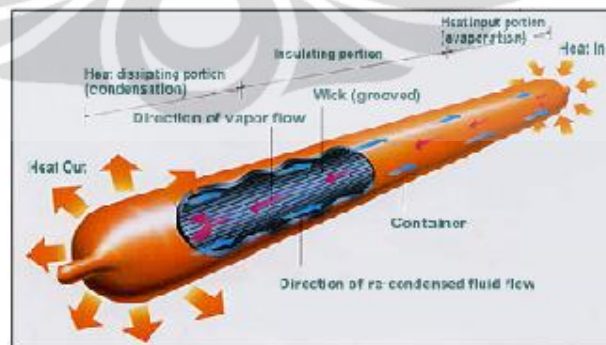
2.5 Heat pipe

Teknologi heat pipe telah lebih dahulu digunakan secara luas pada bidang teknologi peralatan ruang angkasa. Heat pipe memiliki nilai konduktivitas termal yang sangat tinggi, jika dibandingkan dengan logam – logam lainnya heat pipe memiliki nilai konduktivitas termal ratusan kali lebih besar. Dengan sifatnya ini, heat pipe mampu memindahkan kalor dengan penurunan temperatur sepanjang heat pipe lebih kecil. Pada umumnya heat pipe hanya membutuhkan satu per seribu perbedaan temperatur (ΔT) yang dibutuhkan batangan tembaga untuk memindahkan sejumlah kalor antara dua titik. Heat pipe merupakan suatu alat yang bersifat pasif yang tidak memiliki bagian

yang bergerak dan tidak membutuhkan bantuan tenaga selain kalor yang akan dipindahkan. Cara kerja heat pipe didasarkan oleh perubahan fase yang dialami oleh fluida kerja yang digunakan.

Biasanya heat pipe terdiri atas pipa vakum yang tertutup (closed evacuated envelope), wick dan fluida kerja dengan tekanan uap yang disesuaikan dengan kondisi temperatur kerja. Fluida kerja yang bersifat mudah menguap akan menyerap kalor dari sumber panas pada bagian evaporator, perubahan temperatur yang dialami oleh fluida kerja mengakibatkan terjadinya peningkatan tekanan

pada fluida kerja sehingga terjadi perubahan fase dari wujud cair menjadi uap. Uap yang terbentuk akan bergerak ke kondenser dan terjadi pelepasan kalor sehingga fluida kerja kembali ke wujud cair. Bagian yang menjadi ciri khas dari heat pipe adalah proses kembalinya fluida kerja dari kondenser ke evaporator, tanpa mekanisme kembali fluida kerja yang berawal dari evaporator akan terjadi akumulasi fluida kerja pada bagian kondenser dan akan mengakibatkan keringnya fluida kerja pada bagian evaporator. Dibutuhkan suatu mekanisme aliran kembali dari kondenser ke evaporator, untuk memungkinkan mekanisme aliran balik fluida kerja ini dibutuhkan wick yang dirancang khusus. [16]



gambar 2. 3 Struktur heat pipe [17]

Cairan	Kisaran Temperatur (°C)
Helium	-271 sampai -268
Hidrogen	-259 sampai -240
Neon	-248 sampai -230
Nitrogen	-210 sampai -150
Methanol	-182 sampai -82
Amoniak	-78 sampai 30
Air	5 sampai 230
Air Raksa	200 sampai 500
Cesium	400 sampai 1000
Sodium	500 sampai 1200
Lithium	850 sampai 1600

tabel 2. 1 Tabel temperatur kerja cairan heat pipe

2.5.2 Heat Sink

Heat sink yang baik seharusnya memiliki nilai hambatan termal yang rendah. Hal ini dikarenakan kemampuan *heat sink* untuk mengalirkan kalor yang tidak diinginkan dan mencegah terjadinya *overheat* akan menentukan juga nilai dari *coefficient of performance* (COP) dari sistem pendingin termoelektrik. Pada beberapa referensi biasanya istilah *heat sink* jarang dipergunakan, istilah yang lebih sering digunakan adalah *extended surfaces*. *Heat sink* digunakan untuk meningkatkan luasan dari permukaan untuk mempercepat proses perpindahan kalor. Penggunaan *heat sink* sebagai penyerap kalor dari sisi panas pendingin termoelektrik biasanya dikombinasikan dengan penggunaan kipas untuk mempercepat laju perpindahan kalor.

gambar 2. 4 *Heat sink* dilengkapi dengan kipas [15]

2.6 DESAIN PERANGKAT TERMOAKUSTIK

Dalam melakukan desain perangkat termoakustik, ada beberapa hal yang harus diperhatikan. Dimensi dari tabung resonator dan dimensi dari *stack*. Pada tabung resonator mempengaruhi besarnya frekuensi yang harus dikeluarkan *loudspeaker* agar dapat beresonansi secara maksimal. Dalam tabung resonator silindris dengan satu ujung terbuka dan satu ujung tertutup terdapat gelombang bunyi tegak dengan frekuensi resonansi

$$f_n = \frac{nv}{4L} \quad (2.1)$$

Dengan $n = 1, 3, 5$, yang berarti adalah orde harmonik, v adalah cepat rambat gelombang bunyi di udara, dan L adalah panjang tabung resonator. Selain panjang tabung resonator, [17] mengungkapkan diameter tabung juga turut berpengaruh terhadap besarnya frekuensi resonansi dengan persamaan :

$$f_n = \frac{nv}{4\left(L + \frac{14D}{23\pi}\right)} \quad (2.2)$$

Selain itu, diameter (D) tabung resonator juga turut mempengaruhi faktor kualitas Resonansi (Q) pada tabung resonator. Yaitu rugi energi yang dapat terjadi pada proses resonansi pada tabung resonator. Hal ini akan mempengaruhi laju perpindahan kalor pada sistem. Berikut persamaan hubungan Diameter Resonator (D) dengan Faktor Kualitas Resonansi (Q), [18]:

$$Q = \frac{(c_d D)(c_r / D^2)}{c_d D + c_r / D^2} \quad (2.3)$$

Nilai c_d adalah tetapan yang berkaitan dengan rugi yang terjadi pada dinding resonator (termal dan viskos) dan c_r adalah tetapan nilai pada rugi radiasi bunyi. Dari persamaan diatas, bisa kita dapatkan nilai diameter tabung resonator optimum sehingga sistem mendapatkan nilai faktor kualitas yang maksimum.

Berdasarkan persamaan – persamaan diatas, frekuensi dan dimensi tabung resonator sangat berhubungan. Hal ini menyebabkan berbagai peneliti melakukan pendekatan berbeda dalam mendesain sebuah perangkat termoakustik. Dapat dengan pendekatan penentuan dimensi tabung lalu menyesuaikan nilai frekuensi seperti yang penulis lakukan, atau sebaliknya.

Sedangkan dalam merancang *stack*, batasan utamanya adalah bahwa lebar kanal *stack* haruslah beberapa kali dari besar kedalaman penetrasi termal gas medium dimana nilai empat dalam pengalinya adalah nilai jarak optimumnya [19]. Kedalaman penetrasi termal (*thermal penetration depth*) (δ_K) adalah jarak suatu difusi kalor yang melalui fluida kerja atau gas dalam kasus ini pada selang waktu $t = 1/\pi f$ dengan persamaan:

$$\delta_K = \sqrt{\frac{K}{\pi \rho f c_p}} \quad (2.4)$$

Dan[19] :

$$\delta_k = \sqrt{\frac{\eta}{\pi f \rho}} \quad (2.5)$$

Dimana f adalah frekuensi gelombang akustik tegak, k adalah konduktivitas termal gas dan ρ adalah kerapatan gas serta c_p adalah kalor spesifik isobarik per satuan massa gas [19]. η adalah viskositas dinamik gas.

Apabila jarak antara lapisan-lapisan pada *stack* plate atau diameter pada *stack* pipa terlalu besar, maka gas tidak dapat memindahkan kalor secara efektif. Dan apabila terlalu kecil atau berdekatan, maka gerak – gerak partikel gas dapat terhambat.

Selain Frekuensi dan desain tabung resonator dan *stack*, Faktor lain yang juga sangat penting pengaruhnya terhadap unjuk kerja pendingin termoakustik adalah gradien suhu longitudinal kritis [11]:

$$VT_{kritis} = \frac{p}{\xi \rho c_p} \quad (2.6)$$

dengan p dan ξ berturut-turut adalah amplitudo tekanan dan amplitudo pergeseran akustik. Dalam hal ini, transfer kalor tidak akan terjadi bila variasi suhu puncak ke puncak yang disebabkan oleh kompresi adiabatik gas tepat sama atau lebih besar dengan variasi suhu dinding lokal maka transfer kalor tidak akan terjadi dan sistem termoakustik tidak bekerja optimal.

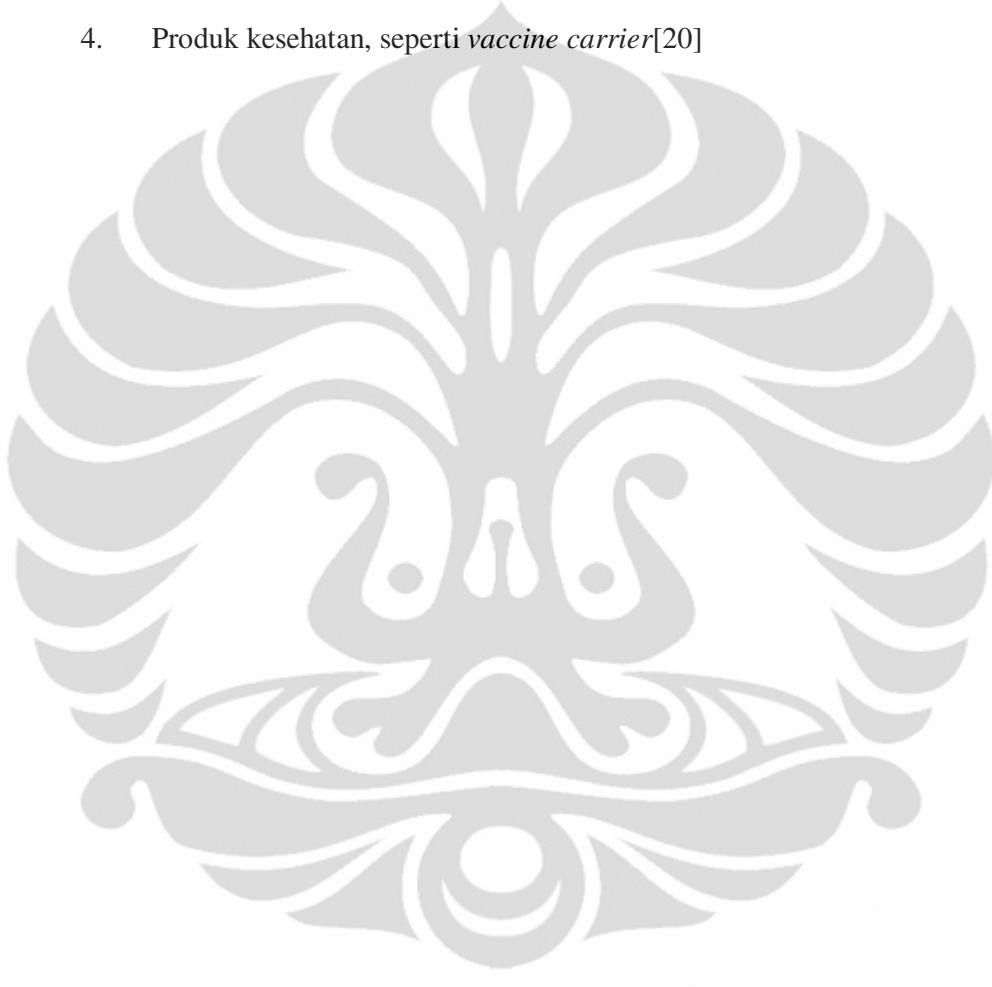
2.7 KEUNTUNGAN DAN APLIKASI

Berikut beberapa keuntungan dalam sistem Termoakustik :

1. Tidak ada bagian yang bergerak, sehingga mengurangi gesekan pada perangkat dan dapat berarti perangkat yang cukup simpel dan relatif lebih murah dan memiliki umur yang lebih panjang.
2. Ramah lingkungan, karena tidak menggunakan bahan atau menghasilkan zat yang merusak lingkungan seperti CFC, CO₂, dll.

Dan beberapa aplikasi termoakustik adalah:

1. Industri Makanan, contohnya salah satu perusahaan es krim di Amerika yang menggunakan sistem termoakustik untuk menghasilkan produknya.
2. Pembangkit energi
3. Produk sehari – hari
4. Produk kesehatan, seperti *vaccine carrier*[20]



BAB 3

PERANCANGAN DAN PERAKITAN

Pada bab ini dikhususkan membahas mengenai perencanaan membangun semua system yang akan kita gunakan dalam termoakustik Karena tujuan dari pembuatan alat termoakustik sederhana ini untuk Merancang dan membuat alat mesin termoakustik sehingga dapat mengetahui prinsip kerjanya melalui efek gelombang suara terhadap karakteristik alat tersebut. Beberapa hal juga yang harus kita perhatikan dalam pembuatan alat ini antara lain: pembuatan bahan yang dibutuhkan mudah diperoleh, mudah dibuat, serta mudah digunakan saat percobaan sedang dilakukan.

3.1 PARAMETER DESIGN TERMOAKOUSTIK

Dalam mendesign atau merancang sebuah termoakustik pada awalnya kita tentukan besar dari nilai perbedaan temperatur pada kedua sisi *stack* ΔT_m . Lalu dilanjutkan dengan pemilihan beberapa parameter yang berkaitan langsung dalam percobaan alat termoakustik yang kita buat

- Tekanan rata-rata (P_m)
Besarnya tekanan tergantung pada pemilihan material dasar dari tabung yang kita buat. Dalam hal ini kita memakai tekanan rata-rata seperti halnya tekanan atmosfer yakni berkisar pada 1 atm. Karena dalam percobaan nanti kita belum menentukan pengaruh besar nilai tekanan yang kita gunakan pada keadaan vakum
- Frekuensi (f)
Kerapatan daya pada perancangan termoakustik juga dipengaruhi oleh besar frekuensi resonansi. Dalam perancangan ini, kita menggunakan frekuensi sebagai variabel yang akan berpengaruh terhadap pembuatan *stack*. Penentuan besar nilai frekuensi dihasilkan dari sebuah perangkat

multimeter yang hasil keluarannya berupa voltage yang dapat menentukan frekuensi resonansi. Anggap performa amplifier dan speaker sangat efisien. Sehingga nanti dapat diketahui efek dari pemilihan besar frekuensi terhadap temperatur di kedua sisi *stack* yang dihasilkan.

- Pemilihan gas

Gas yang digunakan dalam perancangan termoakustik ini adalah udara yang ada di sekitar tabung resonator. Alangkah baiknya jika kita menggunakan gas yang memiliki keceptan suara yang tinggi serta *thermal conductivity* yang tinggi. Akan tetapi hal tersebut akan memakan waktu yang banyak karena perakitan alat yang kompleks.

- Bahan *stack*

Stack material pada alat termoakustik yang akan dibuat terdiri dari material yang harus memiliki sifat nilai K_s rendah (*thermal conductivity*) dan nilai C_p (*heat capacity*) lebih besar dari nilai C_p gas yang dipilih. Dalam hal ini dipilih jenis material *stack* plastik *mika*.

- Tabung resonator

Bentuk dan panjang resonator dibuat berdasarkan ide sendiri dengan bahan PVC

3.2 DESAIN

Dalam subbab ini kita akan membahas pemilihan parameter dalam mendesign termoakustik sederhana. Parameter-parameter tersebut antara lain adalah operasi parameter, parameter gas dan material *stack*.

- Tekanan rata-rata (P_m)

Tekanan rata-rata yang dipilih sebesar 1 atm. Hal ini mempertimbangkan kemudahan dalam proses percobaan nantinya sehingga nantinya tidak memerlukan alat khusus mencapai suatu tekanan.

- Frekuensi (f)

Frekuensi adalah banyaknya getaran yang terjadi dalam kurun waktu satu detik. Rumus frekuensi adalah jumlah getaran dibagi jumlah detik waktu . frekuensi memiliki satuan hertz/ hz . sedangkan getaran adalah gerakan

bolak balik yang ada di sekitsar titik keseimbangan dimana kuat lemahnya dipengaruhi besar kecilnya energi yang di berikan. Satu getaran frekuensi adalah satu kali gerak bolak-balik penuh. Besar frekuensi yang digunakan merupakan frekuensi resonansi. Frekuensi resonansi adalah frekuensi yang saling menguatkan sehingga jika kerja dilakukan pada frekuensi ini maka system akan berjalan secara optimal. Frekuensi resonansi tergantung dari panjang tabung, biasanya bentuk tabung seragam dan diameter dari tabung itu sendiri tidak mempengaruhi frekuensi .

Untuk mendapatkan frekuensi dari resonator, maka diperlukan *microphone* yang disambungkan ke multimeter atau osiloskop tujuannya adalah kita dapat mengetahui output voltage, karena dari speaker yang kita sudah set keluarannya dari perangkat lunak *adobe audition 3.0* maka speaker akan mengeluarkan suara yang sudah kita set sebelumnya dan suara tersebut akan ditangkap oleh *microphone* yang sudah tersambung ke alat multimeter. Pada multimeter tersebut akan menunjukkan besar voltage yang ditangkap oleh *microphone* tersebut. Dari hasil tersebut kita dapat melihat frekuensi yang merupakan frekuensi resonansi, karena semakin besar voltage yang di tangkap maka frekuensi tersebut adalah frekuensi resonansi. Untuk lebih jelasnya mengenai skema pemilihan frekuensi lihatlah gambar dibawah ini



gambar 3. 1 pengambilan data frekuensi

Frekuensi dipilih sebagai variable utama dalam menentukan karakteristik termoakustik sederhana. Semakin besar frekuensi yang digunakan maka perolehan nilai *thermal penetration depth* juga semakin kecil. Kerja akustik adalah fungsi linear terhadap frekuensi resonansi akustik driver. Untuk mendapatkan frekuensi resonansi maka kita mengambil frekuensi sample rate dengan memilih frekuensi antara 100hz sampai 400 hz dengan kelipatan 100hz, karena hasilnya kita mendapatkan voltage terbesar diantara 100-300hz, maka kita menyempitkan pengambilan frekuensi sample rate dari 100 hz-300hz dengan kelipatan 10 hz, maka akan menghasilkan voltage terbesar diantara 100-150 dan juga 250-300 Hz, maka kita akan mengecilkan pengambilan frekuensi sample rate dari 100-150 & 250-300 Hz dengan kelipatan 1 Hz maka di dapat frekuensi 106Hz dan 275 Hz yang merupakan voltage terbesar. Lihat grafik dibawah ini



gambar 3. 2 grafik Voltage Vs frekuensi

- **Fluida kerja**

Fluida kerja yang kami pilih adalah udara biasa yang diperoleh dari lingkungan sekitar. Fluida ini kami jadikan sebagai fluida kerja di dalam tabung resonator yang mana akan dibangkitkan oleh kerja akustik yang dihasilkan dari speaker. Pertimbangan dalam pemilihan udara biasa adalah mempunyai kecepatan suara dan thermal conductivity yang cukup baik untuk alat termoakustik. Selain itu juga fluida kerja dengan udara biasa sangat mudah didapat dan tidak memerlukan perakitan dengan alat khusus. Berikut adalah properties dari udara:

 - a. Thermal conductivity : 0.26 mW/cm/K
 - b. Kecepatan suara : 344 m/s
- **Material *stack***

Bahan *stack* yang digunakan untuk membuat *stack* adalah bahan mika, fiber, dan ainvex dengan tebal sekitar 0.2 mm dan panjang berdasarkan eksperimen yaitu 10 dan 11 cm. sesuai pertimbangan yang sudah kita bahas di bab sebelumnya bahwa material dari *stack* harus mempunyai nilai thermal conductivity yang lebih rendah dari fluida kerja gas dan nilai heat

capaity yang lebih besar dari fluida gas kerja. Berikut adalah properties dari bahan *stack* yang kita peroleh:

o *Thermal conductivity mika* : 0,71 W/mk

o *Thermal conductivity fiber* : 0,2 W/mk

- Geometri *stack*

Pada perancangan ini kami menggunakan beberapa parameter yang sudah di tentukan antara lain adalah, tekanan rata-rata sebesar 1 atm, menggunakan fluida gas kerja berasal dari udara biasa sehingga dapat kita tentukan nilai thermal penetration depth dari *stack* yang kita buat berdasarkan persamaan berikut:

$$\delta_K = \sqrt{\frac{K}{\pi \rho f c_p}} \quad (3.1)$$

3.3 PARAMETER

3.3.2 Parameter proses

Tekanan rata-rata $P_m = 1 \text{ atm}$

Temperatur rata-rata $= 27^0 \text{ C} = 300\text{K}$

Frekuensi (f) pada 106 Hz

Panjang gelombang (1) $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{344}{106} = 3.24 \text{ m}$

3.3.2 Parameter gas kerja = udara

Thermal conductivity = $K = 0.026 \text{ W/mK}$

Ratio isobaric dan isohoric $\gamma = 1.4$

Sound velocity $v = 344 \text{ m/s}$

Gas density $\rho_m = 1.177 \text{ Kg/m}^3$

Heat capacity $C_p = 1006 \text{ J/Kg.K}$

Dynamic Viscosity of gas ; $\mu = 1.78 \times 10^{-5} \text{ Kg/m.s}$

3.3.3 Parameter design stack

δ_K dengan frekuensi 106 Hz

$$\pi = 3.142857$$

Thermal conductivity = $K = 0.026$ W/mK

Sound velocity $v = 344$ m/s

Gas density $\rho = 1.177$ Kg/m³

Heat capacity $C_p = 1006$ J/Kg.K

Thermal penetration depth :

$$\delta_K = \sqrt{\frac{K}{\pi \rho f c_p}} \quad (3.2)$$

$$\delta_K = \sqrt{\frac{0.026}{3.142857 \times 1.177 \times 106 \times 1006}}$$

$$\delta_K = \sqrt{0.0659123}$$

$$\delta_K = 0.256734 \text{ mm}$$

Jarak antar layer optimum yaitu $2.5-4 \delta_K$

Maka jarak antar plate yaitu $4\delta_K = 4 \times 0.256734 = 1.02693792$ mm

Posisi *stack* x_s pada tabung resonator berada di :

$$\lambda/20 = 3.24/20 = 16.2 \text{ cm}$$

Maka posisi dan panjang mengikuti gambar di bawah ini

gambar 3. 3 erna panjang *stack* (L_s) dan posisi *stack* (X_s) [11]

3.3.1 Tabung resonator

1. Tabung dengan diameter uniform. Tabung resonator dirancang dengan dua sisi ujung tertutup. Tabung tersebut berukuran 1 ¼ inci atau 35.8 mm dengan ketebalan sebesar 2.8 mm. bahan dasar tabung resonator ini adalah PVC (*Polyvinyl chloride*).

gambar 3. 4 Rancangan tabung resonator beserta box speaker

2. Tabung dengan diameter uniform. Tabung resonator dirancang dengan dua sisi ujung tertutup. Tabung tersebut berukuran 1 ¼ inci atau 35.8 mm dengan ketebalan sebesar 2.8 mm. bahan dasar tabung resonator ini adalah PVC (*Polyvinyl chloride*) sepanjang 60cm dan di sambungkan dengan tabung tembaga yang berdiameter sama tujuannya agar heatpipe dapat digunakan pada tabung tembaga.

3.4 KONSTRUKSI DAN SKEMA PENGUJIAN

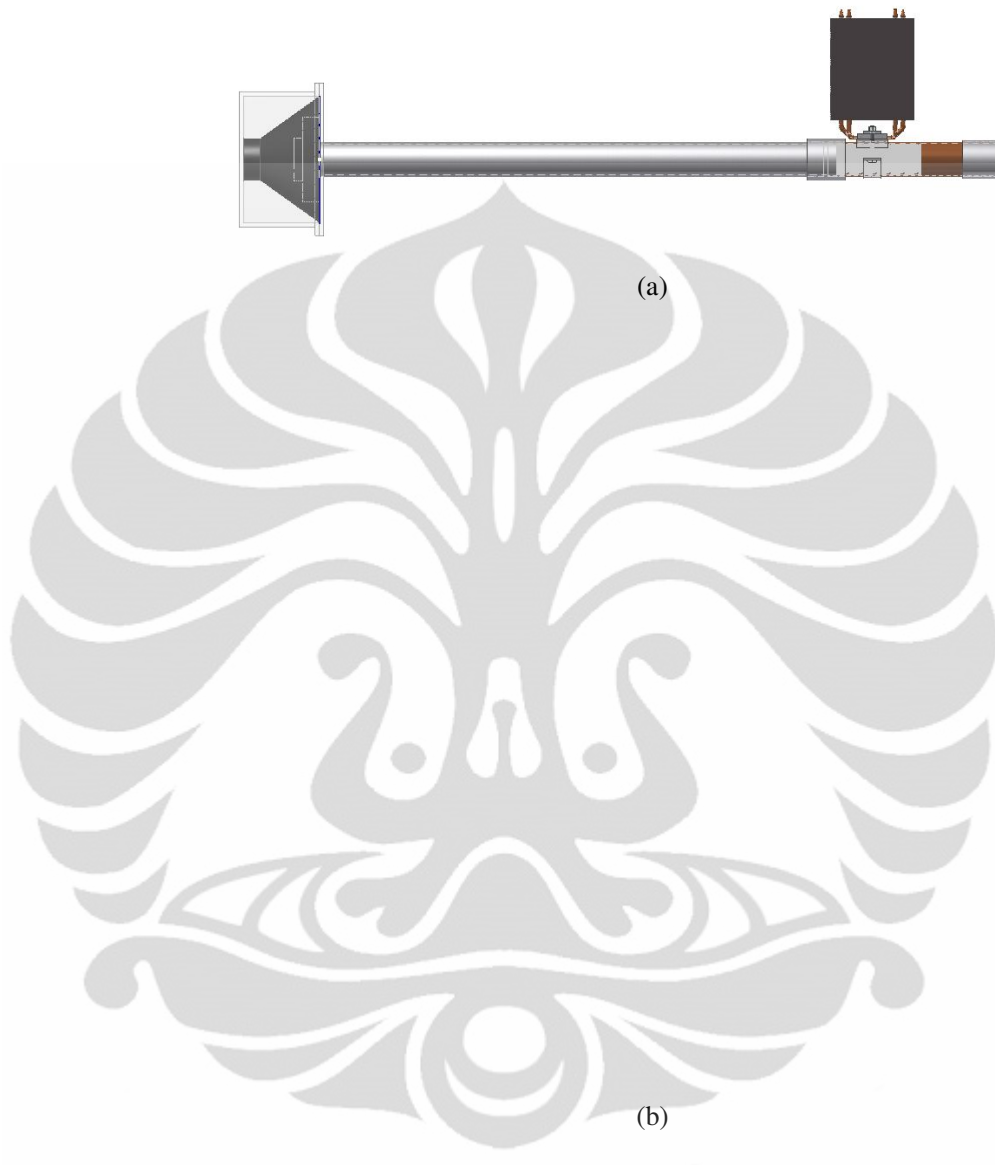
3.4.1 Skema Pengujian

1. Skema pengujian pertama yaitu dengan konstruksi alat standar tanpa *heatpipe*, dengan Tabung dengan diameter uniform. Tabung resonator dirancang dengan dua sisi ujung tertutup. Tabung tersebut berukuran 1 ¼ inci atau 35.8 mm dengan ketebalan sebesar 2.8 mm. bahan dasar tabung resonator ini adalah PVC (*Polyvinyl chloride*).



gambar 3. 5 (a) & (b) konstruksi dan skema pengujian alat

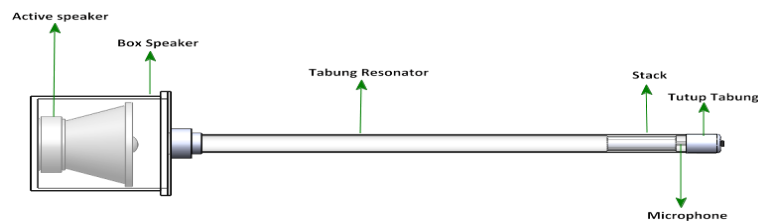
2. Skema pengujian yang kedua adalah menggunakan *heatpipe* dan Tabung dengan diameter uniform. Tabung resonator dirancang dengan dua sisi ujung tertutup. Tabung tersebut berukuran $1 \frac{1}{4}$ inci atau 35.8 mm dengan ketebalan sebesar 2.8 mm. bahan dasar tabung resonator ini adalah PVC (*Polyvinyl chloride*) sepanjang 60cm dan di sambungkan dengan tabung tembaga yang berdiameter sama tujuannya agar *heatpipe* dapat digunakan pada tabung tembaga.



gambar 3. 6(a) & (b) konstruksi dan skema pengujian alat

3.4.2 Konstruksi

- 1 Tabung resonator
 1. Tabung resonator pertama



gambar 3. 7 Bagian-bagian tabung resonator dan tutup speaker

Tabung resonator terbuat dari bahan *PVC (Polyvinyl chloride)* dengan diameter $1 \frac{1}{4}$ inc atau 35.8mm.

2. Tabung resonator kedua

Tabung resonator terbuat dari bahan *PVC (Polyvinyl chloride)* dengan diameter $1 \frac{1}{4}$ inch atau 35.8 mm. dan tembaga dengan diameter $1 \frac{1}{4}$ inch.

2 *Box speaker*

Box speaker terbuat dari *acrylic* dengan ketebalan dinding sebesar 10mm alat ini dirangkai dengan bantuan celipper kecil sebagai pengunci anrar penutup speaker. Cara merangkai tutup speaker ini dibutuhkan ketelitian agar tidak ada kebocoran dan spresisi mungkin agar suara yang dibangkitkan dari *amplifier* dengan penyetelan suara dari bantuan komputer.

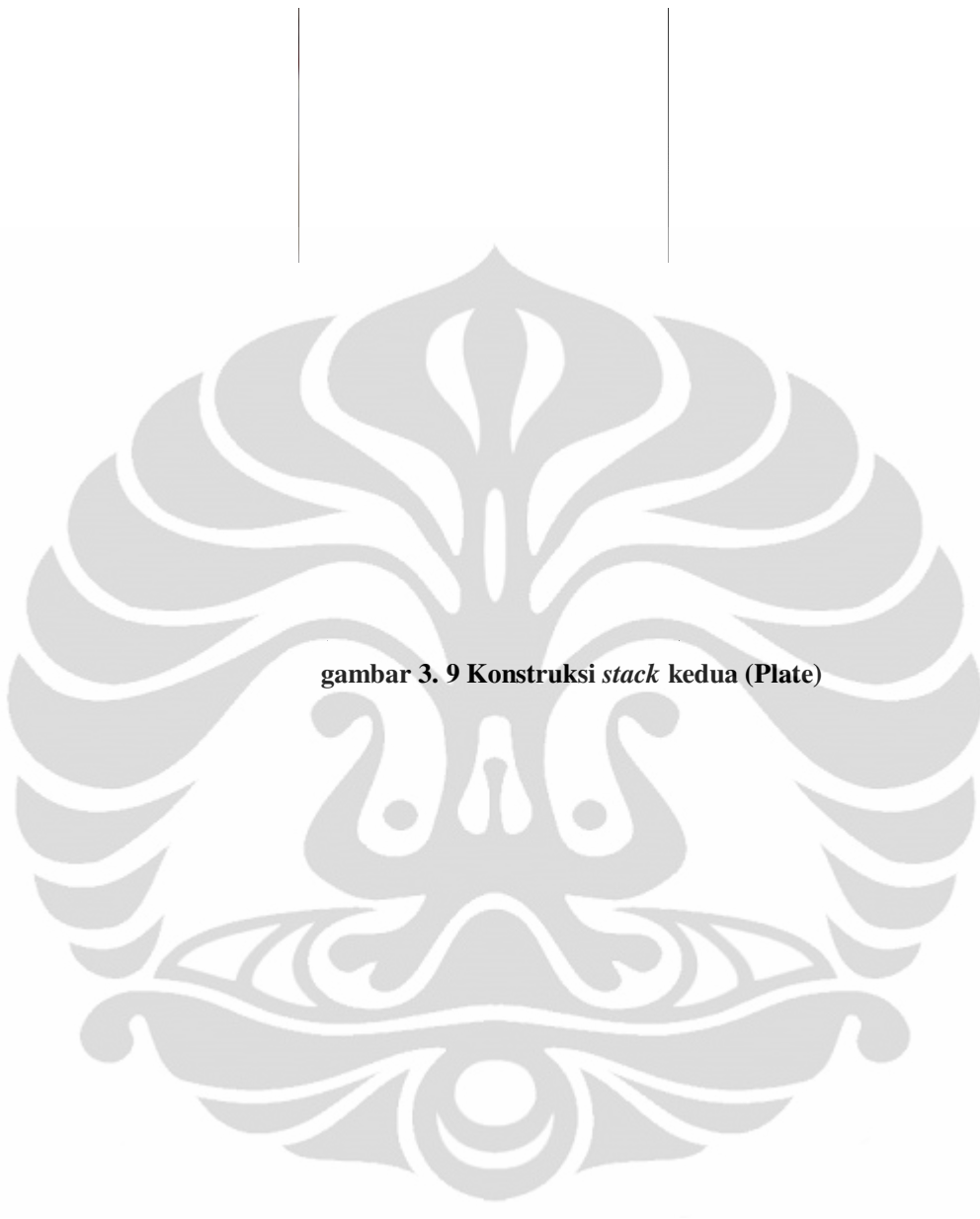
3 Konstruksi *stack*

1. *Stack* terbuat dari plastic mica dan plastic fiber, jika pada plastic fiber kita menggunakan metode penggulangan, plastic mica diberi garis dan direkatkan benang pancing sepanjang plastic mica tersebut fungsinya bila kita gulung mica, benang pancing itu untuk sebagai pemberi jarak (*thermal penetration depth*) dengan ukuran selama 1 mm, lebih jelasnya lihat gambar dibawah ini



gambar 3. 8 Konstruksi *stack* pertama (Gulungan)

2. *Stack* terbuat dari *ainvex* yang dipotong berbentuk lembaran-lembaran yang bertumpuk mengikuri bentuk dari diameter tabung resonansi, lembaran-lembaran tersebut dilekatkan benang-benang pancing sepanjang *stack* tersebut lalu disusun. Guna benang tersebut adalah sebagai pemberi jarak antara lembaran-lembaran *ainvex* dan jarak-jarak tersebut yang disebut dengan *thermal penetration depth*, lebih jelasnya lihat gambar dibawah ini



gambar 3. 9 Konstruksi *stack* kedua (Plate)

BAB 4

PENGUJIAN

Pada bab ini akan dibahas bagaimana melakukan setup terhadap alat termoakustik sederhana yang sudah dirancang. Selain itu juga kami melakukan beberapa pengaturan ulang terhadap jenis suara yang dipakai agar hasil pengujian maksimal

4.1 CARA KERJA TERMOAKUSTIK

Termoakustika (termoakustiks) adalah suatu bidang yang berhubungan dengan fenomena fisis di mana perbedaan suhu dapat membangkitkan gelombang bunyi, dan sebaliknya gelombang bunyi dapat menghasilkan perbedaan suhu. Gelombang bunyi di dalam gas mengandung efek perubahan tekanan dan gerak, dan temperatur. Bila bunyi merambat dalam ruangruang kecil, maka kalor (heat) yang bergerak juga akan mengalir ke dan dari dindingdinding ruang. Gabungan semua gerakan ini akan menghasilkan fenomena atau efek termoakustik. Alat yang digunakan untuk menimbulkan efek termoakustik disebut sebagai piranti termoakustik

Alat Termoakustik ini dirancang berbentuk tabung resonator yang terdiri dari tiga bagian utama seperti yang terlihat pada gambar 4.1, yaitu speaker sebagai sumber suara, tabung resonator tempat udara / gas dimampatkan, dan *stack* yang memisahkan dua ruangan dalam resonator yang mengalami perbedaan temperatur. *Stack* dirancang seperti jalurjalur kecil tempat merambatnya suara dan kalor. Arah aliran *stack* dibuat sejajar dengan arah sumbu panjang resonator *Stack* bertujuan untuk menghasilkan gradien temperatur disepanjang arah pergerakan gas.

gambar 4. 1 Contoh Sederhana Sistem Termoakustik

Di dalam tabung resonator di bagian heatside, tekanannya akan mengalami peningkatan sehingga dari sifat adiabatis gas, temperaturnya pun ikut mengalami kenaikan. Sebaliknya, pada sisi cold side tekanannya berkurang akibat gas yang ada disisi ini di dorong ke sisi heatside, dan suhu di coldside pun akan turun. Teori ini, bisa menjelaskan kenapa osilasi suhu bisa terjadi selama pergerakan gelombang suara terjadi di dalam tabung resonator.

Proses pemompaan kalor secara termoakustik bisa dilukiskan oleh Gambar 4.2. Saat gelombang akustik menyebabkan gas di dalam *stack* bergerak ke bagian heatside, gas akan termampatkan dan tekanan meningkat. Gas yang termampatkan ini akan lebih panas dibanding dinding *stack* yang ada di dekatnya sehingga ia melepaskan kalor ke *stack* dan volume gas tersebut menyusut. Saat gelombang suara melanjutkan siklusnya, gas bergerak kembali ke coldside di mana tekanannya lebih rendah, dalam hal ini gas menjadi lebih renggang dan lebih dingin dari pada dinding *stack* di dekatnya, sehingga ia menyerap kalor dari dinding *stack* dan mengembang. Siklus ini terus berulang dan efeknya adalah transfer kalor dari bagian dingin ke bagian panas *stack*.



gambar 4. 2 Proses Kerja sistem Termoakustik dalam Resonator [15]

Gambar 4.2 menjelaskan siklus pendinginan atau pemompaan kalor secara termoakustik. Pada saat sumber suara menghasilkan gelombang, maka gas yang ada dalam *stack* akan bergerak dari sisi panas menuju sisi dingin, sehingga tekanan di *heatside* akan mengalami peningkatan. Gas yang termampatkan ini akan memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan gas di sekitar *stack*, hingga dia akan melepaskan kalor ke *stack* dan volumenya akan menyusut. Ketika suara melanjutkan siklus putaranya, bergerak dari sisi panas ke sisi dingin, maka gas akan bergerak sisi dingin yang tekanannya lebih rendah. Akibat rendahnya tekanan, temperatur gas lebih rendah dibanding *stack*, sehingga gas akan menyerap kalor dari *stack*. Siklus ini terjadi berulang terus menerus dan menghasilkan efek transfer kalor dari bagian dingin ke bagian panas

4.2 SET-UP PENGUJIAN

Berikut ini adalah proses dan alat-alat yang digunakan pada saat meng set-up sebuah system termoakustik

1. Pemilihan jenis suara

Jenis suara yang dipilih adalah suara monotone yang diatur pada frekuensi 106 hz . suara ini dihasilkan oleh software yang kita gunakan

2. **Speaker aktif 80 watt 6 Ohm**
Speaker aktif berfungsi sebagai pembangkit suara yang dijadikan sebagai kerja akustik. Alat penguat suara ini merupakan tipe penguat suara stereo. Performa speaker sangat mempengaruhi performa termoakustik khususnya perbedaan tekanan dan temperatur.
3. **Software Adobe Audition 3.0**
Berfungsi sebagai program lunak pada computer untuk mengatur tingkatan frekuensi yang dibutuhkan pada suara monotone yang kita jadikan sebagai kerja akustik. Dengan adanya program ini kita memperoleh banyak kemudahan mulai dari melihat pengaruh besar frekuensi terhadap perbedaan temperatur dan juga dapat dengan mudah memilih serta mengatur suara yang dijadikan sumber kerja akustik.
4. **Amplifier**
Alat ini berfungsi sebagai penguat sinyal dari computer ke output yaitu speaker aktif 80 Watt. Amplifier jenis AC ini memiliki daya maksimum yang dapat dibangkitkan oleh amplifier rakitan ini adalah sebesar 80 Watt.

gambar 4. 3 Amplifier



gambar 4. 4 Skema amplifier rakit sederhana

Keterangan skema rangkaian:

- Main supply, Source power utama 220 volt . Diberikan Transformer step down hingga source tegangan menjadi 18 Volt.
- Line in, sumber signal audio yang kemudian akan di amplify
- Tone Control, berguna sebagai pengatur ataupun pengolah signal, pada rangkaian terdapat master volume, pengatur treble, bass dan balancing. Hal terpenting dalam pengaturan ini adalah pengaturan dari frekuensi signal.
- Differential, Pada rangkaian differential, bisa mendapatkan informasi impedansi input, selain itu juga menghitung penguatan signal.

- Feedback, umpan balik negative yang pasti terjadi disetiap rangkaian elektronika, dalam rangkaian dimanfaatkan sebagai penguat tegangan.
- Power Amp, penghasil daya amplifier yang dibutuhkan, sesuai yang diinginkan ,Komponen utama dalam rangkaian adalah power transistor. Pada rangkaian digunakan power transistor NPN jenis TIP 2955 dan 3055.
- Line Out , keluaran melalui speaker .

5. Heat Pipe

gambar 4. 5 Heat pipe Cooler Master Hyper 212 plus

gambar 4. 6 Skema amplifier rakit sederhana Heat pipe Cooler Master Hyper 212 plus

Heat pipe ini adalah sebagai elemen yang berfungsi untuk membuang panas yang dikeluarkan oleh elemen peltier untuk dibuang

ke lingkungan. Berikut ini adalah sedikit spesifikasi untuk heat pipe Cooler Master Hyper 212plus ini:

- Dimension : 120 x 79.7 x 158.5 mm
- Weight : 626 gr
- Heat Sink Material : Alumunium fin
- Heatpipes : 4 pcs
- Fan Dimension : 120 x 120 x 25 mm
- Fan Speed : 600 – 2000rpm
- Fan Airflow : 21.2 – 76.8

6. Kipas elektrik

Sistem Termoakustik ini menggunakan sebuah kipas elektrik. Kipas elektrik ini berfungsi sebagai pembuat aliran udara pada sisi *Stack*. Berikut ini spesifikasi kipas elektrik :

- Merk : NIDEC TA450DC model B32347
- Flow rate : 60 CFM
- Input power : 2.4 W
- Diameter : 12 cm

gambar 4. 7 Dimensi kipas pendingin (sumber : nidec)

7. Termokopel

Termokopel adalah alat berupa kabel yang berfungsi sebagai sensor pengukuran temperatur yang digunakan baik dalam proses pengujian performa termoakustik sederhana yang kita buat. Tipe termokopel yang digunakan adalah termokopel tipe K yang memiliki rentang pengukuran antara 200 sampai dengan 1200 derajat.



gambar 4. 8 Termokopel

8. Modul National Instrument

Modul yang digunakan adalah modul NI tipe 9211 yang memiliki 4 channel untuk termokopel. Modul tipe ini memungkinkan untuk mendapatkan laju pengambilan data yang lebih cepat.



gambar 4. 9 Modul NI 9211

9. National Instrument data acquisition

NI DAQ yang digunakan adalah tipe chassis cDAQ-9174 NI compact DAQ dengan 4 slot untuk modul NI

gambar 4. 10 chassis cDAQ-9174 NI

4.3 LANGKAH-LANGKAH PENGATURAN

1. Awal-awal kita hidupkan semua ala-talat yang diperlukan yakni computer, aturan national Instrument, amplifier, dan atur variable frekuensi melalui software adobe audition 3.0
2. Memasang kabel yang menghubungkan dari speaker, amplifier, alat uji dan ke computer sebagai main device.
3. Hidupkan suara pada program adobe audition 3.0 dan atur frekuensi pada 106 hz.
4. Hidupkan program Lab View sebagai penghubung National Instrument device. Atur segala keperluan yang dibutuhkan untuk proses pengambilan data saat pengujian berlangsung.
5. Posisikan volome pada amplifier pada kondisi maksimal.
6. Pastikan jika semua sudah siap dilakukan pengujian terlebih dahulu kondisi temperatur dalam keadaan stabil.
7. Lakukan dari langkah 3 setiap kali mengambil data dengan posisi *stack* yang berbeda
8. Untuk pengambilan data menggunakan heatpipe, jalankan heatpipe pada waktu mulai pengambilan data pada menit pertama

4.4 PENGUJIAN

Pada pengujian ini kita akan melihat hasil dan prestasi dari sebuah alat termoakustik sederhana yang telah kita rancang. Pada pengujian ini akan diperoleh hasil dalam bentuk table dan grafik tentang pengaruh besar

frekuensi terhadap perbedaan temperatur di kedua ujung *stack* dalam hitungan waktu tertentu. Waktu yang dibutuhkan dalam tiap peletakan posisi *stack* adalah selama 30 menit.

Langkah-langkah Pengujian

1. Masukkan termokopel pada tabung resonator sebelum termoakustik dinyalakan. Arahkan atau tempatkan termokopel pada kedua ujung *stack*. Satu di ujung *stack* dan satu lagi diujung *stack* lainnya. Satu termokopel kita taruh di luar tabung untuk mengetahui suhu lingkungan saat pengujian sebagai pembanding.
2. Hidupkan semua alat yang dibutuhkan. Atur amplifier pada volume maksimum. Tunggu beberapa saat agar suhu mulamula bernilai sama pada kedua sisi ujung *stack*.
3. Perhatikan hasil penampakan temperatur pada kedua ujung *stack* yang telah ditempatkan termokopel melalui program Lab View.
4. Atur besar frekuensi yang kita pilih dengan menggunakan program adobe audition 3.0
5. Hidupkan suara yang ingin dijadikan sebagai kerja akustik (suara monotone).
6. Perubahan temperatur terhadap waktu akan tercatat secara otomatis dengan bantuan program Lab view. Simpan data tersebut selama proses pengujian berjalan sampai waktun yang kita tentukan (30 menit)
7. Untuk resonator menggunakan heatpipe, heatpipe dijalankan pada waktu memuali pengambilan data pada menit pertama.

BAB 5 HASIL DAN ANALISA

Pada bab ini akan membahas hasil dari beberapa pengujian termoakustik sederhana yang sudah dibuat. Seperti yang sudah kita ketahui bahwa hasil dari pengujian yang dilakukan adalah dalam bentuk grafik. Grafik tersebut akan menggambarkan hasil perubahan suhu pada kedua model *stack*. Dan penambahan sistem pendingin *Heat Pipe* pada sistem termoakustik.

5.1 GRAFIK DAN ANALISA TERMOAKUSTIK DENGAN MODEL *STACK* GULUNGAN / *ROLL* PADA PANJANG *STACK* 10 CM DENGAN FREKUENSI 106 SERTA $\delta_K = 1$ MM

5.1.1 Posisi *stack* pada x_s 10 cm

gambar 5. 1 *stack* dengan konfigurasi $L_s = 10$ cm $f=106$ hz $\delta_K = 1$ mm x_s 10 cm

Grafik diatas adalah hasil pengujian ketiga pada termoakustik yang dirancang. Pengujian dilakukan pada temperatur 29.83°C . pada temperatur tersebut menjadi titik awal temperatur cold dan temperatur hot. Setelah itu suara dihidupkan dengan volume amplifier maksimal. Pengaturan suara monotone pada frekuensi sample rate sebesar 106Hz pada program *adobe audition 3.0* . pada menit ke 10 setelah dihidupkan maka terlihat besar temperatur panas naik hingga mendekati 33.97°C dan pada temperatur dingin turun mencapai temperatur 28.47°C . Memasuki menit ke 20, temperatur sisi panas tnaik ke temperatur 34.81°C dengan temperatur sisi dingin naik pada temperatur 29.06°C . Setelah memasuki rentang waktu yang diinginkan yaitu 30 menit, sisi panas terus naik hingga pada temperatur 35.16°C dan temperatur sisi dingin turun terus hingga 29.28°C , sehingga perbedaan temperatur sisi panas dan sisi dingin sebesar 5.93°C . Dari hasil grafik ini dapat kita analisa bahwa temperatur pada sisi panas menurun tetapi setelah itu berangsur naik lagi, Sedangkan temperatur pada sisi dingin terlihat menurun dengan normal hingga mencapai menit ke 5 temperatur sisi dingin naik sampai akhirnya di menit ke 30 mencapai kestabilan. Dari analisa terlihat bahwa pada Sistem termoakustik ini terjadi kompresi antara gelombang suara dan udara yang berada di dalam kanal-kanal *stack* dan panas dibuang ke sisi panas sehingga temperatur di sisi panas terus naik namun kompresi ini sempat tidak terjadi namun berangsur melakukan kompresi lagi setelah itu. Sistem ini juga melakukan ekspansi ke arah sisi dingin sehingga temperatur di sisi dingin juga ikut menurun namun pada menit ke 5 sistem ini berhenti ber-ekspansi hingga sampai waktu yang ditetapkan, tetapi pada percobaan kali ini memenuhi kreteria termoakustik.

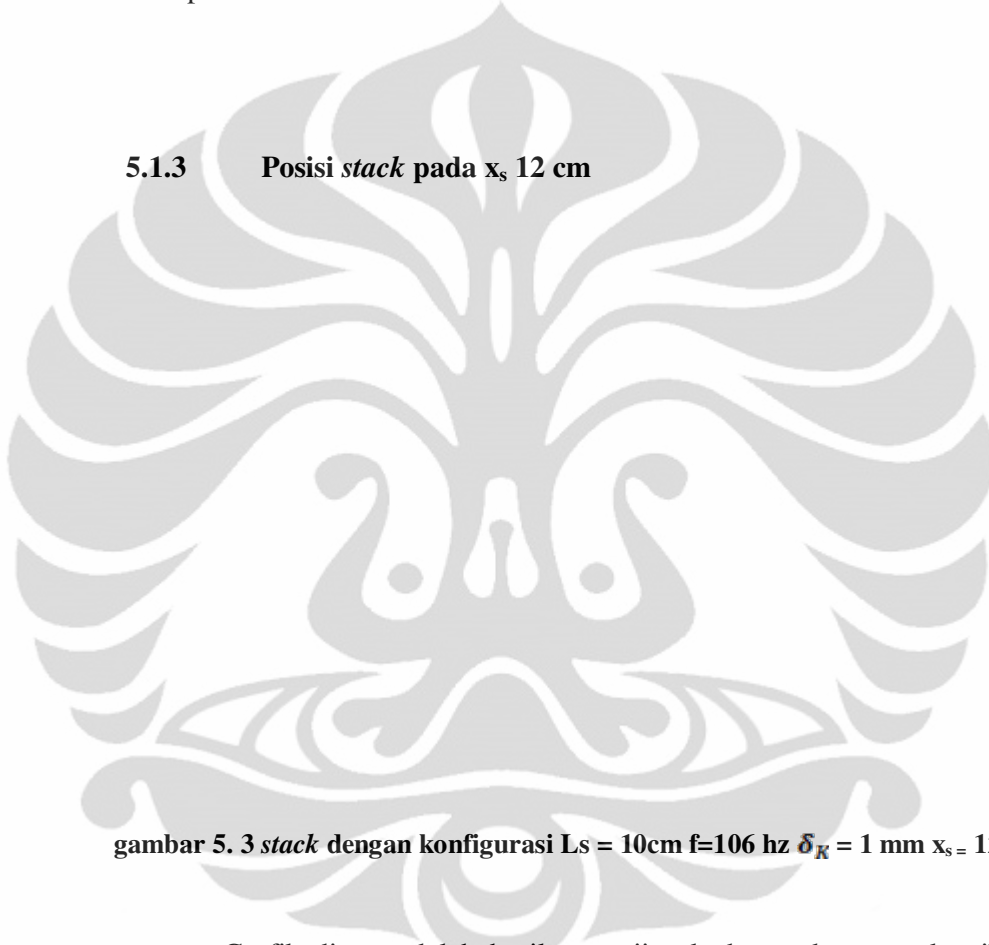
5.1.2 Posisi *stack* pada x_s 11 cm

gambar 5. 2 *stack* dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ Hz}$ $\delta_K = 1\text{ mm}$ $x_s = 11\text{ cm}$

Grafik diatas adalah hasil pengujian kedua pada termoakustik yang dirancang. Pengujian dilakukan pada temperatur 31.25°C . pada temperatur tersebut menjadi titik awal temperatur cold dan temperatur hot. Setelah itu suara dihidupkan dengan volume amplifier maksimal. Pengaturan suara monotone pada frekuensi sample rate sebesar 106 Hz pada program *adobe audition 3.0* . pada menit ke 10 setelah dihidupkan maka terlihat besar temperatur sisi panas naik hingga mendekati 35.30°C dan pada temperatur dingin turun mencapai temperatur 29.27°C . Memasuki menit ke 20, temperatur sisi panas turun pada 35.63°C dengan temperatur sisi dingin turun lagi pada temperatur 29.64°C . Setelah memasuki rentang waktu yang diinginkan yaitu 30 menit, sisi panas terus turun hingga pada temperatur 36.25°C dan temperatur sisi dingin turun terus hingga 30.11°C , sehingga perbedaan temperatur sisi panas dan sisi dingin sebesar 6.16°C . Dari hasil grafik ini dapat kita analisa bahwa temperatur pada sisi panas berubah fluktuatif ke arah peningkatan temperatur. Dari analisa terlihat bahwa pada Sistem termoakustik ini terjadi kompresi antara gelombang suara dan udara yang berada di dalam kanal-kanal *stack* dan panas dibuang ke sisi panas sehingga temperatur di

sisi panas terus naik dan Sistem ini juga melakukan ekspansi ke arah sisi dingin sehingga temperatur di sisi dingin juga ikut menurun namun ekspansi ini hanya berlangsung hingga menit ke 5 setelah itu pada sisi dingin cenderung naik ke arah kenaikan temperatur. Tetapi pada percobaan kali ini memenuhi kriteria termoakustik.

5.1.3 Posisi *stack* pada x_s 12 cm



gambar 5. 3 *stack* dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta_K = 1\text{ mm}$ $x_s = 12\text{ cm}$

Grafik diatas adalah hasil pengujian kedua pada termoakustik yang dirancang. Pengujian dilakukan pada temperatur $31.09\text{ }^{\circ}\text{C}$. pada temperatur tersebut menjadi titik awal temperatur cold dan temperatur hot. Setelah itu suara dihidupkan dengan volume amplifier maksimal. Pengaturan suara monotone pada frekuensi sample rate sebesar 106 Hz pada program *adobe audition 3.0* . pada menit ke 10 setelah dihidupkan maka terlihat besar temperatur panas naik hingga mendekati 34.05°C dan pada temperatur dingin turun mencapai temperatur 28.59°C . Memasuki menit ke 20, temperatur sisi panas fluktuatif pada kisaran 34.05°C

dengan temperatur sisi dingin turun lagi pada temperatur 27.80°C . Setelah memasuki rentang waktu yang diinginkan yaitu 30 menit, sisi panas menurun hingga pada temperatur 33.73°C dan temperatur sisi dingin turun terus hingga 27.43°C , sehingga perbedaan temperatur sisi panas dan sisi dingin sebesar 6.32°C . Dari hasil grafik ini dapat kita analisa bahwa temperatur yang lebih besar berada di sisi panas dan temperatur di sisi dingin temperatur menjadi lebih rendah dari titik permulaan walaupun temperatur pada sisi dingin berfluktuasi naik turun dan akhirnya pada menit ke 30 terlihat grafik di sisi panas dan di sisi dingin sudah mencapai kestabilan. Dari analisa terlihat bahwa pada Sistem termoakustik ini terjadi kompresi antara gelombang suara dan udara yang berada di dalam kanal-kanal *stack* dan panas dibuang ke sisi panas sehingga temperatur di sisi panas terus naik dan Sistem ini juga melakukan ekspansi ke arah sisi dingin sehingga temperatur di sisi dingin juga ikut menurun sehingga pada percobaan kali ini memenuhi kriteria termoakustik.

5.1.4 Posisi *stack* pada x_s 13 cm

gambar 5. 4 *stack* dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta_K = 1\text{ mm}$ x_s 13 cm

Grafik diatas adalah hasil pengujian kedua pada termoakustik yang dirancang. Pengujian dilakukan pada temperatur 29.15 °C. pada temperatur tersebut menjadi titik awal temperatur cold dan temperatur hot. Setelah itu suara dihidupkan dengan volume amplifler maksimal. Pengaturan suara monotone pada frekuensi sample rate sebesar 106 Hz pada program *adobe audition 3.0* . pada menit ke 10 setelah dihidupkan maka terlihat besar temperatur panas naik hingga mendekati 32.96⁰C dan pada temperatur dingin turun mencapai temperatur 27.22⁰C. Memasuki menit ke 20, temperatur sisi panas naik melebihi 32.87⁰C dengan temperatur sisi dingin turun lagi pada temperatur 26.29⁰C. Setelah memasuki rentang waktu yang diinginkan yaitu 30 menit, sisi panas terus naik hingga pada temperatur 32.65⁰C dan temperatur sisi dingin turun terus hingga 26.43⁰C, sehingga perbedaan temperatur sisi panas dan sisi dingin sebesar 6.64⁰C. Dari hasil grafik ini dapat kita analisa bahwa temperatur pada sisi panas terus naik hingga mencapai menit ke -17 temperatur pada sisi ini mulai menurun sedangkan pada sisi naik temperatur menurun secara fluktuatif. Dari analisa terlihat bahwa pada Sistem termoakustik ini terjadi kompresi antara gelombang suara dan udara yang berada di dalam kanal-kanal *stack* dan panas dibuang ke sisi panas sehingga temperatur di sisi panas terus naik namun pada menit ke 17 tidak terjadi kompresi lagi sehingga temperatur di sisi panas terus menurun dan Sistem ini juga melakukan ekspansi ke arah sisi dingin sehingga temperatur di sisi dingin juga ikut menurun sehingga pada percobaan kali ini memenuhi kreteria termoakustik.

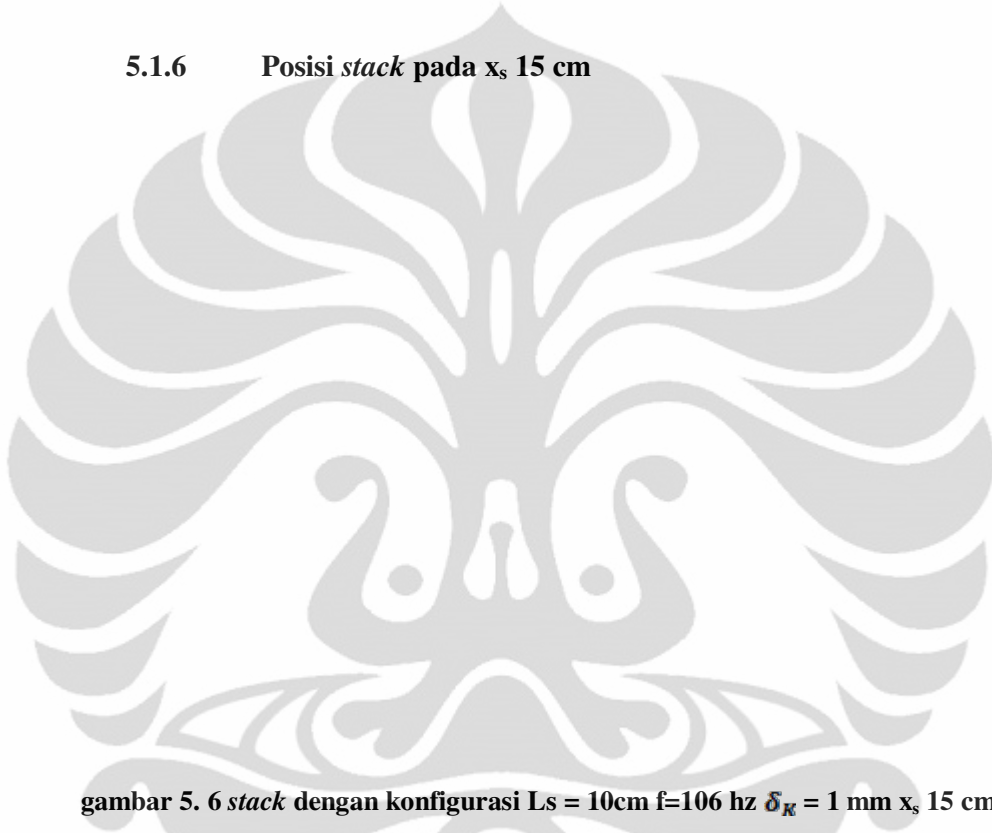
5.1.5 Posisi *stack* pada x_s 14 cm

gambar 5. 5 *stack* dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta_K = 1\text{ mm}$ x_s 14 cm

Grafik diatas adalah hasil pengujian kedua pada termoakustik yang dirancang. Pengujian dilakukan pada temperatur $28.57\text{ }^{\circ}\text{C}$. pada temperatur tersebut menjadi titik awal temperatur cold dan temperatur hot. Setelah itu suara dihidupkan dengan volume amplifier maksimal. Pengaturan suara monotone pada frekuensi sample rate sebesar 106 Hz pada program *adobe audition 3.0* . pada menit ke 10 setelah dihidupkan maka terlihat besar temperatur panas naik hingga mendekati 32°C dan pada temperatur dingin turun mencapai temperatur $23.91\text{ }^{\circ}\text{C}$. Memasuki menit ke 20, temperatur sisi panas naik melebihi 31.89°C dengan temperatur sisi dingin turun lagi pada temperatur 22.97°C . Setelah memasuki rentang waktu yang diinginkan yaitu 30 menit, sisi panas terus naik hingga pada temperatur 31.5°C dan temperatur sisi dingin turun terus hingga 22.41°C , sehingga perbedaan temperatur sisi panas dan sisi dingin sebesar 9.09°C . Dari analisa terlihat bahwa pada Sistem termoakustik ini terjadi kompresi antara gelombang suara dan udara yang berada di dalam kanal-kanal *stack* dan panas dibuang ke sisi panas sehingga temperatur di sisi panas terus naik namun pada menit ke 15

tidak terjadi kompresi lagi sehingga temperatur di sisi panas terus menurun dan Sistem ini juga melakukan ekspansi ke arah sisi dingin sehingga temperatur di sisi dingin juga ikut menurun sehingga pada percobaan kali ini memenuhi kreteria termoakustik.

5.1.6 Posisi *stack* pada x_s 15 cm



gambar 5. 6 *stack* dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta_K = 1\text{ mm}$ x_s 15 cm

5.2 Grafik diatas adalah hasil pengujian pertama pada termoakustik yang dirancang. Pengujian dilakukan pada temperatur 28.56 °C. pada temperatur tersebut menjadi titik awal temperatur cold dan temperatur hot. Setelah itu suara dihidupkan dengan volume amplifier maksimal. Pengaturan suara monotone pada frekuensi sample rate sebesar 106 Hz pada program *adobe audition 3.0* . pada menit ke 10 setelah dihidupkan maka terlihat besar temperatur panas naik hingga mendekati 31.81°C dan pada temperatur dingin turun mencapai temperatur 24.47°C. Memasuki menit ke 20, temperatur sisi panas naik melebihi 31.87°C dengan temperatur sisi dingin turun lagi pada temperatur 24.08°C. Setelah

memasuki rentang waktu yang diinginkan yaitu 30 menit, sisi panas terus naik hingga pada temperatur 31.91 °C dan temperatur sisi dingin turun terus hingga 23.88 °C, sehingga perbedaan temperatur sisi panas dan sisi dingin sebesar 8.13°C. Dari hasil grafik ini dapat kita analisa bahwa temperatur yang lebih besar berada di sisi panas dan temperatur di sisi dingin temperatur menjadi lebih rendah dari titik permulaan walaupun temperatur pada sisi panas berfluktuasi naik turun begitu juga dengan temperatur pada sisi dingin, dan akhirnya pada menit ke 30 terlihat grafik di sisi panas naik tetapi pada sisi dingin sudah mencapai kestabilan. Dari analisa terlihat bahwa pada Sistem termoakustik ini terjadi kompresi antara gelombang suara dan udara yang berada di dalam kanal-kanal *stack* dan panas dibuang ke sisi panas sehingga temperatur di sisi panas terus naik dan Sistem ini juga melakukan ekspansi ke arah sisi dingin sehingga temperatur di sisi dingin juga ikut menurun sehingga pada percobaan kali ini memenuhi kriteria termoakustik.

5.2 GRAFIK DAN ANALISA TERMOAKUSTIK PADA *STACK PLATE* PANJANG *STACK* 10 CM DENGAN FREKUENSI 106 SERTA $\delta_K = 1$ MM

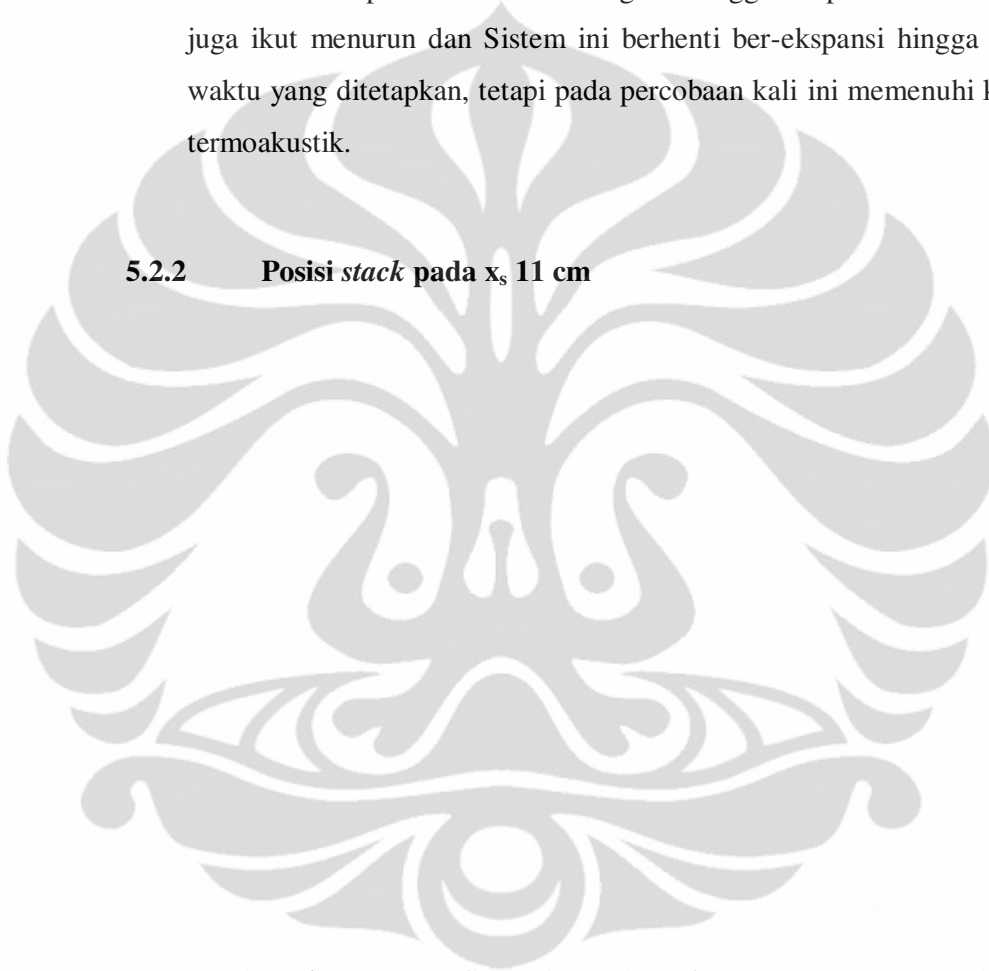
5.2.1 Posisi *stack* pada x_s 10 cm

gambar 5. 7 stack dengan konfigurasi $L_s = 10 \text{ cm}$ $f=106 \text{ hz}$ $\delta_R = 1 \text{ mm} \times 10 \text{ cm}$

Grafik diatas adalah hasil pengujian ketiga pada termoakustik yang dirancang. Pengujian dilakukan pada temperatur $27.47 \text{ }^\circ\text{C}$. pada temperatur tersebut menjadi titik awal temperatur cold dan temperatur hot. Setelah itu suara dihidupkan dengan volume amplifier maksimal. Pengaturan suara monotone pada frekuensi sample rate sebesar 106Hz pada program *adobe audition 3.0* . pada menit ke 10 setelah dihidupkan maka terlihat besar temperatur panas naik hingga mendekati 27.93°C dan pada temperatur dingin turun mencapai temperatur 25.30°C . Memasuki menit ke 20, temperatur sisi panas naik ke temperatur $27.51 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan temperatur sisi dingin turun pada temperatur 24.72°C . Setelah memasuki rentang waktu yang diinginkan yaitu 30 menit, sisi panas turun hingga pada temperatur 27.35°C dan temperatur sisi dingin turun terus hingga 27.35°C , sehingga perbedaan temperatur sisi panas dan sisi dingin sebesar 2.83°C . Dari hasil grafik ini dapat kita analisa bahwa temperatur pada sisi panas naik namun pada menit ke 5 temperatur beranjak turun hingga menit ke 30, Sedangkan temperatur pada sisi dingin terlihat menurun dengan normal sampai akhirnya di menit ke 30 mencapai kestabilan. Dari analisa terlihat bahwa pada Sistem termoakustik ini

terjadi kompresi antara gelombang suara dan udara yang berada di dalam kanal-kanal *stack* dan panas dibuang ke sisi panas sehingga temperatur di sisi panas terus naik namun kompresi ini tidak terjadi lagi pada menit ke 5 dengan ditandai dengan grafik yang menurun. Sistem ini juga melakukan ekspansi ke arah sisi dingin sehingga temperatur di sisi dingin juga ikut menurun dan Sistem ini berhenti ber-ekspansi hingga sampai waktu yang ditetapkan, tetapi pada percobaan kali ini memenuhi kriteria termoakustik.

5.2.2 Posisi *stack* pada x_s 11 cm



gambar 5. 8 *stack* dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta_K = 1\text{ mm}$ $x_s = 11\text{ cm}$

Grafik diatas adalah hasil pengujian kedua pada termoakustik yang dirancang. Pengujian dilakukan pada temperatur 27.58°C . pada temperatur tersebut menjadi titik awal temperatur cold dan temperatur hot. Setelah itu suara dihidupkan dengan volume amplifier maksimal. Pengaturan suara monotone pada frekuensi sample rate sebesar 106 Hz pada program *adobe audition 3.0* . pada menit ke 10 setelah dihidupkan maka terlihat besar temperatur sisi panas naik hingga mendekati 28.45°C

dan pada temperatur dingin turun mencapai temperatur 25.32°C . Memasuki menit ke 20, temperatur sisi panas naik pada 28.10°C dengan temperatur sisi dingin turun lagi pada temperatur 24.40°C . Setelah memasuki rentang waktu yang diinginkan yaitu 30 menit, sisi panas terus turun hingga pada temperatur 28.05°C dan temperatur sisi dingin menaik hingga 25.21°C , sehingga perbedaan temperatur sisi panas dan sisi dingin sebesar 3.72°C . Dari hasil grafik ini dapat kita analisa bahwa temperatur pada sisi panas berubah fluktuatif namun pada menit-menit akhir temperatur terus turun. keadaan yang sama juga terjadi pada sisi dingin yaitu temperatur sempat berada di temperatur 24.40°C yang juga merupakan titik dimana temperatur kembali naik. Dari analisa terlihat bahwa pada Sistem termoakustik ini terjadi kompresi antara gelombang suara dan udara yang berada di dalam kanal-kanal *stack* dan panas dibuang ke sisi panas sehingga temperatur di sisi panas terus naik namun fluktuatif. Sistem ini juga melakukan ekspansi ke arah sisi dingin sehingga temperatur di sisi dingin juga ikut menurun namun ekspansi ini hanya berlangsung hingga menit ke 20 setelah itu pada sisi dingin cenderung naik ke arah kenaikan temperatur. Tetapi pada percobaan kali ini memenuhi kriteria termoakustik.

5.2.3 Posisi *stack* pada x_s 12 cm

gambar 5. 9 *stack* dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta_K = 1\text{ mm}$ $x_s = 12\text{ cm}$

Grafik diatas adalah hasil pengujian kedua pada termoakustik yang dirancang. Pengujian dilakukan pada temperatur $29.99\text{ }^{\circ}\text{C}$. pada temperatur tersebut menjadi titik awal temperatur cold dan temperatur hot. Setelah itu suara dihidupkan dengan volume amplifier maksimal. Pengaturan suara monotone pada frekuensi sample rate sebesar 106 Hz pada program *adobe audition 3.0* . pada menit ke 10 setelah dihidupkan maka terlihat besar temperatur panas naik hingga mendekati $30.80\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan pada temperatur dingin turun mencapai temperatur $27.52\text{ }^{\circ}\text{C}$. Memasuki menit ke 20, temperatur sisi panas fluktuatif turun pada kisaran $30.69\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan temperatur sisi dingin turun lagi pada temperatur $27.05\text{ }^{\circ}\text{C}$. Setelah memasuki rentang waktu yang diinginkan yaitu 30 menit, sisi panas menurun hingga pada temperatur $30.48\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan temperatur sisi dingin turun terus hingga $26.72\text{ }^{\circ}\text{C}$, sehingga perbedaan temperatur sisi panas dan sisi dingin sebesar $3.79\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dari hasil grafik ini dapat kita analisa bahwa temperatur pada sisi panas naik hingga menit ke 11 setelah itu temperatur akan menurun secara fluktuatif. Pada sisi dingin temperatur menurun secara normal. Dari analisa terlihat bahwa pada

Sistem termoakustik ini terjadi kompresi antara gelombang suara dan udara yang berada di dalam kanal-kanal *stack* dan panas dibuang ke sisi panas sehingga temperatur di sisi panas terus naik namun pada menit 15 kompresi berhenti. Sistem ini juga melakukan ekspansi ke arah sisi dingin sehingga temperatur di sisi dingin juga ikut menurun sehingga pada percobaan kali ini memenuhi kreteria termoakustik.

5.2.4 Posisi *stack* pada x_s 13 cm



gambar 5. 10 *stack* dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta_x = 1\text{ mm}$ x_s 13 cm

Grafik diatas adalah hasil pengujian kedua pada termoakustik yang dirancang. Pengujian dilakukan pada temperatur $30.04\text{ }^{\circ}\text{C}$. pada temperatur tersebut menjadi titik awal temperatur cold dan termperatur hot. Setelah itu suara dihidupkan dengan volume amplifier maksimal. Pengaturan suara monotone pada frekuensi sample rate sebesar 106 Hz pada program *adobe audition 3.0* . pada menit ke 10 setelah dihidupkan maka terlihat besar temperatur panas naik hingga mendekati 31.5°C dan pada temperatur dingin turun mencapai temperatur 28.21°C . Memasuki

menit ke 20, temperatur sisi panas turun mencapai 31.29°C dengan temperatur sisi dingin turun lagi pada temperatur 27.88°C . Setelah memasuki rentang waktu yang diinginkan yaitu 30 menit, sisi panas turun hingga pada temperatur 30.82°C dan temperatur sisi dingin turun terus hingga 27.26°C , sehingga perbedaan temperatur sisi panas dan sisi dingin sebesar 3.68°C . Dari hasil grafik ini dapat kita analisa bahwa temperatur pada sisi panas terus naik hingga mencapai menit ke -9 temperatur pada sisi ini mulai menurun sedangkan pada sisi dingin temperatur menurun secara fluktuatif. Dari analisa terlihat bahwa pada Sistem termoakustik ini terjadi kompresi antara gelombang suara dan udara yang berada di dalam kanal-kanal *stack* dan panas dibuang ke sisi panas sehingga temperatur di sisi panas terus naik namun pada menit ke 9 tidak terjadi kompresi lagi sehingga temperatur di sisi panas terus menurun dan Sistem ini juga melakukan ekspansi ke arah sisi dingin sehingga temperatur di sisi dingin juga ikut menurun sehingga pada percobaan kali ini memenuhi kriteria termoakustik.

5.2.1 Posisi *stack* pada x_s 14 cm

gambar 5. 11 *stack* dengan konfigurasi $L_s = 10\text{cm}$ $f=106\text{ hz}$ $\delta_K = 1\text{ mm}$ x, 14 cm

Grafik diatas adalah hasil pengujian kedua pada termoakustik yang dirancang. Pengujian dilakukan pada temperatur 24.47 °C. pada temperatur tersebut menjadi titik awal temperatur cold dan temperatur hot. Setelah itu suara dihidupkan dengan volume amplifler maksimal. Pengaturan suara monotone pada frekuensi sample rate sebesar 106 Hz pada program *adobe audition 3.0* . pada menit ke 10 setelah dihidupkan maka terlihat besar temperatur panas naik hingga mendekati 28.23°C dan pada temperatur dingin naik mencapai temperatur 24.71 °C. Memasuki menit ke 20, temperatur sisi panas naik melebihi 28.72°C dengan temperatur sisi dingin turun pada temperatur 24.32°C. Setelah memasuki rentang waktu yang diinginkan yaitu 30 menit, sisi panas turun hingga pada temperatur 28.04°C dan temperatur sisi dingin turun terus hingga 23.62°C, sehingga perbedaan temperatur sisi panas dan sisi dingin sebesar 4.44°C. Dari analisa terlihat bahwa pada Sistem termoakustik ini terjadi kompresi antara gelombang suara dan udara yang berada di dalam kanal-kanal *stack* dan panas dibuang ke sisi panas sehingga temperatur di sisi panas terus naik namun pada menit ke 20 tidak terjadi kompresi lagi sehingga temperatur di sisi panas terus menurun dan Sistem ini dari

menit pertama hingga menit 10 tidak melakukan ekspansi ke arah sisi dingin sehingga temperatur di sisi dingin tidak ikut menurun tetapi setelah itu temperatur berangsur menurun.

5.3 GRAFIK DAN TABLE PERBANDINGAN MODEL *STACK ROLL* DAN *STACK PLATE*

Xs	ΔT_1		ΔT_2	
	<i>Roll</i>	<i>plate</i>	<i>Roll</i>	<i>plate</i>
10	5.93	2.83	1.36	2.92
11	6.16	3.72	2.37	3.21
12	6.32	3.79	3.66	3.28
13	6.64	3.68	3.00	2.78
14	9.09	4.44	6.16	0.86

tabel 5. 1 tabel perbandingan penggunaan *stack roll* dan *stack plate*

Keterangan table

- $\Delta T_1 = (T_{\text{panas}} - T_{\text{dingin}})_{\text{maksimum}}$
- $\Delta T_2 = T_{\text{ambient}} - T_{\text{dingin minimum}}$

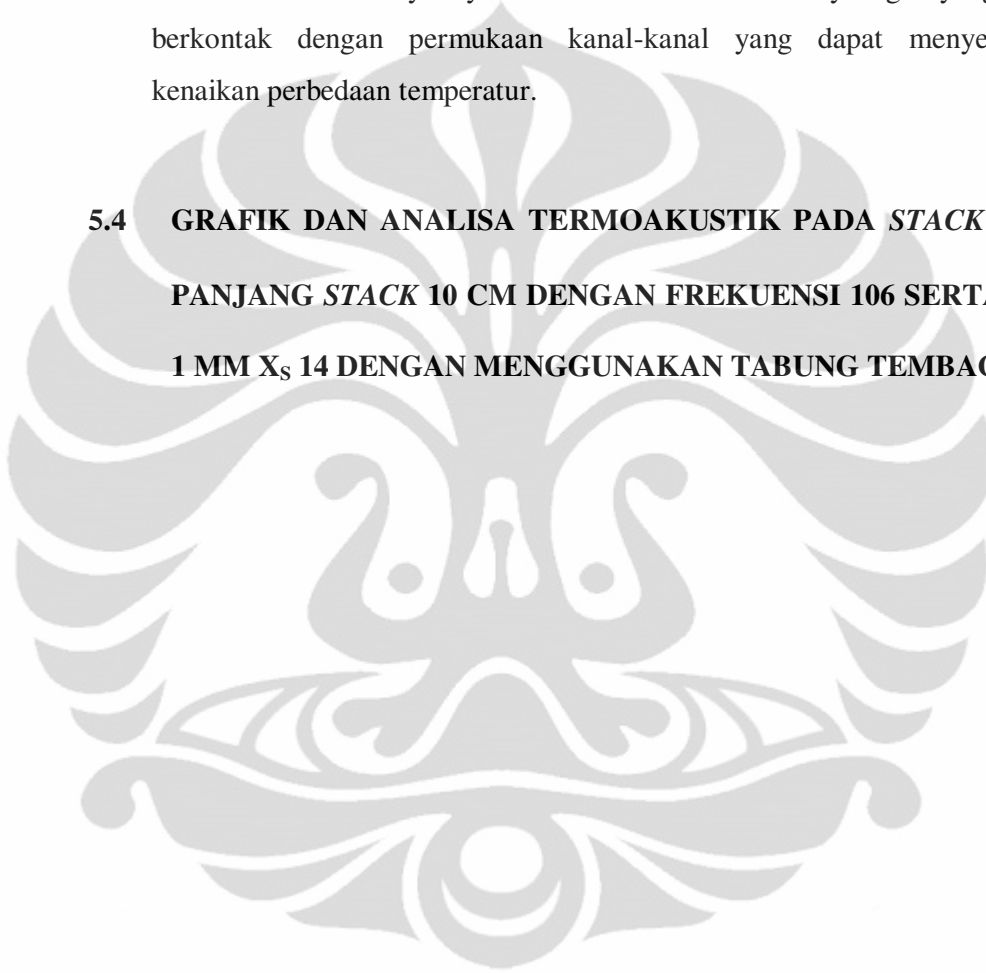


gambar 5. 12 Grafik perbandingan ($T_{\text{panas}} - T_{\text{dingin}}$) maksimum antara model *stack* setiap posisi

gambar 5. 13 Grafik perbandingan $T_{\text{ambient}} - T_{\text{dingin minimum}}$ antara model *stack* setiap posisi

Dari percobaan yang dilakukan maka terlihat hasil penggunaan *stack roll* dan *stack plate*, temperatur yang dihasilkan lebih bagus *stack roll*, karena kanal-kanal yang berada di *stack roll* cukup banyak disbanding dengan *stack plate* walaupun percobaan pada kedua *stack* dilakukan di posisi yang sama. Karena semakin banyaknya kanal-kanal membuat banyak gas yang dapat berkontak dengan permukaan kanal-kanal yang dapat menyebabkan kenaikan perbedaan temperatur.

5.4 GRAFIK DAN ANALISA TERMOAKUSTIK PADA *STACK ROLL* PANJANG *STACK* 10 CM DENGAN FREKUENSI 106 SERTA $\delta_K = 1 \text{ MM} \times 14$ DENGAN MENGGUNAKAN TABUNG TEMBAGA



gambar 5. 14 *stack* dengan konfigurasi $L_s = 10 \text{ cm}$ $f=106 \text{ Hz}$ $\delta_K = 1 \text{ mm} \times 10 \text{ cm}$

Grafik diatas adalah hasil pengujian ketiga pada termoakustik yang dirancang. Pengujian dilakukan pada temperatur $29.88 \text{ }^\circ\text{C}$. pada temperatur tersebut menjadi titik awal temperatur cold dan temperatur hot. Setelah itu suara dihidupkan dengan volume amplifier maksimal.

Pengaturan suara monotone pada frekuensi sample rate sebesar 106Hz pada program *adobe audition 3.0* . pada menit ke 10 setelah dihidupkan maka terlihat besar temperatur panas naik hingga mendekati 31.77°C dan pada temperatur dingin turun mencapai temperatur 28.92°C . Memasuki menit ke 20, temperatur sisi panas naik ke temperatur 31.92°C dengan temperatur sisi dingin turun pada temperatur 28.71°C . Setelah memasuki rentang waktu yang diinginkan yaitu 30 menit, sisi panas stabil pada temperatur 31.92°C dan temperatur sisi dingin turun terus hingga 28.71°C , sehingga perbedaan temperatur sisi panas dan sisi dingin sebesar 3.21°C . dari grafik terlihat penggunaan pipa tembaga posisi maksimum *stack* yaitu 14 cm sangat berbeda dibandingkan dengan penggunaan pipa PVC pada percobaan sebelumnya. Dari analisa bahwa penggunaan pipa tembaga dapat menyebabkan losess temperatur di sisi panas maupun sisi dingin karena *konduktivitas thermal* dari pipa tembaga tinggi dan dapat menghantarkan temperatur keluar dari system.

5.5 GRAFIK DAN ANALISA PERBANDINGAN STACK ROLL PANJANG STACK 10 CM DENGAN FREKUENSI 106 SERTA $\delta_K = 1$ MM MENGGUNAKAN PIPA TEMBAGA DENGAN PIPA TEMBAGA MENGGUNAKAN HEATPIPE



gambar 5. 15 Grafik perbandingan penggunaan heat pipe pada sistem

Grafik diatas adalah perbandingan antara pipa tembaga tanpa menggunakan heat pipe dengan pipa tembaga menggunakan heatpipe. System termoakustik ini menggunakan *stack* yang sama dengan posisi yang sama. Dari analisa kita dapat melihat bahwa bila tanpa menggunakan heat pipe system berjalan mengikuti siklus termoakustik dengan kenaikan temperatur sisi panas dan sisi dingin yang stabil. Namun bila menggunakan heatpipe maka akan terlihat siklus yang buruk karena temperatur sisi dingin ikut naik seiring dengan temperatur pada sisi panas. Penggunaan heat pipe tidak efisien karena suhu yang akan diserap oleh heatpipe terlalu kecil sehingga belum bias membuat system pendinginan pada heatpipe yaitu air dapat bekerja.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Dari hasil perancangan dan pengujian termoakustik sederhana ini maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut

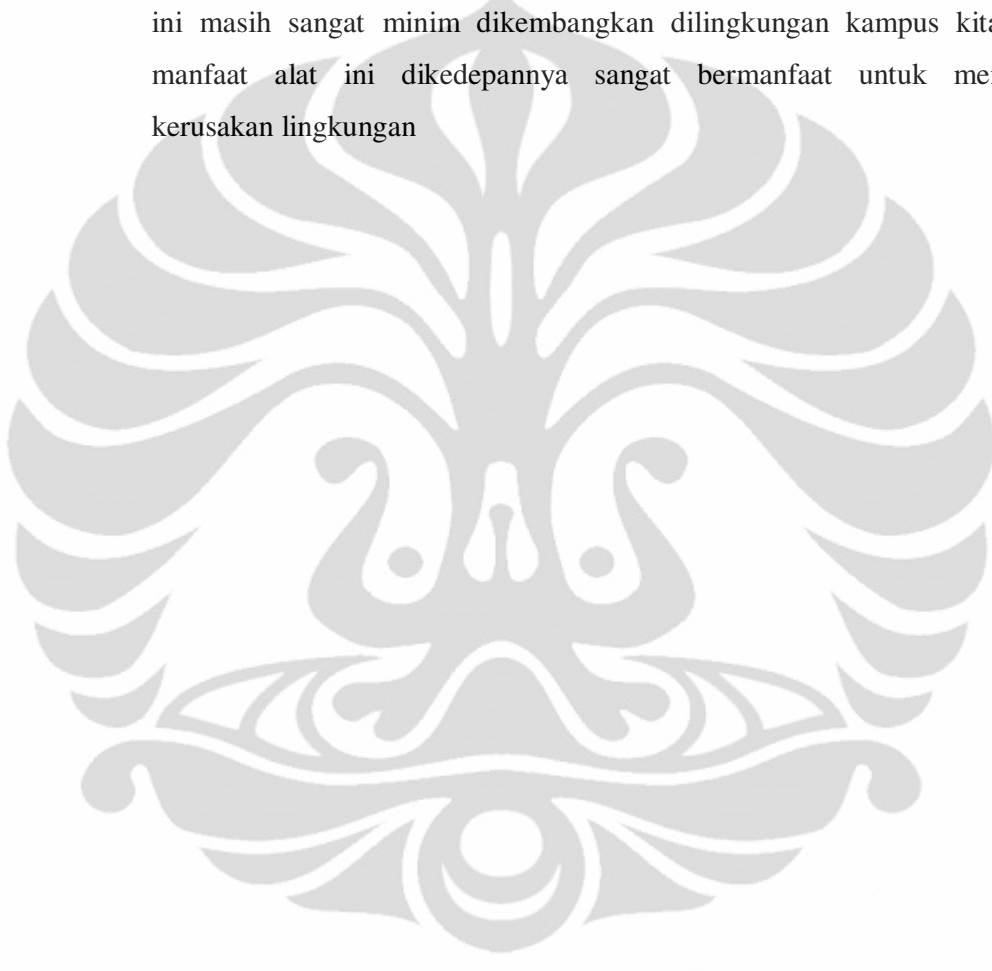
1. Perbandingan penggunaan *stack roll* dan *stack plate* dengan $\delta_k=1\text{ mm}$ dan $f = 106\text{ Hz}$. Dari percobaan yang dilakukan maka terlihat hasil penggunaan *stack roll* dan *stack plate*, temperatur yang dihasilkan lebih bagus *stack roll*, karena kanal-kanal yang berada di *stack roll* cukup banyak disbanding dengan *stack plate* walaupun percobaan pada kedua *stack* dilakukan di posisi yang sama.
2. Perbandingan menggunakan pipa tembaga dan pipa PVC menghasilkan temperatur yang berbeda dimana penggunaan pipa PVC lebih bagus daripada penggunaan pipa tembaga, karena pipa tembaga dapat menyebabkan loses dari system ke lingkungan
3. Penggunaan heatpipe tidak efisien karena temperatur panas yang akan diserap oleh heatpipe masih dibawah batas kerja heatpipe. Oleh karena itu penggunaan heatpipe menyebabkan rusaknya sistem termoakustik.

6.2 SARAN

Dari hasil percobaan terhadap alat termoakustik yang dirancang, sudah membuahkan hasil yang cukup bagus dengan karakteristik dari termoakustik itu sendiri tercapai. Namun alat termoakustik ini masih banyak yang harus dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal . karena percobaan kali ini penulis sadar belum maksimalnya pembuatan *stack* ddari mulai parameter panjang hingga kerapian pengerjaan. Untuk itu pengujian mendatang diharapkan harus lebih mengembangkan system *stack* tersebut.

Saran yang berikutnya untuk percobaan selanjutnya yaitu penggunaan gas kerja helium serta pengembangan termoakustik double speaker agar mendapatkan hal maksimal serta penggunaan heatpipe yang lebih efektif untuk menurunkan temperatur di sisi panas.

Semoga penelitian mengenai termoakustik tetap berlanjut karena bidang ini masih sangat minim dikembangkan dilingkungan kampus kita serta manfaat alat ini dikedepannya sangat bermanfaat untuk mencegah kerusakan lingkungan



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bo Nordell, 2003, Thermal pollution causes global warming
- [2] Ichiro Kurane, Md, 2010 , The Effect of global warming on Infectious diseases
- [3] Ikhsan Setiawan, The influence of the length and position of the stack on the performances of a thermoacoustic refrigerator, Universitas Gadjah mada, 2009
- [4] Mostafa A. Nouh, Nadim M. Arafa and Ehab Abdel Rahman, 2009 Stack Parameters Effect On The Performance Of An Anharmonic Resonator Thermoacoustic Heat Engine
- [5] Daniel George Chinn, 2010 Piezoelectrically-Driven Thermoacoustic Refrigerator
- [6] Andreia dkk. Experimental and Numerical Simulation Study on a Thermoacoustic
- [7] William C. Moss. San Mateo. Calif 1997, Thermoacoustic Refrigerator
- [8] Scout Backhaus , 2009 Thermoacoustic Refrigerator and Engines Comprising Cascading Stirling Thermodynamic Units
- [9] Swift, G.W., 1995, Thermoacoustic engines and refrigerators, Phys. Today 48.
- [10] Backhaus, S., 2002, Few Varieties of Thermoacoustic Engines, Thermal Physics group
- [11] Wheatley, J., Hofler, T., Swift, G.W., and Migliori, A. (1985), Understanding some simple phenomena in thermoacoustics with applications to acoustical heat engines, Am. J. Phys 53, 147-162
- [12] Swift, G., 2002, Thermoacoustics: A Unifying Perspective for Some Engines and Refrigerators, Los Alamos National Laboratory, Acoustical Society of America Publications.

- [13] Tijani, M.E.H., Zeegers, J.C.H., and de Waele, A.T.A.M., 2002b, Construction and Performance of a Thermoacoustic Refrigerator, *Cryogenics* 42, (Dept of applied physics, Eindhoven University of Technology)
- [14] Tijani, M.E.H., 2001, *Loudspeaker-driven thermoacoustic refrigeration*, PhD Thesis, Unpublished, Eindhoven University of Technology.
- [15] Russell, D. A. and Weibull, P. 2002. "Tabletop Thermoacoustic Refrigerator for Demonstration." *Am. J. Phys.* 70: 1231–1233.
- [16] Ghazali, N.M., Aziz, A.A., Rajoo, S., 2006, Environmentally friendly refrigeration with Thermoacoustic, Research Vote No:74166, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknologi Malaysia.
- [17] Kinsler, L.E., Frey, A.R. Coppers, A.B. dan Sanders, J.V., 1999, *Fundamentals of Acoustics*, Wiley, New York, Edisi ke-4, Bab 8.
- [18] Moloney, M.J. dan Hatten, D.L., 2001, Acoustic Quality Factor and Energy Losses in Cylindrical Pipes, *Am. J. Phys.* 69(3), 311–314.
- [19] Wetzell, M. dan Herman, C., 1997, Design optimization of thermoacoustics refrigerators, *Int. J. Refrig.* 20, 3–21.
- [20] Pengembangan sistem pendinginan thermacoustic pada vaccine carrier portabel, riset unggulan universitas indonesia tahun 2007, Nandy putra
- [21] [http://www.engr.sjsu.edu/ndejong/ME%20146%20files/FundamentalsofHeatPipe sII.ppt](http://www.engr.sjsu.edu/ndejong/ME%20146%20files/FundamentalsofHeatPipe%20sII.ppt)

DAFTAR LAMPIRAN

Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack* Gulungan dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi Stack Xs 10 cm.

Waktu	Sisi Dingin	Sisi Panas
menit	°C	°C
0	29.83	29.83
1	28.98	30.43
2	28.68	31.37
3	28.58	32.04
4	28.49	32.52
5	28.47	32.90
6	28.52	33.20
7	28.49	33.49
8	28.50	33.71
9	28.52	33.87
10	28.59	33.97
11	28.60	33.99
12	28.67	34.07
13	28.68	34.20
14	28.75	34.24
15	28.84	34.36
16	28.92	34.46
17	28.97	34.56

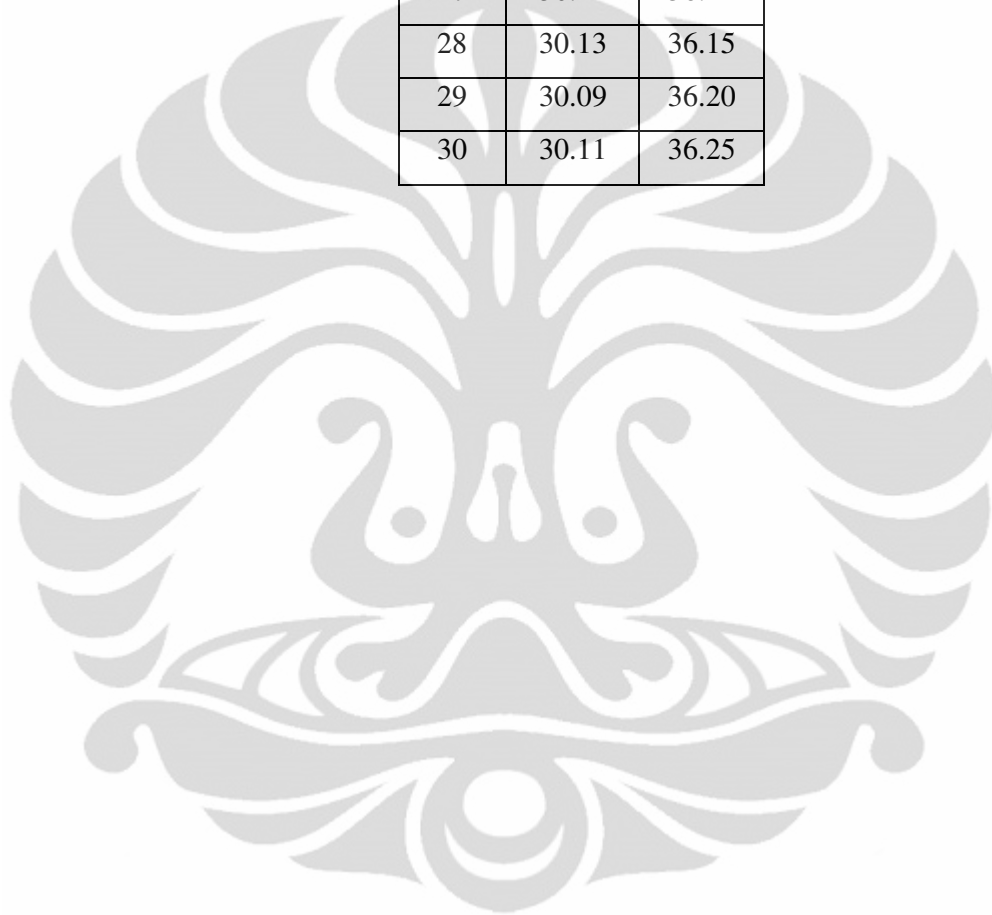
18	28.99	34.64
19	29.02	34.73
20	29.06	34.81
21	29.04	34.90
22	29.04	34.97
23	29.08	35.01
24	29.12	35.06
25	29.17	35.08
26	29.20	35.09
27	29.27	35.12
28	29.26	35.14
29	29.28	35.16
30	29.28	35.16

Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack* Gulungan dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_x = 1$ mm dan posisi

Stack Xs 11 cm.

Waktu	Sisi Dingin	Sisi Panas
menit	°C	°C
0	31.25	31.27
1	30.61	31.85
2	29.36	33.44
3	29.21	34.08
4	28.99	34.39
5	28.88	34.69
6	28.91	34.86
7	29.08	35.05
8	29.25	35.14
9	29.21	35.26
10	29.27	35.30
11	29.21	35.25
12	29.20	35.36
13	29.16	35.32
14	29.27	35.41
15	29.29	35.40
16	29.34	35.48
17	29.44	35.46
18	29.41	35.49
19	29.48	35.56
20	29.64	35.63
21	29.77	35.65

22	29.90	35.73
23	29.94	35.85
24	29.97	35.89
25	30.03	36.03
26	30.02	36.07
27	30.12	36.12
28	30.13	36.15
29	30.09	36.20
30	30.11	36.25



Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack* Gulungan dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi

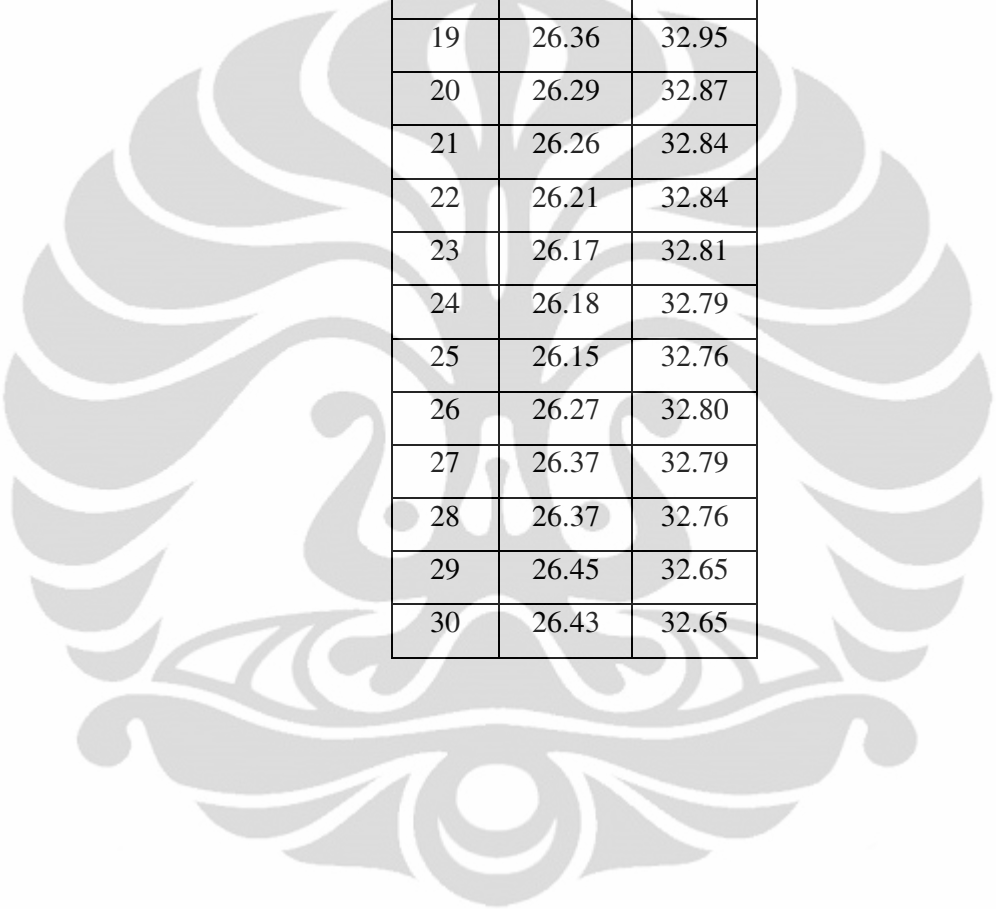
Stack Xs 12 cm.

Waktu	Sisi Dingin	Sisi Panas
menit	°C	°C
0	31.09	31.09
1	29.85	32.11
2	29.37	32.85
3	29.15	33.22
4	28.98	33.38
5	28.86	33.48
6	28.76	33.62
7	28.63	33.70
8	28.61	33.89
9	28.61	34.01
10	28.59	34.05
11	28.47	34.04
12	28.41	34.07
13	28.36	34.05
14	28.24	34.06
15	28.19	34.07
16	28.11	34.09
17	28.02	34.05
18	27.94	34.06
19	27.85	34.09
20	27.80	34.05
21	27.75	33.98

22	27.70	33.97
23	27.66	33.91
24	27.60	33.92
25	27.59	33.88
26	27.59	33.82
27	27.57	33.82
28	27.52	33.78
29	27.48	33.78
30	27.43	33.73

Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack* Gulungan dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi Stack Xs 13 cm.

Waktu	Sisi Dingin	Sisi Panas
menit	°C	°C
0	29.14	29.15
1	28.39	30.42
2	28.02	31.25
3	27.82	31.71
4	27.69	32.05
5	27.64	32.29
6	27.54	32.50
7	27.45	32.65
8	27.36	32.77
9	27.28	32.82
10	27.22	32.96
11	27.12	33.06
12	26.99	33.08



13	26.95	33.10
14	26.77	33.11
15	26.64	33.06
16	26.55	33.04
17	26.53	33.06
18	26.45	32.99
19	26.36	32.95
20	26.29	32.87
21	26.26	32.84
22	26.21	32.84
23	26.17	32.81
24	26.18	32.79
25	26.15	32.76
26	26.27	32.80
27	26.37	32.79
28	26.37	32.76
29	26.45	32.65
30	26.43	32.65

Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack* Gulungan dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi

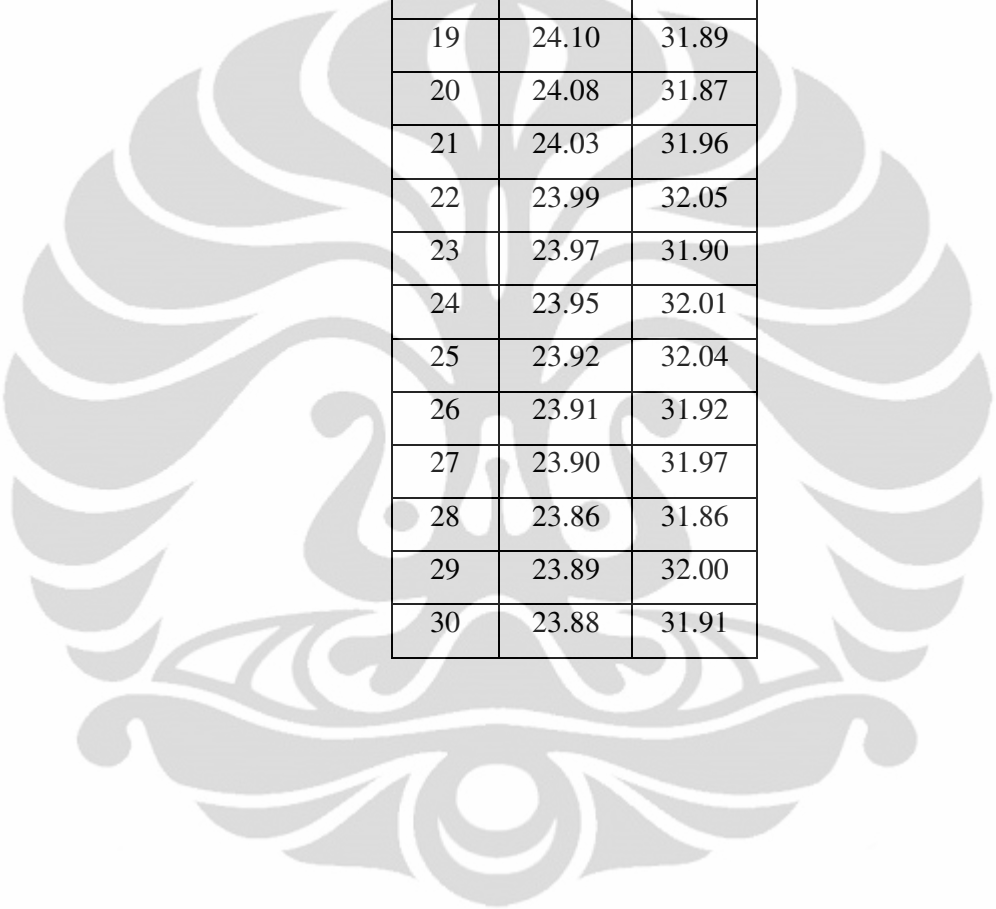
Stack Xs 14 cm.

Waktu	Sisi Dingin	Sisi Panas
menit	°C	°C
0	28.57	28.58
1	26.77	30.05
2	25.77	30.86
3	25.28	31.22
4	24.96	31.50
5	24.70	31.69
6	24.48	31.81
7	24.29	31.92
8	24.15	31.99
9	24.03	32.00
10	23.91	32.00
11	23.81	31.99
12	23.71	31.97
13	23.58	31.96
14	23.47	32.03
15	23.36	32.01
16	23.27	31.96
17	23.19	31.95
18	23.12	31.97
19	23.03	31.92
20	22.97	31.89
21	22.90	31.83

22	22.84	31.76
23	22.77	31.75
24	22.71	31.67
25	22.65	31.62
26	22.59	31.61
27	22.55	31.57
28	22.50	31.50
29	22.46	31.40
30	22.41	31.50

Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack* Gulungan dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi Stack Xs 15 cm.

Waktu	Sisi Dingin	Sisi Panas
menit	°C	°C
0	28.56	28.56
1	26.68	29.74
2	25.83	30.35
3	25.64	30.91
4	25.50	31.42
5	25.23	31.69
6	24.98	31.83
7	24.84	31.79
8	24.74	31.84
9	24.58	31.77
10	24.47	31.81
11	24.43	31.73
12	24.37	31.73



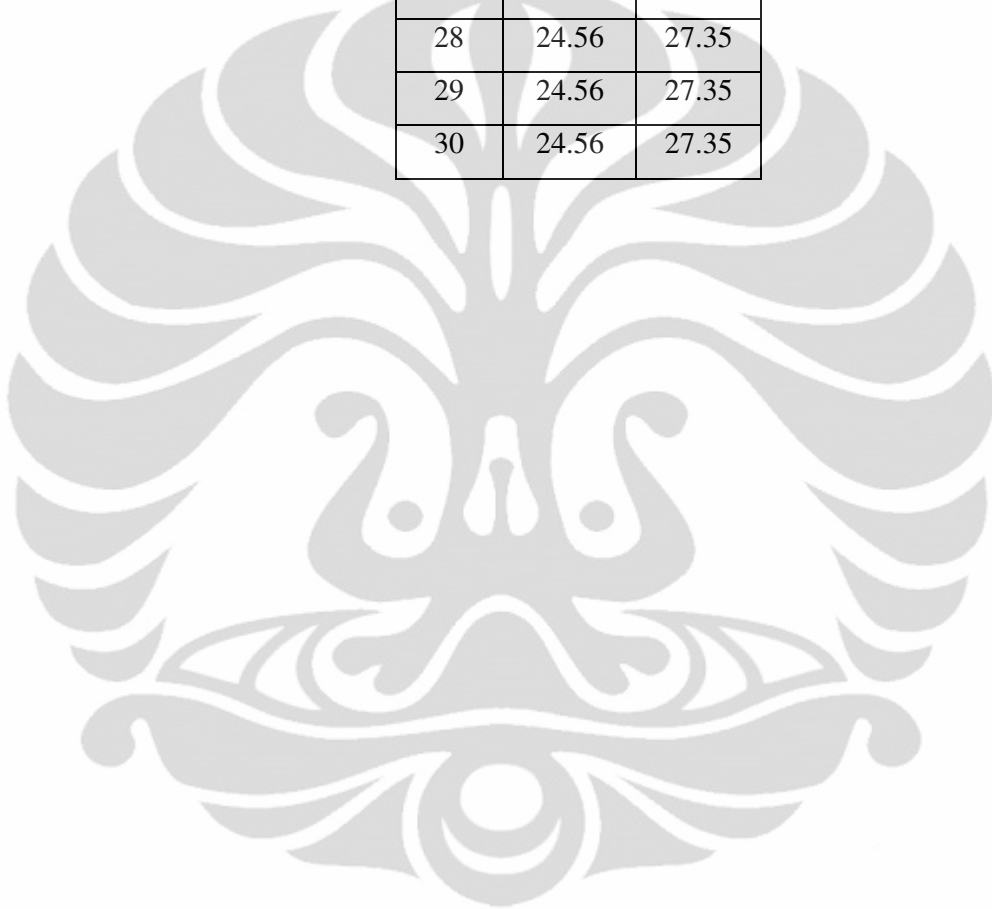
13	24.32	31.78
14	24.28	31.78
15	24.27	31.85
16	24.24	31.88
17	24.19	31.86
18	24.15	31.88
19	24.10	31.89
20	24.08	31.87
21	24.03	31.96
22	23.99	32.05
23	23.97	31.90
24	23.95	32.01
25	23.92	32.04
26	23.91	31.92
27	23.90	31.97
28	23.86	31.86
29	23.89	32.00
30	23.88	31.91

Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack Plate* dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_x = 1$ mm dan posisi

Stack Xs 10 cm.

Waktu	Sisi Dingin	Sisi Panas
menit	°C	°C
0	27.47	27.48
1	27.17	27.80
2	26.70	28.03
3	26.42	28.10
4	26.11	28.12
5	25.94	28.11
6	25.74	28.08
7	25.54	28.05
8	25.49	28.01
9	25.40	27.97
10	25.30	27.93
11	25.21	27.89
12	25.12	27.84
13	25.03	27.80
14	24.97	27.77
15	24.93	27.72
16	24.84	27.67
17	24.80	27.62
18	24.76	27.57
19	24.74	27.54
20	24.72	27.51
21	24.69	27.47

22	24.65	27.44
23	24.61	27.39
24	24.56	27.36
25	24.56	27.35
26	24.56	27.35
27	24.56	27.35
28	24.56	27.35
29	24.56	27.35
30	24.56	27.35

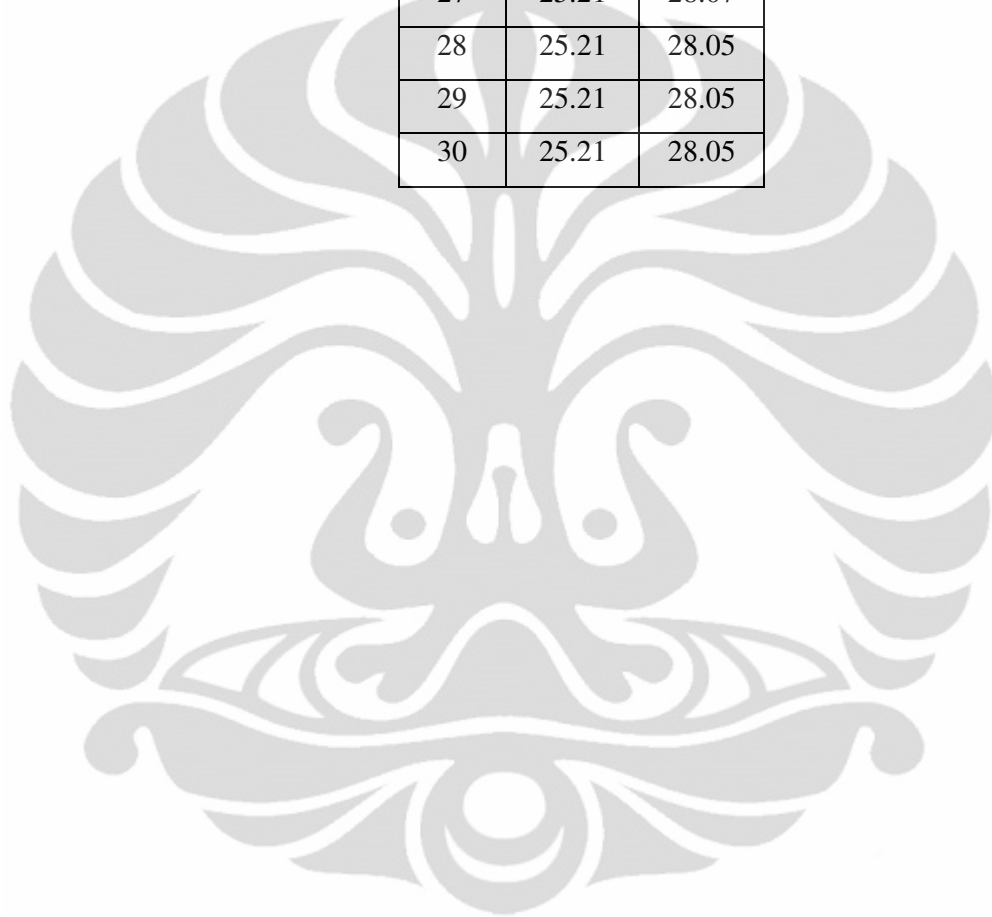


Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack Plate* dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi

Stack Xs 11 cm.

Waktu	Sisi Dingin	Sisi Panas
menit	°C	°C
0	27.58	27.64
1	27.22	27.99
2	26.84	28.28
3	26.53	28.40
4	26.15	28.47
5	25.93	28.51
6	25.81	28.52
7	25.65	28.50
8	25.55	28.49
9	25.47	28.47
10	25.32	28.45
11	25.21	28.41
12	25.12	28.40
13	25.00	28.39
14	24.92	28.36
15	24.83	28.36
16	24.74	28.36
17	24.68	28.33
18	24.60	28.25
19	24.47	28.18
20	24.40	28.10
21	24.44	28.05

22	24.52	28.06
23	24.61	28.11
24	24.76	28.17
25	24.92	28.25
26	25.07	28.30
27	25.21	28.07
28	25.21	28.05
29	25.21	28.05
30	25.21	28.05



Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack Plate* dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi

Stack Xs 12 cm.

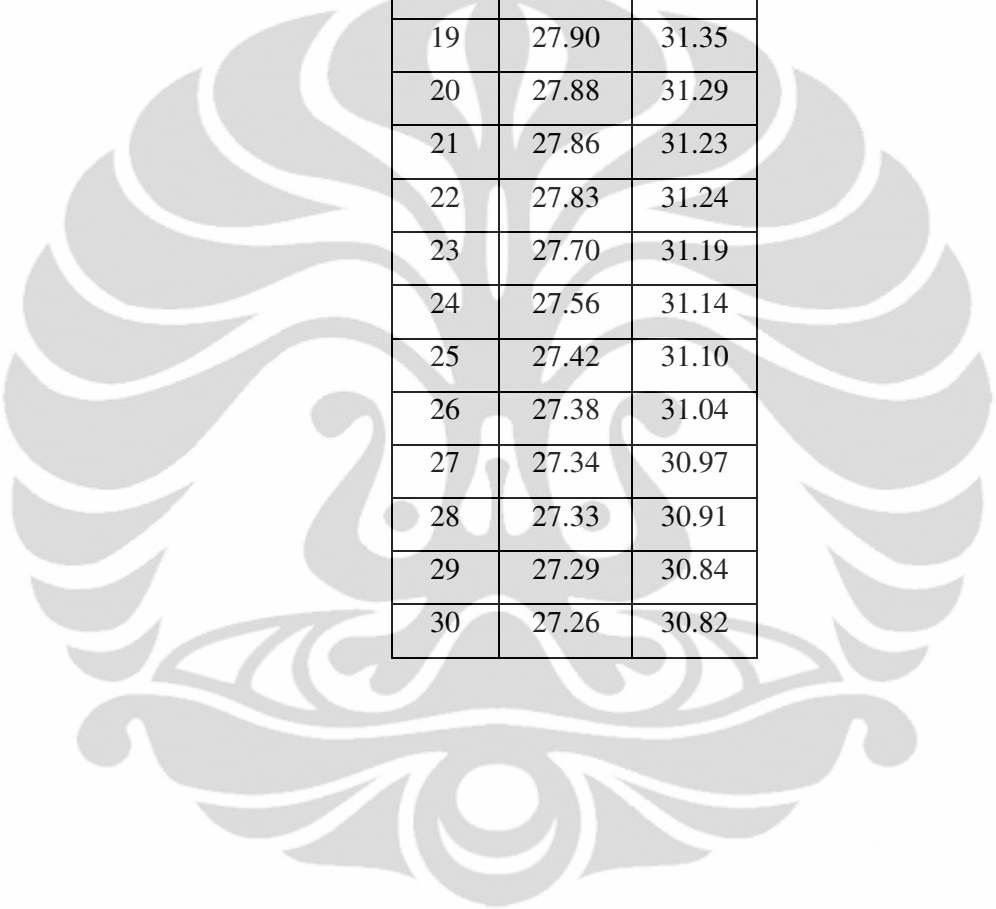
Waktu	Sisi Dingin	Sisi Panas
menit	°C	°C
0	29.99	30.02
1	28.81	30.30
2	28.37	30.38
3	28.17	30.46
4	28.03	30.63
5	27.93	30.72
6	27.83	30.79
7	27.70	30.80
8	27.64	30.87
9	27.57	30.81
10	27.52	30.80
11	27.48	30.75
12	27.40	30.75
13	27.36	30.81
14	27.26	30.81
15	27.22	30.87
16	27.21	30.83
17	27.19	30.80
18	27.11	30.76
19	27.05	30.73
20	26.99	30.69
21	26.96	30.67

22	26.91	30.65
23	26.89	30.61
24	26.85	30.58
25	26.81	30.56
26	26.76	30.54
27	26.75	30.53
28	26.72	30.51
29	26.75	30.51
30	26.74	30.48

Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack Plate* dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi

Stack Xs 13 cm.

Waktu	Sisi Dingin	Sisi Panas
menit	°C	°C
0	30.04	30.04
1	29.36	30.61
2	28.95	30.87
3	28.73	31.10
4	28.59	31.23
5	28.50	31.36
6	28.44	31.44
7	28.36	31.53
8	28.30	31.56
9	28.24	31.57
10	28.21	31.50
11	28.13	31.43
12	28.11	31.40



13	28.08	31.38
14	28.04	31.40
15	28.00	31.42
16	27.98	31.42
17	27.97	31.38
18	27.93	31.34
19	27.90	31.35
20	27.88	31.29
21	27.86	31.23
22	27.83	31.24
23	27.70	31.19
24	27.56	31.14
25	27.42	31.10
26	27.38	31.04
27	27.34	30.97
28	27.33	30.91
29	27.29	30.84
30	27.26	30.82

Data Pengujian Modul Termoakustik pada model *stack Plate* dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi

Stack Xs 14 cm.

Waktu	Sisi Dingin	Sisi Panas
menit	°C	°C
0	24.47	24.51
1	24.57	25.37
2	24.52	25.92
3	24.53	26.47
4	24.56	26.77
5	24.61	27.04
6	24.67	27.25
7	24.71	27.40
8	24.73	27.59
9	24.73	27.82
10	24.71	28.23
11	24.70	28.39
12	24.69	28.42
13	24.68	28.60
14	24.67	28.66
15	24.64	28.65
16	24.58	28.75
17	24.53	28.78
18	24.46	28.77
19	24.39	28.76
20	24.32	28.72
21	24.28	28.68

22	24.22	28.62
23	24.16	28.55
24	24.10	28.49
25	24.01	28.42
26	23.90	28.34
27	23.83	28.27
28	23.77	28.19
29	23.70	28.13
30	23.62	28.04

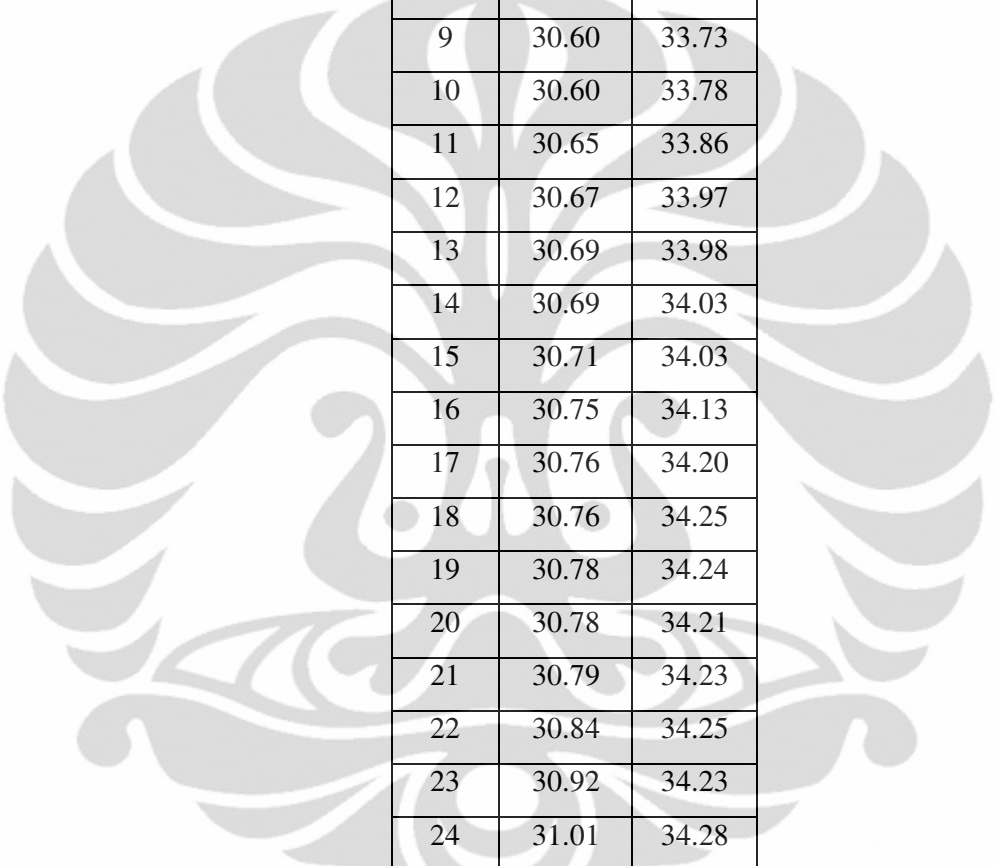
Data Pengujian Modul Termoakustik Pipa Tembaga pada model *stack* Gulungan dengan panjang stack 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_K = 1$ mm dan posisi Stack Xs 14 cm.

Waktu	Sisi Dingin	Sisi Panas
menit	°C	°C
0	29.72	29.74
1	29.32	30.47
2	29.09	30.99
3	28.98	31.26
4	28.91	31.46
5	28.88	31.57
6	28.85	31.65
7	28.85	31.71
8	28.85	31.76
9	28.83	31.80
10	28.84	31.85
11	28.84	31.87
12	28.84	31.87

13	28.84	31.87
14	28.84	31.87
15	28.84	31.87
16	28.84	31.87
17	28.84	31.87
18	28.84	31.87
19	28.84	31.87
20	28.84	31.87
21	28.84	31.87
22	28.84	31.87
23	28.84	31.87
24	28.84	31.87
25	28.84	31.87
26	28.84	31.87
27	28.84	31.87
28	28.84	31.87
29	28.84	31.87
30	28.84	31.87

Data Pengujian Modul Termoakustik Pipa Tembaga dan Sistem pendingin *Heat Pipe* yang beroperasi pada menit pertama pada model *stack* Gulungan dengan panjang *stack* 10 cm dengan frekuensi 106 Hz serta $\delta_{K} = 1$ mm dan posisi *Stack* X_s 14 cm.

Waktu	Sisi Dingin	Sisi Panas
menit	°C	°C
0	31.15	31.15
1	30.74	32.00
2	30.57	32.58



3	30.50	32.91
4	30.51	33.10
5	30.51	33.28
6	30.54	33.41
7	30.52	33.57
8	30.53	33.70
9	30.60	33.73
10	30.60	33.78
11	30.65	33.86
12	30.67	33.97
13	30.69	33.98
14	30.69	34.03
15	30.71	34.03
16	30.75	34.13
17	30.76	34.20
18	30.76	34.25
19	30.78	34.24
20	30.78	34.21
21	30.79	34.23
22	30.84	34.25
23	30.92	34.23
24	31.01	34.28
25	31.01	34.25
26	31.01	34.23
27	31.02	34.25
28	31.02	34.21
29	31.06	34.27
30	31.09	34.28





